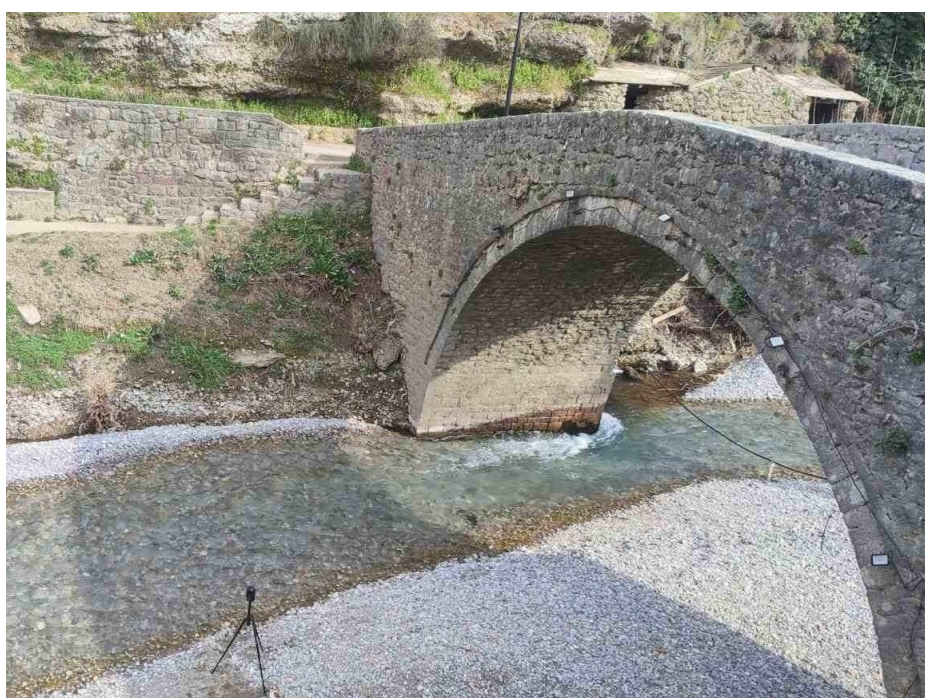




Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής  
Σχολή Μηχανικών  
Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής

Διπλωματική Εργασία

**Μοντελοποίηση της ιστορικής γέφυρας Adži-ραδα με χρήση  
δεδομένων τρισδιάστατου σαρωτή.**



Συγγραφέας:  
Αναλύτη Μικαέλα-Αμαλία  
ΑΜ: 17001

Επιβλέπων καθηγητής:  
Ηλιοδρομίτης Αθανάσιος

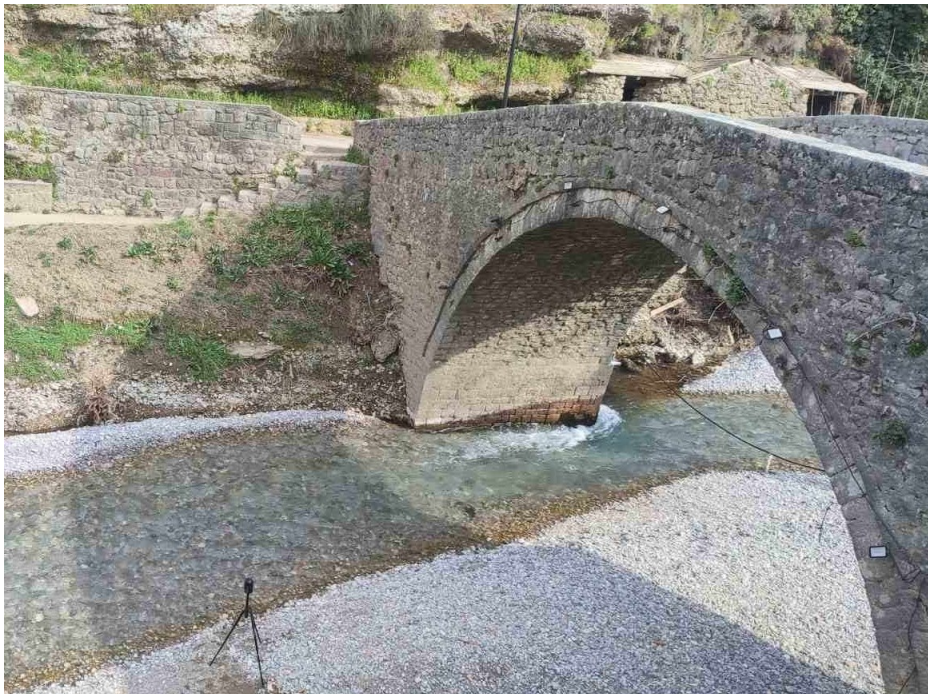
Αθήνα, 2023



University of West Attica  
School of Engineering  
Department of Surveying and Geoinformatics Engineering

Diploma Thesis

## Modeling the historic Adži-paša's bridge using 3D laser scanner data.



Student name:  
Analyti Mikaela-Amalia  
Student ID: 17001

Supervisor:  
Iliodromitis Athanasios

Athens, 2023



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής  
Σχολή Μηχανικών  
Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής

Διπλωματική Εργασία

**Μοντελοποίηση της ιστορικής γέφυρας Adži-raša με χρήση  
δεδομένων τρισδιάστατου σαρωτή.**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Ηλιοδρομίτης Αθανάσιος	Επιβλέπων Ακαδημαϊκός Υπότροφος ΠΑ.Δ.Α.	
2	Παγούνης Βασίλειος	Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.	
3	Αναστασίου Δημήτριος	Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Αναλύτη Μικαέλα-Αμαλία του Πέτρου, με αριθμό μητρώου 17001 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.»

Η Δηλούσα  
Αναλύτη Μικαέλα - Αμαλία

.....  
© **Copyright** Αναλύτη Μικαέλα-Αμαλία, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν την χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς την συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν την συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας με τίτλο «Μοντελοποίηση της ιστορικής γέφυρας Adži-raša με χρήση δεδομένων τρισδιάστατου σαρωτή», θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Θάνο Ηλιοδρομίτη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου το θέμα της διπλωματικής μου εργασίας καθώς και την υποστήριξη, την προτροπή, τις συμβουλές και την καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλη την διάρκεια της συνεργασίας που είχαμε. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου, κ. Βασίλη Παγούνη και κ. Δημήτρη Αναστασίου για την συνεργασία μας όσον αφορά την πορεία της εργασίας αυτής και τη χρήση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της. Η βοήθειά τους ήταν πολύτιμη για την διαδικασία αποτύπωσης και την διάθεση του απαραίτητου εξοπλισμού, οργάνων και λογισμικών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και εκείνους που στάθηκαν δίπλα μου, για την υπομονή, την κατανόηση και την υποστήριξή τους.

*Σκοπίμως κενή σελίδα.*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Διπλωματική Εργασία που παρουσιάζεται εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών του τμήματος «Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής» με εμβάθυνση στην «Γεωπληροφορική», της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής (ΠΑ.Δ.Α.). Στόχος της εργασίας είναι η παρουσίαση των σύγχρονων γεωδαιτικών μεθόδων συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, για την αποτύπωση, την καταγραφή και την απόδοση της υπάρχουσας κατάστασης μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς, με στόχο την ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση τους.

Η συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία ασχολείται με την χρήση επίγειας τεχνικής τρισδιάστατης σάρωσης με λέιζερ, για την ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση της ιστορικής γέφυρας Adzi Pasa, της Ποντγκόριτσα στο Μαυροβούνιο. Σκοπός της εργασίας, είναι η δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου επιφάνειας, 3D model, και η παραγωγή δισδιάστατων σχεδιαστικών υποβάθρων, όπως κάτοψη, τομή και όψεις της γέφυρας.

Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια εισαγωγή στο θέμα της τεκμηρίωσης της γέφυρας Adzi Pasa.

Στο δεύτερο κεφάλαιο καταγράφονται ιστορικά στοιχεία, τόσο για την περιοχή της Ποντγκόριτσα όπου βρίσκεται η γέφυρα, όσο και για την ίδια τη γέφυρα.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνονται στοιχεία για τα πέτρινα γεφύρια, την κατασκευή αυτών, τα στοιχεία από τα οποία αποτελούνται και οι κυριότερες κατηγορίες αυτών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο καταγράφονται οι κυριότερες μέθοδοι τεκμηρίωσης μνημείων και αναλύονται τα χαρακτηριστικά τους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η θεωρία γύρω από τους σαρωτές laser. Αναφέρονται οι κατηγορίες αυτών, οι βασικές αρχές λειτουργίας τους και τα σφάλματα που σχετίζονται με τη χρήση τους.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε στη γέφυρα Adzi Pasa. Ο τρόπος συλλογής δεδομένων, η επεξεργασία αυτών, καθώς και η παραγωγή των τελικών σχεδίων.

Τέλος, το παρόν τεύχος κλείνει με τα συμπεράσματα.

## ABSTRACT

The Diploma Thesis presented was carried out as part of the completion of the Undergraduate Studies Program of the Faculty of "Surveying and Geoinformatics Engineering" with a specialization in "Geoinformatics", of the Department of Engineering at the University of West Attica (Uni.W.A.). The aim of this paper is the presentation of the modern geodetic methods of data collection and processing, to capture, record and render the existing status of cultural heritage monuments, with its main aim of their integrated geometric documentation.

This thesis focuses on the use of terrestrial 3D laser scanning technique, for the complete geometric documentation of the historical Adzi Pasa bridge, in Podgorica of Montenegro. The purpose of this project is to create a three-dimensional surface (3D) model and to produce two-dimensional design backgrounds, such as floor plan in top view, section and face views of the bridge.

In the first chapter, an introduction to the topic of Adzi Pasa Bridge documentation is made.

In the second chapter, historical data are recorded, both for the area of Podgorica where the bridge is located, and for the bridge itself.

In the third chapter, information on stone bridges is given, concerning their construction, the elements they are made of and their main categories.

In the fourth chapter, the main methods of documenting monuments are recorded and their characteristics are analyzed.

In the fifth chapter, the theory around laser scanners is developed. The categories of these, their basic operating principles and the errors related to their use are mentioned.

The sixth chapter describes the implementation carried out on the Adzi Pasa Bridge. The method of data collection, their processing, as well as the production of the final drawings.

Finally, this diploma thesis ends with the conclusions.



## Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	7
ABSTRACT .....	8
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> . Εισαγωγή .....	10
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> . Ποντογκόριτσα, Γέφυρα Adži-raša .....	11
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> . Γεφυροποιία.....	22
3.1 Πέτρινη Γεφυροποιία .....	22
3.2 Κατασκευή πέτρινου γεφυριού.....	23
3.3 Κατηγορίες τοξωτών γεφυριών.....	25
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> . Γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων και μέθοδοι αποτύπωσης .....	27
4.1 Γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων .....	27
4.2 Μέθοδοι αποτύπωσης .....	29
4.2.1 Τοπομετρική αποτύπωση.....	29
4.2.2 Τοπογραφική αποτύπωση .....	30
4.2.3 Φωτογραμμετρική αποτύπωση .....	32
4.2.4 Αποτύπωση με επίγειο τρισδιάστατο laser scanner .....	34
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> . Laser scanner.....	36
5.1 Επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές laser .....	36
5.2 Βασικές αρχές λειτουργίας .....	37
5.3 Κατηγορίες σαρωτών laser.....	39
5.3.1 Σαρωτές επαφής (Contact scanners) .....	40
5.3.2 Σαρωτές απόστασης (Non – contact scanners).....	41
5.4 Ακρίβεια και σφάλματα σαρώσεων .....	44
Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> . Εφαρμογή.....	46
6.1 Όργανο και μέθοδος αποτύπωσης .....	46
6.2 Συλλογή δεδομένων .....	48
6.3 Επεξεργασία δεδομένων .....	51
6.4 Δισδιάστατα σχέδια .....	56
Κεφάλαιο 7 <sup>ο</sup> . Συμπεράσματα.....	64
Παράρτημα.....	65
Βιβλιογραφία .....	67

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> . Εισαγωγή

Η πολιτιστική κληρονομιά κάθε έθνους αποτελείται από ό,τι έχει απομείνει από τις ιστορικές περιόδους ανά τα χρόνια και γίνεται η διαδοχή του στις επόμενες γενιές, έτσι ώστε να συνδέεται το παρόν με το παρελθόν και το μέλλον κάθε πολιτισμού.

Στις μέρες μας φαίνεται πως γίνεται έντονη η ανάγκη διατήρησης, προβολής και αξιοποίησης των στοιχείων που συντελούν τις πολιτιστικές κληρονομίες στον κόσμο. Έτσι, γίνονται συνεχώς μελέτες και έρευνες για την καταγραφή και την τεκμηρίωση μνημείων, με σκοπό συντήρηση για την ανάδειξή και την προβολή τους.

Οι μελέτες που αφορούν την πολιτιστική κληρονομιά, πρέπει απαραίτητα να έχουν ένα γεωμετρικό υπόβαθρο. Αυτό το σκοπό επιτελεί η γεωμετρική τεκμηρίωση. Στο πλαίσιο αυτό, γίνεται ορισμός του σχήματος, του μεγέθους και της ακριβής θέσης του στο χώρο για τη δεδομένη χρονική στιγμή που πραγματοποιούνται οι μετρήσεις πάνω στο εκάστοτε μνημείο ή ιστορικό αντικείμενο.

Ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή στην οποία βρίσκεται το αντικείμενο μελέτης, γίνεται η επιλογή του τρόπου αποτύπωσής του. Σημαντικό ρόλο λοιπόν, έχει το έδαφος και οι διακυμάνσεις του, αντίστοιχα η κλίση και η μορφολογία, επομένως το ανάγλυφο. Όσον αφορά το αντικείμενο μελέτης, οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι η ιδιαίτερη αρχιτεκτονική του, το ενδεχόμενο να έχει αλλοιωμένες ή/και φθαρμένες επιφάνειες και το μέγεθος του. Τέλος, ακόμη κάποιοι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή του τρόπου αποτύπωσης είναι οι χρονικοί και οι οικονομικοί περιορισμοί.

Στην συγκεκριμένη εργασία η αποτύπωση πραγματοποιήθηκε με επίγεια τρισδιάστατη σάρωση λέιζερ. Η μέθοδος αυτή είναι σύγχρονη και βοηθά στην ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση της γέφυρας. Στόχος είναι να αναπαρασταθεί η γέφυρα σε τρισδιάστατη μορφή, με την δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου, καθώς επίσης και σε δισδιάστατη μορφή με την παραγωγή αρχιτεκτονικών σχεδίων (κάτοψης, τομών, όψεων) μέσω των δεδομένων που θα δημιουργηθούν από τις σαρώσεις.

## Κεφάλαιο 2°. Ποντγκόριτσα, Γέφυρα Adži-raša

Η Ποντγκόριτσα βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της περιοχής Zeta στο κέντρο του Μαυροβουνίου. Η πόλη βρίσκεται στη μεγαλύτερη επίπεδη έκταση της χώρας και το μέρος είναι εξαιρετικά εύφορο λόγω των 30.000 στρεμμάτων καλλιεργήσιμης γης που εκτείνονται μέχρι τις όχθες της λίμνης Skadar. Βρίσκεται σε υψόμετρο 44 μέτρων περίπου και η γεωγραφική της θέση αποτελεί την διασταύρωση μεγάλων οδικών διαδρομών που οδηγούν από την θάλασσα προς το ηπειρωτικό τμήμα της χώρας [4].

Από την πόλη περνούν οι ποταμοί Moraca και Ribnica (εικ.3,4), οι οποίοι την διασχίζουν με κάθετες κατευθύνσεις προς τα σημεία του ορίζοντα και αποτελούν ιδιαίτερη αξία για την περιοχή λόγω της ομορφιάς τους και των αρκετών υπόγειων υδάτινων ροών που σχηματίζονται και καθιστούν το νερό της πόλης πόσιμο.



Εικόνα 1. Podgorica (outdooractive.com, Predrag Jankovic)



Εικόνα 2. Podgorica (podgorica.me)



*Εικόνα 3. Podgorica (cue-podgorica.com)*



*Εικόνα 4. Podgorica (podgorica.me)*

Κατά τη ρωμαϊκή εποχή υπήρχαν τρία αστικά κέντρα στην επικράτεια της Ποντγκόριτσα: Alta, Birziminium και Dokleja. Ο ρωμαϊκός οικισμός Birziminium, αργότερα πήρε το σλαβικό όνομα Ribnica και από τον 14<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. έγινε γνωστός ως Podgorica, που σημαίνει «βρίσκεται κάτω από το βουνό» [10].

Την περίοδο του Μεσαίωνα η πόλη αποτελούσε μέρος των σερβικών εδαφών και αργότερα άνηκε στην Οθωμανική Αυτοκρατορία. Το 1878 η περιοχή επιστράφηκε ως έδαφος στο Μαυροβούνιο και αργότερα, το 1945 έγινε η πρωτεύουσά του. Το 1952 μετονομάστηκε σε Titograd προς τιμήν του ηγέτη της Γιουγκοσλαβίας Josip Broz Tito χαρακτηρίζοντάς την, πρωτεύουσα της Σοσιαλιστικής Δημοκρατίας του Μαυροβουνίου μεταμορφώνοντας ολοκληρωτικά την πόλη με τη βιομηχανία και τις υποδομές που δημιουργήθηκαν κάνοντάς την εμπορικό, κοινωνικό, οικονομικό και πολιτιστικό κέντρο της δημοκρατίας [8].

Τέλος, το 1992 λόγω της κατάρρευσης του κράτους αποκαταστάθηκε και επαναφέρθηκε και πάλι το όνομα Ποντγκόριτσα. Μετά τις σοβαρές οικονομικές συνέπειες που αντιμετώπισε η χώρα από τις συγκρούσεις που πραγματοποιήθηκαν, άρχισε σιγά σιγά να ανακάμπτει και μετά το δημοψήφισμα που έγινε το 2006 έως και σήμερα, η Ποντγκόριτσα είναι πλέον η πρωτεύουσα του ανεξάρτητου κράτους του Μαυροβουνίου [5].



Εικόνα 5. Podgorica (Google Maps)

Η Ποντογκόριτσα φημίζεται ως η πόλη των γεφυρών, γιατί πάνω από τους ποταμούς που την διασχίζουν έχει αρκετές γέφυρες και γραφικά γεφύρια, χτισμένα σε διαφορετικούς αρχιτεκτονικούς ρυθμούς, ανάλογα την περίοδο κατά την οποία χτίστηκαν, που μόνο κάποια από αυτά έχουν επιβιώσει έως σήμερα με τον αρχικό αρχιτεκτονικό σχεδιασμό τους.



Εικόνα 6. Podgorica (twitter.com)



Εικόνα 7. Γέφυρα Adzi-Pasa (flickr.com)

Επιστρέφοντας στην περίοδο του Μεσαίωνα, στην Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία, τον 15<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. που χτίστηκε η γέφυρα Adzi Pasa η περιοχή λεγόταν από τους Ρωμαίους *Bigziminium* και ήταν το εμπορικό κέντρο της επαρχίας *Prevali*. Η σημασία της πόλης καθοριζόταν από την θέση της στον εμπορικό δρόμο προς την Αδριατική θάλασσα και στη συνέχεια προς τις δυτικές χώρες, γιατί από εκεί περνούσε ο δρόμος των καραβανιών. Η γέφυρα είναι ένα από τα λίγα μνημεία που απέμειναν από την ρωμαϊκή πόλη, καθώς καταστράφηκε σχεδόν ολοκληρωτικά λόγω ενός μεγάλου σεισμού που έπληξε την περιοχή γύρω της το 618 μ.Χ [11].

Στη συνέχεια, η γέφυρα υπέστη μεγάλη ανακατασκευή κατά την διάρκεια της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας, τον 18<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. Η ανοικοδόμησή της χρηματοδοτήθηκε από τον *Adzi-Pasa Osmanagic* και έτσι από τότε έμεινε γνωστή κυρίως με το δικό του όνομα [12].



*Εικόνα 8. Γέφυρα Adzi-Pasa (unasea)*

Επίσης, οι ντόπιοι την αποκαλούν «η πέτρινη γέφυρα της Ρίμπνιτσα» και το μέρος που την περιβάλλει αποτελεί αξιοσημείωτο τοπίο της πόλης για τους κατοίκους, οι οποίοι το αναφέρουν και ως *Skaline* ή *Skalimost* περίπου από την δεκαετία του 1950, που σημαίνει «σκάλα», λόγω των σκαλοπατιών που χτίστηκαν από τη γέφυρα προς το φρούριο που βρίσκεται δίπλα της.

Οι κάτοικοι το θεωρούν ως το πιο αγαπημένο ρομαντικό μέρος της περιοχής, καθώς ήταν πάντα τόπος συνάντησης των ερωτευμένων για τους νέους και τόπος

συγκέντρωσης για τους ηλικιωμένους, έτσι ώστε να μπορούν να παρακολουθούν το ηλιοβασίλεμα (εικ.8,9) [20].



*Εικόνα 9. Γέφυρα Adzi-Pasa, "Starimost"*

Οι άνθρωποι που μένουν στην περιοχή του Staro λένε τη γέφυρα «Most na Stavcima», επειδή η περιοχή γύρω από τις εκβολές του ποταμού ονομαζόταν Sastavci και η Σέρβικη ορθόδοξη Εκκλησία διοργανώνει κάθε χρόνο πομπή που διασχίζει την περιοχή την ημέρα γιορτής του Αγίου Μάρκου, ο οποίος είναι ο πολιούχος της Ποντγκόριτσα.

Η γέφυρα Adzi-pasa, γνωστή και ως η «Παλιά Γέφυρα», χτίστηκε πάνω από τον ποταμό Ribnica κοντά στο σημείο συμβολής του με τον ποταμό Moraca και είναι η παλαιότερη γέφυρα στην περιοχή της Ποντγκόριτσας, πρωτεύουσα του Μαυροβουνίου. Η τοποθεσία της είναι σε μια παλιά τουρκική συνοικία «Stara Varos», που σημαίνει «Παλιά Πόλη» και αποτελούσε τον πυρήνα της Ποντγκόριτσα.





Εικόνα 10. Γέφυρα Adzi-Pasa (instagram.com)

Η συνοικία αυτή όπως επίσης και οι Drac, Nova Varos είναι εκείνες που έχουν διατηρηθεί ακόμα με το πέρασμα των χρόνων στην Ποντογκόριτσα μετά από τις σημαντικές ζημιές που υπέστη το κέντρο της πόλης κατά την διάρκεια του Δεύτερου Παγκόσμιου Πολέμου.

Συγκεκριμένα, η Παλιά Γέφυρα έχει τη βάση της κάτω από τα τείχη του φρουρίου «Deredogen», που σημαίνει «κάτω από το λόφο» [7]. Το φρούριο αυτό είναι αξιοσημείωτο μνημείο της πόλης και από τα ελάχιστα τοπόσημα που σώζονται ακόμα από την Οθωμανική εποχή, το οποίο προστάτευε την πόλη και τον πύργο του ρολογιού (εικ. 11) από επιδρομές Σέρβων και Μαυροβούνιων.

Η γέφυρα χτίστηκε τον 15<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ., περίπου το 1474 από τους Οθωμανούς στη συμβολή των ποταμών Ribnica και Morac, ενώ μετά από έρευνες διαπιστώθηκε πως οι προεκτάσεις και οι πύργοι του φρουρίου στηρίζονται σε θεμέλια μισού μέτρου και δεν υπάρχουν υπολείμματα από κατασκευές προηγούμενων οχυρών ή κτισμάτων κάτω από αυτά.

Ανήκει στην κατηγορία των τοξωτών πέτρινων γεφυρών, έχει μία μόνο καμάρα, ύψος μόλις λίγων μέτρων και λέγεται ότι χτίστηκε από πέτρες του ποταμού. Η κύρια χρήση του φρουρίου εκτός από το να συμβάλει στην άμυνα της πόλης, ήταν η διατήρηση ενός αρκετά μεγάλου αριθμού πυρομαχικών, τα οποία και αποτέλεσαν την αιτία της πτώσης του καθώς το 1878 από έναν κεραυνό που χτύπησε την αποθήκη

πυρομαχικών το μεγαλύτερο μέρος του φρουρίου καταστράφηκε (εικ.12, 13, 14). Από το 1879 λοιπόν και μετά, όποιος πολίτης ήθελε να χτίσει σπίτι στην παλιά ή την νέα πόλη έπαιρνε πέτρες από τα χαλάσματα του φρουρίου [14].



Εικόνα 11. Πύργος Ρολογιού (pinterest.com)



Εικόνα 12. Φρούριο Depedogen (autoravel.ru)



Εικόνα 13. Φρούριο Depedogen (autoravel.ru)



*Εικόνα 14. Φρούριο Depedogen*



*Εικόνα 15. Γέφυρα Adzi-Pasa (advisor.com)*



Εικόνα 16. Γέφυρα Adzi-Pasa (advisor.com)

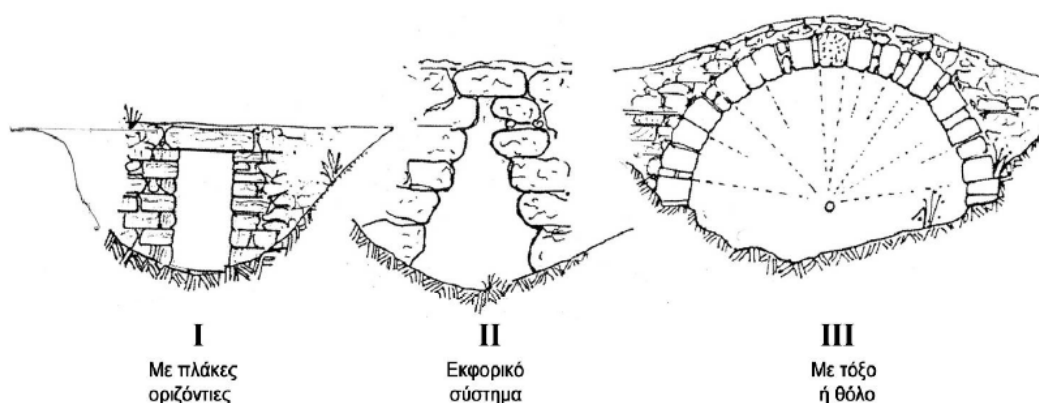
Σήμερα τα απομεινάρια τέτοιων μνημείων, της παλιάς γέφυρας, του φρουρίου Deredogen, και άλλων όπως ο πύργος του ρολογιού, τα στενά δρομάκια της περιοχής και το τζαμί από την εποχή της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας αντιπροσωπεύουν μια πολύτιμη μνημειακή πολιτιστική κληρονομιά για τους ντόπιους.

## Κεφάλαιο 3°. Γεφυροποιία

Η γέφυρα αποτελεί μια αρχιτεκτονική κατασκευή με την οποία γίνεται η ένωση δύο τοποθεσιών, μεταξύ των οποίων υπάρχει κάποιο φυσικό ή τεχνητό εμπόδιο. Στην περιοχή μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας, το έδαφος καλύπτεται από μικρές διακυμάνσεις του αναγλύφου, όμως βασικό χαρακτηριστικό των εκτάσεων αποτελούν οι ποταμοί που τη διασχίζουν. Το γεγονός αυτό την κάνει να ξεχωρίζει λόγω των αρκετών γεφυρών που έχουν δημιουργηθεί με σκοπό την ζεύξη και την ασφαλή διέλευση πεζών αλλά και των μεταφορικών μέσων τους από το ένα μέρος στο άλλο πάνω από ποτάμια, ρέματα και χειμάρρους.

### 3.1 Πέτρινη Γεφυροποιία

Η τέχνη της γεφυροποιίας αναπτύχθηκε και έχει τις ρίζες τις στα αρχαία χρόνια στη διάρκεια των οποίων δημιουργήθηκε η ανάγκη των ανθρώπων για μετακίνηση σε άλλους τόπους. Τα περισσότερα πέτρινα γεφύρια χτίστηκαν κατά την περίοδο της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας και αργότερα αρκετά από αυτά υπέστησαν ανοικοδόμηση κατά την διάρκεια της Τουρκοκρατίας. Ανάλογα την περίοδο στην οποία δημιουργούταν η κάθε γέφυρα, αποκτούσε και διαφορετικό αρχιτεκτονικό ύφος, και αυτό γιατί διαφοροποιούταν ο τρόπος κατασκευής, οι τεχνικές και τα υλικά από τόπο σε τόπο. Επίσης, άλλαζε και η προσέγγιση κατασκευής του έργου και σημαντικό ρόλο είχαν οι καιρικές συνθήκες και το ανάγλυφο της κάθε περιοχής. Οι κατασκευαστές όφειλαν να λάβουν τις παραμέτρους αυτές υπόψη οπότε χιζόταν γεφύρια, έτσι ώστε να είναι εξασφαλισμένη η ασφαλής διέλευση των περαστικών (εικ.17).



Εικόνα 17. Είδη τόξων γεφυριών (Πετρονώτης, 2012)

Κύριο δομικό υλικό για την κατασκευή των πέτρινων γεφυριών αποτελούν οι γερές πέτρες, οι οποίες είναι αυτές που οφείλονται στην διαφοροποίηση των γεφυριών μεταξύ τους. Συνδετική ύλη με την οποία επιτυγχάνεται η ένωση των πετρών ήταν το ασβεστοκονίαμα, το οποίο είναι μείγμα από ασβέστη, άμμο και νερό

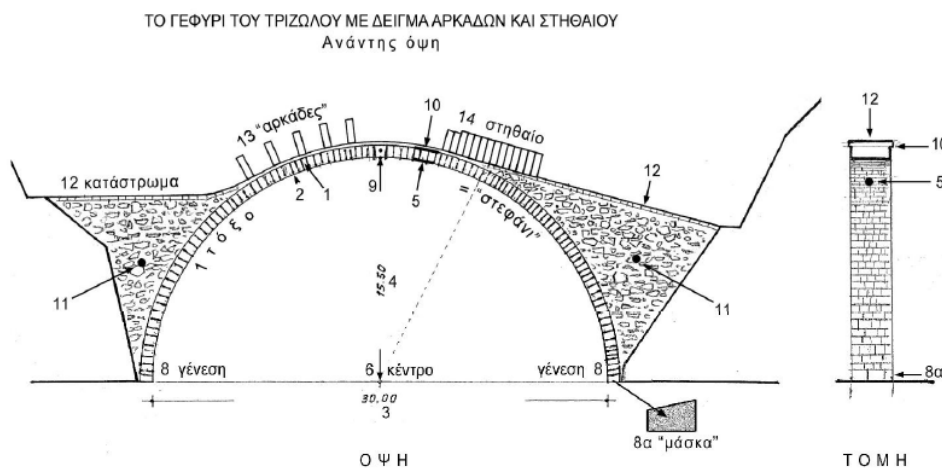
σε διάφορες αναλογίες και το κουρασάνι, είναι ένα παραδοσιακό κονίαμα γνωστό από τα ρωμαϊκά χρόνια, το οποίο είναι μείγμα από άμμο και νερό, χρησιμοποιείται για την σύνδεση οικοδομικών υλικών όπως τα τούβλα και οι πέτρες, καλύπτοντας τα κενά ανάμεσά τους.

Το πιο χαρακτηριστικό στοιχείο της κατασκευής των πέτρινων γεφυριών είναι το τόξο ή καμάρα. Η κατασκευή του ήταν γνωστή από την Αρχαία Ελλάδα, όμως πήρε μεγαλύτερες διαστάσεις κατά την περίοδο της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας οι οποίοι φημιζόταν για τις κατασκευαστικές τους ικανότητες στα τεχνικά έργα και δανείστηκαν την κατασκευή του τόξου από τους Ετρούσκους, ήταν αρχαίος λαός στην κεντρική χώρα της σημερινής Ιταλίας, οι οποίοι επινόησαν τις τοξωτές κατασκευές και οι Ρωμαίοι στη συνέχεια εφάρμοζαν την τεχνική αυτή συστηματικά σε μεγάλη ποικιλία κατασκευών [23].

### 3.2 Κατασκευή πέτρινου γεφυριού

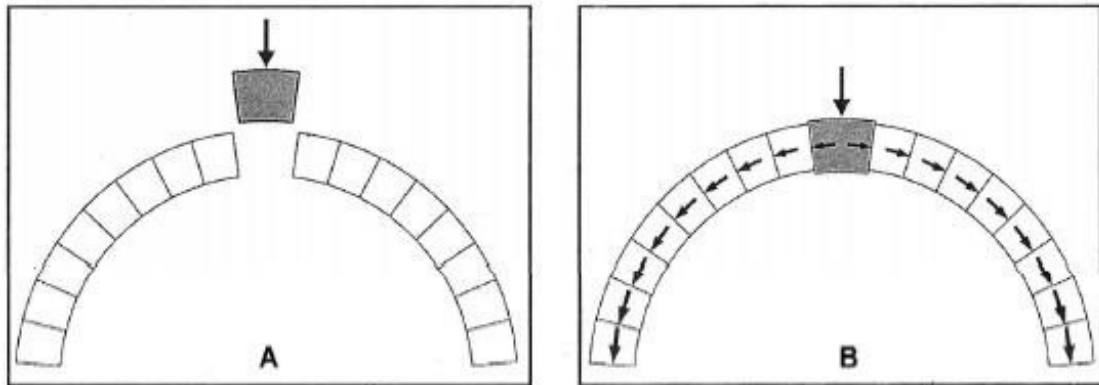
Για τη δημιουργία και την κατασκευή ενός γεφυριού πρέπει αρχικά να γίνει η επιλογή του καταλληλότερου σημείου του ποταμού ή του ρέματος πάνω από το οποίο θα περνάει, να γίνει η θεμελίωση του που διαφέρει ανάλογα με το έδαφος, ορεινό ή πεδινό. Στη συνέχεια, να στηθούν τα καλούπια, να κατασκευαστεί κάθε τόξο ξεχωριστά είτε αποτελεί το κύριο μέρος της γέφυρας είτε είναι ανακουφιστικό και βοηθάει στην στήριξή της στο έδαφος (εικ.18).

Η ολοκλήρωση των τόξων επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση του «κλειδιού» (εικ.19) και τα κενά καλύπτονται με πέτρες σε ακανόνιστα σχήματα συνήθως από ότι υπάρχει διαθέσιμο στην περιοχή γύρω από την γέφυρα.

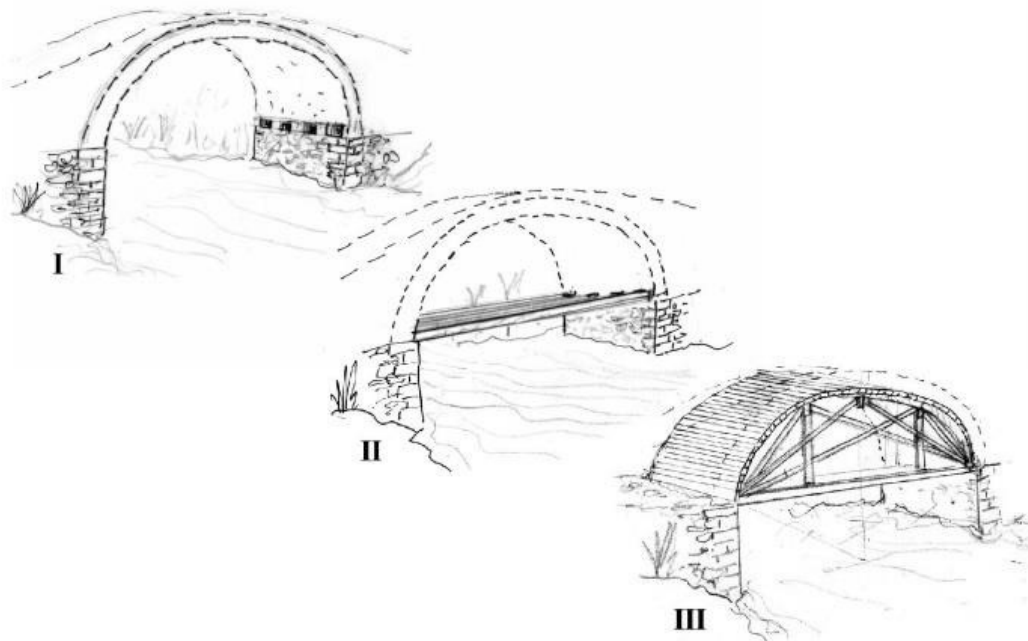


Εικόνα 18. Βασικά μέρη πέτρινου γεφυριού (Πετρονώτης, 2012)

Τέλος, αφού ολοκληρωθεί και η κατασκευή των ανακουφιστικών τόξων συνήθως με ψευτοκαμάρες, χτίζεται το κατάστρωμα του γεφυριού με τα στηθαία και ακολουθεί το ξεκαλούπωμα.



Εικόνα 19. «Κλειδί» τόξου (Πετρονώτης, 2012)



Εικόνα 20. Στήριξη τόξου (Πετρονώτης, 2012)



### 3.3 Κατηγορίες τοξωτών γεφυριών

Τα μονότοξα γεφύρια, συνηθίζεται να διαμορφώνονται ανάλογα με την μορφολογία του εδάφους και της περιοχής γύρω από αυτά [23]. Στα ημιορεινά ή και στα ορεινά μέρη συναντώνται μονότοξα γεφύρια με στενό άνοιγμα τόξου (εικ.21). Τα γεφύρια αυτά είναι «σφηνωμένα» ανάμεσα σε αντικριστούς βράχους, έδαφος που θεωρείται το πιο κατάλληλο και το πιο στερεό θεμέλιο.



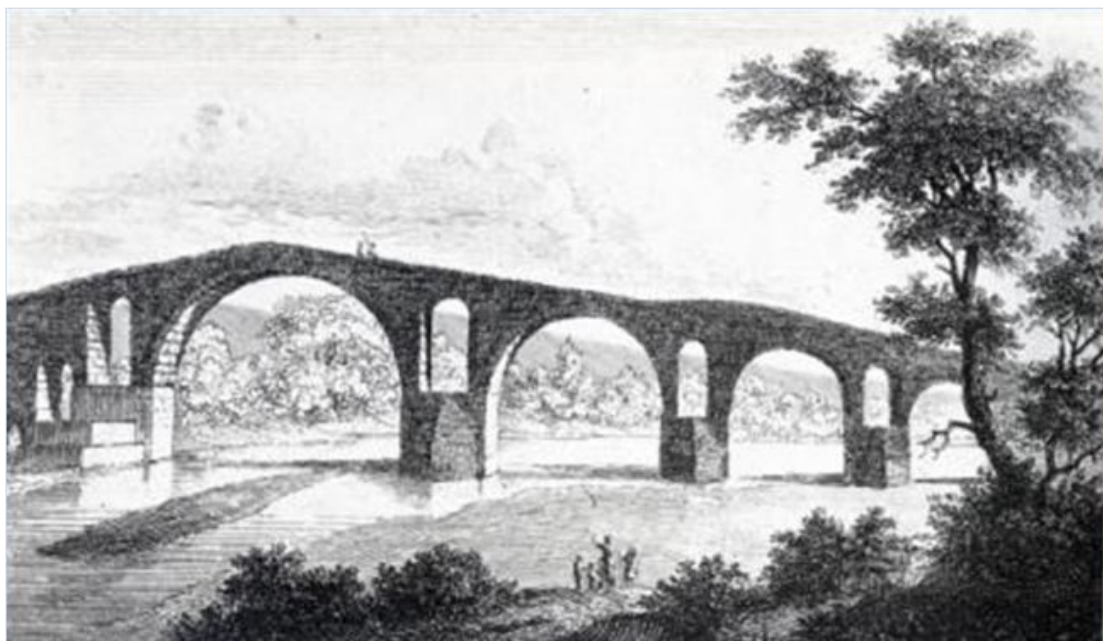
Εικόνα 21. Μονότοξο γεφύρι με στενό άνοιγμα τόξου (Γιαννίρης, 2015)

Στις ρίζες των βουνών προς τις πεδιάδες τα γεφύρια έχουν μεγάλο άνοιγμα τόξου, επειδή η δύναμη της ροής του ποταμού ή του ρέματος που περνούν κάτω από αυτά είναι μεγάλη (εικ.22).



Εικόνα 22. Μονότοξο γεφύρι με μεγάλο άνοιγμα τόξου (Γιαννίρης, 2015)

Τα γεφύρια που είναι κατασκευασμένα με πολλά ανοίγματα ή τόξα, έχουν θεμελίωση μέσα στον ποταμό και τοποθετούνται στα πεδινά μέρη, στα οποία η δύναμη της ροής είναι περισσότερο ομαλή (εικ.23).



Εικόνα 23. Γεφύρι με πολλά ανοίγματα και τόξα (Γιαννίρης, 2015)

Κάθε γεφύρι είναι μοναδικό και κανένα δεν μοιάζει με κάποιο άλλο, γιατί το σχήμα και η μορφή του καθορίζονται από τον πρωτομάστορα και οι παράγοντες που επηρέαζαν την κατασκευή του σχετιζόταν με την μορφολογία του εδάφους και την απόσταση που είχαν οι όχθες μεταξύ τους.

Τα μονότοξα γεφύρια είχαν μικρότερο κόστος κατασκευής και μπορούσαν να χτιστούν και να ολοκληρωθούν με πιο γρήγορους ρυθμούς. Επίσης, ανάλογα με τη ροή του ποταμού, ήταν πιο δύσκολη η υπερχείλιση του λόγω του ανοίγματος του γεφυριού, όμως ήταν μειωμένη η αντοχή του σε φορτίο.

Τα κύρια μέρη της γέφυρας είναι το κατάστρωμα, δηλαδή η λιθόστρωτη ή πλακόστρωτη επιφάνεια πάνω στην οποία γίνεται η κυκλοφορία πεζών, οχημάτων και φορτίων, το τόξο που ορίζεται από το στεφάνι και η στήριξή του γίνεται με το κλειδί στην κορυφή του, ο φορέας που αποτελεί το κυρίως μέρος της γέφυρας πάνω στον οποίο στηρίζεται το κατάστρωμα και στα πλαϊνά του έχει τους πλευρικούς τοίχους, ενώ η ασφάλιση του καταστρώματος γίνεται με την κατασκευή στηθαίων και τέλος τα βάθρα πάνω στα οποία στηρίζεται ο φορέας (εικ.18) [23].

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>. Γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων και μέθοδοι αποτύπωσης

### 4.1 Γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων

Η έννοια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης μνημείων, αφορά τη διαδικασία συλλογής, την επεξεργασία και την απεικόνιση των στοιχείων του αντικείμενου μελέτης, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός της θέσης του, της πραγματικής μορφής που έχει, όπως και το σχήμα και το μέγεθός του στον τρισδιάστατο χώρο την χρονική στιγμή που γίνεται η λήψη των δεδομένων και με τις εκάστοτε συνθήκες.

Ολοκληρώνοντας τη γεωμετρική τεκμηρίωση, σημαίνει πως έχει πραγματοποιηθεί καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης του αντικείμενου πάνω στο οποίο γίνεται η μελέτη και στη συνέχεια έχει γίνει παραγωγή σχεδίων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως υπόβαθρο για επόμενες μελέτες εξοικονομώντας χρόνο και πιθανόν χρήματα. Μέσω των διαδικασιών που ακολουθούνται για τη γεωμετρική τεκμηρίωση, η οποία αποτελεί πρωταρχική διαδικασία για την καταγραφή κάθε μνημείου, δίνονται δυνατότητες παραγωγής γεωμετρικού υποβάθρου, με τέτοιο τρόπο ώστε να δέχεται περαιτέρω επεξεργασία και από διαφορετικές ειδικότητες μηχανικών και επιστημόνων, όπως για παράδειγμα αρχιτέκτονες και αρχαιολόγους, με στόχους κυρίως την ανάδειξη των μνημείων, μελέτες για την προστασία τους και τις αναγκαίες ενέργειες προκειμένου να γίνει συντήρησή τους [25].

Οι αποτυπώσεις που αφορούν την γεωμετρική αποτύπωση μνημείων διαχωρίζονται σε κατηγορίες αναλόγως την έκταση, την θεματολογία που ζητείται στα τελικά αντικείμενα που θα παραχθούν, τους σκοπούς για τους οποίους γίνεται εξ αρχής η αποτύπωση και φυσικά την αξιοπιστία στις μετρήσεις που θα γίνουν με βάση το υπόβαθρο που θα δημιουργηθεί.

Έτσι λοιπόν, υπάρχουν οι αποτυπώσεις υψηλής ακρίβειας, οι οποίες γίνονται με ακρίβεια κλίμακας από 1:20 έως 1:50 και οι συγκεκριμένες κυρίως για να γίνει έλεγχος σχετικά με τις μικρομετακινήσεις που μπορεί να έχει υποστεί το μνημείο ή όταν χρειάζεται για διάφορους λόγους να αφαιρεθεί και επανατοποθετηθεί μέρος του. Για τις αποτυπώσεις αυτές χρησιμοποιούνται τοπογραφικές ή φωτογραμμετρικές μέθοδοι ανάλογα με το αντικείμενο προς αποτύπωση [17].

Επίσης, μία κατηγορία αποτελούν οι αναγνωριστικές αποτυπώσεις, κατά τις οποίες μπορεί να σχηματιστεί μία άποψη και να βγει κάποιο συμπέρασμα σχετικά με την κατανομή των μνημείων στον χώρο και να γίνει αντιληπτή η μορφή κάθε αντικειμένου ως προς το σχήμα και το μέγεθός του. Σε αυτές τις αποτυπώσεις χρησιμοποιούνται ως μέθοδοι, η φωτοερμηνεία, οι γεωφυσικές διασκοπήσεις και η αποτυπώσεις των μνημείων σε προϋφιστάμενα τοπογραφικά διαγράμματα με απλή τοπογραφική μέθοδο [22].

Τέλος, η κατηγορία αποτυπώσεων τεκμηρίωσης, κατά την οποία πραγματοποιείται πλήρης και λεπτομερής καταγραφή ενός μνημείου, έτσι ώστε στην περίπτωση που εκείνο για οποιονδήποτε λόγο υποστεί κάποια μορφή καταστροφής, να υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθεί ξανά στην αρχική του μορφή. Οι αποτυπώσεις τεκμηρίωσης έχουν σκοπό την καταγραφή της πραγματικής μορφής του αντικειμένου και της ακριβής θέσης του στο χώρο. Στην περίπτωση πραγματικής απεικόνισης στο χώρο, τα παραγόμενα διαγράμματα είναι σε κλίμακα από 1:50 έως 1:100, ενώ όταν αφορούν κυρίως την κατανομή τους στον χώρο οι κλίμακες κυμαίνονται από 1:200 έως 1:1000. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι οι επίγειες τοπογραφικές, οι φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις ή ακόμα και ο συνδυασμός των προηγούμενων δύο, ανάλογα με το αντικείμενο και τον σκοπό αποτύπωσης.

Προκειμένου να ολοκληρωθεί με επιτυχία η γεωμετρική τεκμηρίωση ενός μνημείου, θα πρέπει να γίνει συλλογή των μετρητικών πληροφοριών που θα χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν την μορφή και το μέγεθος του μνημείου στον χώρο αλλά και μετρήσεις από το χώρο που το περιβάλλει. Σημαντική είναι η λεπτομερής καταγραφή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του μνημείου, τα υλικά κατασκευής του, όπως και αντίστοιχα η κατάσταση στην οποία βρίσκεται την δεδομένη χρονική στιγμή που γίνονται οι μετρήσεις. Στη συνέχεια, ακολουθούν τα σχεδιαστικά προϊόντα που παράγονται, τα οποία αποτελούν τα δεδομένα που θα απεικονίσουν την μορφή του μνημείου (κατόψεις, όψεις και τομές). Πιο συγκεκριμένα, οι τομές του αντικειμένου διαθέτουν περισσότερη πληροφορία σχετικά με την εσωτερική του μορφή, το πάχος των εξωτερικών ή και εσωτερικών τοιχωμάτων και οτιδήποτε άλλο συμπεριλαμβάνεται στο μνημείο. Αντίστοιχα, η σημαντική πληροφορία που υπάρχει στις όψεις του αντικείμενου που αποτυπώνεται είναι το ύψος, το σχετικό του ύψος με την ορισμένη επιφάνεια αναφοράς ή το υψόμετρο στην περίπτωση που τα σχέδια είναι γεωαναφερόμενα.

## 4.2 Μέθοδοι αποτύπωσης

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην σημερινή εποχή για την αποτύπωση είτε ενός μικρού αντικειμένου είτε μιας περιοχής είναι η τοπομετρική, η τοπογραφική, η φωτογραμμετρική, η αποτύπωση με laser scanner και ο συνδυασμός κάποιων από τα παραπάνω μεταξύ τους.. Οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν υπάρχουν έτσι ώστε να μπορούν να αποτυπωθούν αντικείμενα, αγροτεμάχια ή ακόμα και μεγαλύτερες όπως αρχαιολογικοί χώροι. Με τη πάροδο των χρόνων και σύμφωνα με τις ανάγκες που δημιουργήθηκαν, η εξέλιξη της τεχνολογίας συνέβαλε με τέτοιο τρόπο, ώστε να εργαλεία και μηχανήματα σε επαγγελματίες και επιστήμονες με σκοπό να πραγματοποιούνται μετρήσεις ακρίβειας τον πραγματικό χώρο σε μικρό χρονικό διάστημα, βοηθώντας στην εξοικονόμηση των πόρων.

### 4.2.1 Τοπομετρική αποτύπωση

Η τοπομετρική μέθοδος χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μικρών αποτυπώσεων και αφορά σχέδια με μεγάλη κλίμακα. Χρησιμοποιούνται όργανα όπως το αποστασιόμετρο (EDM) και η μετροταινία (εικ.24). Συχνά γίνεται η επιλογή της σε αποτυπώσεις εσωτερικών χώρων κυρίως για την σχεδίαση κατόψεων μετρώντας τις αποστάσεις. Τα δεδομένα από αυτή την μέθοδο καταγράφονται σε πρόχειρο σκαρίφημα (κροκί) και τα παραγόμενα έχουν σχεδιαστεί συνήθως σε σχεδιαστικά προγράμματα CAD, όπως AutoCAD, ArchiCAD.



Εικόνα 24. Μετρητικά όργανα

#### 4.2.2 Τοπογραφική αποτύπωση

Μέσω της τοπογραφίας, γίνεται ο ακριβής προσδιορισμός θέσης ενός σημείου με βάση τις μετρήσεις γωνιών και αποστάσεων για τον καθορισμό πλάτους, μήκους και υψομέτρου. Η τοπογραφική μέθοδος χρησιμοποιείται για πιο σύνθετες εργασίες που απαιτούνται μεγάλη ακρίβεια, στις περιπτώσεις τις οποίες δηλαδή το μνημείο έχει απλό σχήμα και γεωμετρία και χρειάζονται μετρήσεις υψηλής ακρίβειας ή ακόμα και όταν πρόκειται για μικρές κλίμακες. Συνήθως εφαρμόζεται σε μεγάλα αντικείμενα και όταν η αποτύπωσή τους γίνεται σε εξωτερικούς χώρους. Για τον καθορισμό των σημείων στο χώρο χρησιμοποιείται η μέθοδος του τριγωνισμού, των ορθογώνιων συντεταγμένων και των πολικών συντεταγμένων.

Για την εφαρμογή της τοπογραφικής μεθόδου, πραγματοποιούνται οι μετρήσεις στο πεδίο με όργανα ακρίβειας όπως γεωδαιτικοί σταθμοί Total Station (εικ.25) και ανάλογα τις συνθήκες και το αντικείμενο αποτύπωσης χρησιμοποιείται κάτοπτρο ή γίνεται λήψη μετρήσεων χωρίς πρίσμα (NP). Οι γεωδαιτικοί σταθμοί παίρνουν μετρήσεις οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών, όπως και οριζόντιες ή κεκλιμένες αποστάσεις από τα σημεία ενδιαφέροντος των μνημείων ή και των χώρων προς αποτύπωση, σχετικά με το σημείο στο οποίο έχουν τοποθετηθεί ιδρύοντας μία στάση.

Η τοπογραφική αποτύπωση συνήθως συνδυάζεται με εφαρμογές δορυφορικού εντοπισμού με σκοπό οι μετρήσεις να ενταχθούν σε κάποιο γεωδαιτικό σύστημα συντεταγμένων. Ο δορυφορικός εντοπισμός (GPS) χρησιμοποιείται για να γίνει λήψη μετρήσεων μέσω των δορυφόρων για τον προσδιορισμό της θέσης του αντικείμενου μελέτης.

Επιλέγοντας λοιπόν την τοπογραφική μέθοδο αποτύπωσης, ακολουθείται η παρακάτω μεθοδολογία. Αρχικά, γίνεται αναγνώριση της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα του αντικείμενου προς αποτύπωση, χρειάζεται να γίνει ίδρυση τριγωνομετρικού δικτύου, έτσι ώστε να εξαρτηθεί η αποτύπωση των σημείων σε ένα σύστημα συντεταγμένων και να εξασφαλιστεί η ακρίβειά τους. Στη συνέχεια, γίνεται η επιλογή των σταθερών σημείων γύρω από το αντικείμενο, που θα αποτελέσουν το δίκτυο αυτό με σκοπό να αποτυπωθούν όλα τα σημεία λεπτομέρειας. Το δίκτυο, δηλαδή η όδευση μπορεί να είναι ανεξάρτητη ή εξαρτημένη από το κρατικό σύστημα συντεταγμένων από το ένα άκρο είτε και από τα δύο άκρα στην περίπτωση που είναι ανοιχτή όδευση. Συνήθως, γίνεται επιλογή εξαρτημένης όδευσης καθώς με αυτόν τον τρόπο υπάρχει ενιαίο σύστημα αναφοράς και μπορεί να γίνει συσχέτιση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών διάφορων αντικειμένων σχετικά με την θέση, το μέγεθος και τον προσανατολισμό τους.

Ωστόσο, αυτή η μέθοδος αποτύπωσης τείνει να μην προτιμάται σε μεγάλο βαθμό για εργασίες αποτύπωσης μνημείων ή αντικειμένων, διότι βασικό μειονέκτημά της είναι ο χρόνος φυσικής παρουσίας που χρειάζεται η διαδικασία μετρήσεων στο πεδίο. Ακόμη ένας λόγος, είναι το γεγονός ότι με μετρήσεις γωνιών και αποστάσεων δεν μπορεί να καταγραφεί η υφή της εξωτερικής επιφάνειας του αντικειμένου καθώς επίσης και τα χρώματά του. Έτσι, αυτομάτως δεν δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθεί μοντέλο του αντικειμένου, προϊόν το οποίο πλέον είναι συχνά ζητούμενο στις αποτυπώσεις αυτές. Για την δημιουργία ενός εικονικού προϊόντος θα πρέπει να γίνει συνδυασμός μεθόδων αποτύπωσης, έτσι ώστε να δημιουργηθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα ενός μοντέλου με φωτοϋφή.



Εικόνα 25. Total Station (Leica, Topcon)

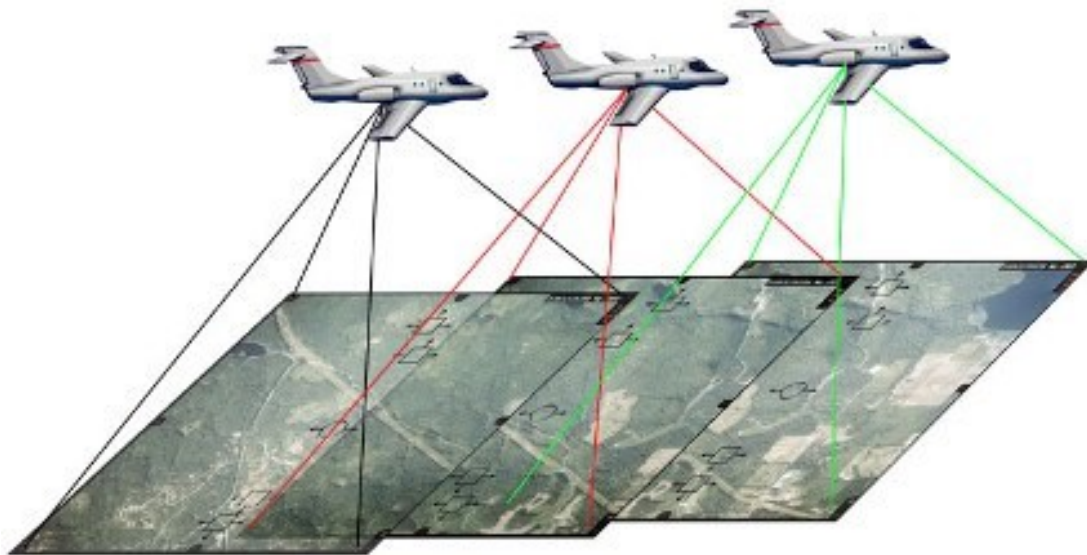
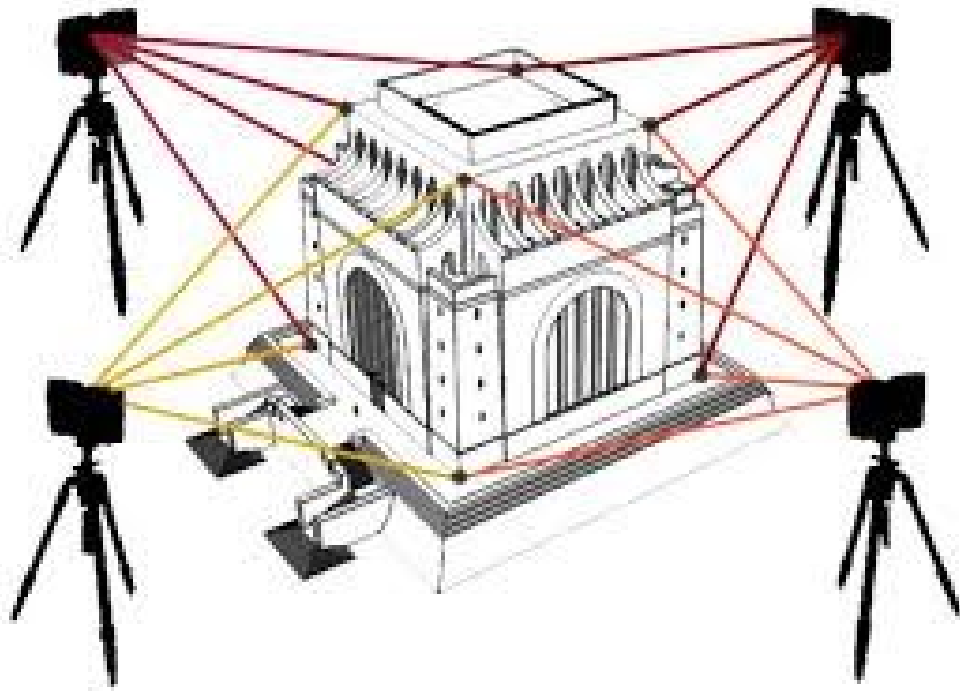
#### 4.2.3 Φωτογραμμετική αποτύπωση

Φωτογραμμετρία είναι η τεχνική και η επιστήμη η οποία αξιοποιώντας την τεχνολογία και την εξέλιξή της, συμβάλει στην απόκτηση αξιόπιστης πληροφορίας σχετικά με τη γεωμετρική μορφή αντικειμένων. Ακόμη είναι μία μετρητική μέθοδος προσδιορισμού των συντεταγμένων και των διαστάσεων ενός αντικειμένου στο χώρο με χρήση φωτογραφιών μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας των εικόνων αυτών (εικ.26).

Η φωτογραμμετρική μέθοδος αποδίδει πληροφορίες για τη θέση, το σχήμα και τις διαστάσεις του αντικειμένου ενδιαφέροντος στο χώρο. Για την εξαγωγή πληροφοριών με αυτή τη μέθοδο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία εικόνα στην περίπτωση που είναι ορθοφωτογραφία και για να δημιουργηθεί μια ορθοφωτογραφία χρειάζεται μία εικόνα και ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους, έτσι ώστε χρησιμοποιηθεί η πληροφορία των υψομέτρων. Γενικά, μονοεικονικά γίνεται επεξεργασία μόνο όταν είναι γνωστή η γεωμετρία του αντικειμένου, δηλαδή οι διαστάσεις του, οπότε δεν γίνεται να υπάρχει πληροφορία για την γεωμετρία χωρίς να έχει γίνει ορθοαναγωγή της εικόνας. Οι συντεταγμένες των σημείων που χρειάζονται να είναι γνωστά, συνήθως προκύπτουν από τοπογραφικές μετρήσεις. Σε κάθε άλλη περίπτωση, χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερες επικαλυπτόμενες φωτογραφίες. Οι εικόνες αυτές λαμβάνονται από διαφορετικές θέσεις λήψης και με τη χρήση ομόλογων σημείων μεταξύ τους, μπορούν να οριστούν με σχετικό προσανατολισμό σε μία τυχαία κλίμακα. Αν υπάρχει επιπλέον εξωτερική πληροφορία, όπως κάποια διάσταση στο χώρο, συντεταγμένες ενός σημείου ή φωτοσταθερά σημεία τότε μπορεί να οριστεί απόλυτος προσανατολισμός του αντικειμένου.

Συχνά εφαρμόζεται σε αποτυπώσεις μνημείων για την απεικόνιση του εξωτερικού τους μέρους και σε μνημεία που απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στις λεπτομέρειές τους. Συνήθως, στις εργασίες πεδίου γίνεται συνδυασμός της τοπογραφικής με την φωτογραμμετρική μέθοδο, δηλαδή παίρνοντας μετρήσεις με τον γεωδαιτικό σταθμό σε φωτοσταθερά που είναι τοποθετημένα σε χαρακτηριστικά σημεία των αντικειμένων και φωτογραφίζοντας το σημείο αυτό, λαμβάνονται φωτογραφίες από διαφορετικές θέσεις ώστε να καλυφθεί το μνημείο και στη συνέχεια συνδυάζοντας τις μετρήσεις, οι φωτογραφίες δίνουν στο μοντέλο φωτοϋφή, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.





Εικόνα 26. Φωτογραμμετρική μέθοδος αποτύπωσης

#### 4.2.4 Αποτύπωση με επίγειο τρισδιάστατο laser scanner

Με την χρήση των επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών laser, μπορεί να πραγματοποιηθεί μια ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων. Οι επίγειοι αυτοί σαρωτές (εικ.27) έχουν τη βάση τους στην τεχνολογία laser, μέσω της οποίας δίνεται η δυνατότητα να λαμβάνονται μετρήσεις, δημιουργώντας ένα αρκετά πυκνό σύνολο σημείων και να επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός της θέσης του συνόλου που απεικονίζει το αντικείμενο που αποτυπώνεται στον τρισδιάστατο χώρο [21]. Λόγω της πυκνότητας των σημείων στο σύνολο που παράγεται από τις μετρήσεις, χρησιμοποιείται η ονομασία «νέφος» (Point Cloud).

Στην αποτύπωση με laser scanner, κάθε σημείο ορίζεται από την θέση (X, Y, Z) σε ένα αυθαίρετο σύστημα αναφοράς, που δημιουργείται από το όργανο, και την ένταση του σήματος επιστροφής της δέσμης laser από την αντανάκλαση. Οι σαρωτές είναι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί που έχουν στο εσωτερικό τους μία κάμερα από την οποία λαμβάνουν ταυτόχρονα τοπογραφικές μετρήσεις και φωτογραφίες του αντικειμένου που αποτυπώνεται, έτσι ώστε να έχει τη δυνατότητα κάθε σημείο να πάρει την πληροφορία χρώματος (Red Green Blue).

Ανάλογα το αντικείμενο μελέτης, για μία ολοκληρωμένη αποτύπωση χρειάζονται παραπάνω από μία σαρώσεις, άρα το όργανο τοποθετείται σε νέα στάση από την οποία να υπάρχουν κοινά σημεία για να επικαλύπτονται οι σαρώσεις έτσι ώστε να γίνει ένταξή τους σε ένα νέο κοινό σύστημα αναφοράς. Στη συνέχεια, αν είναι απαραίτητη η γεωαναφορά του συστήματος αυτού, γίνεται με τη χρήση φωτοσταθερών σημείων τα οποία έχουν γνωστές συντεταγμένες.

Αυτή η μέθοδος αποτύπωσης, υποστηρίζει μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις και τα παραγόμενα προϊόντα, συγκριτικά με τις προηγούμενες μεθόδους που έχουν αναφερθεί παραπάνω. Επίσης, βασικό της πλεονέκτημα είναι η εξοικονόμηση χρόνου που προσφέρει ειδικά αν γίνεται αποτύπωση σε μεγάλες εκτάσεις ή ακόμα και μνημεία με μεγάλο ύψος, όπως και η ακρίβεια που αποδίδει σε περίπλοκα ως προς την γεωμετρία τους αντικείμενα και απρόσιτα μέρη. Ωστόσο, βασικός παράγοντας με βάση τον οποίο καθίσταται δύσκολη η επιλογή αυτής της μεθόδου, είναι το κόστος του εξοπλισμού.



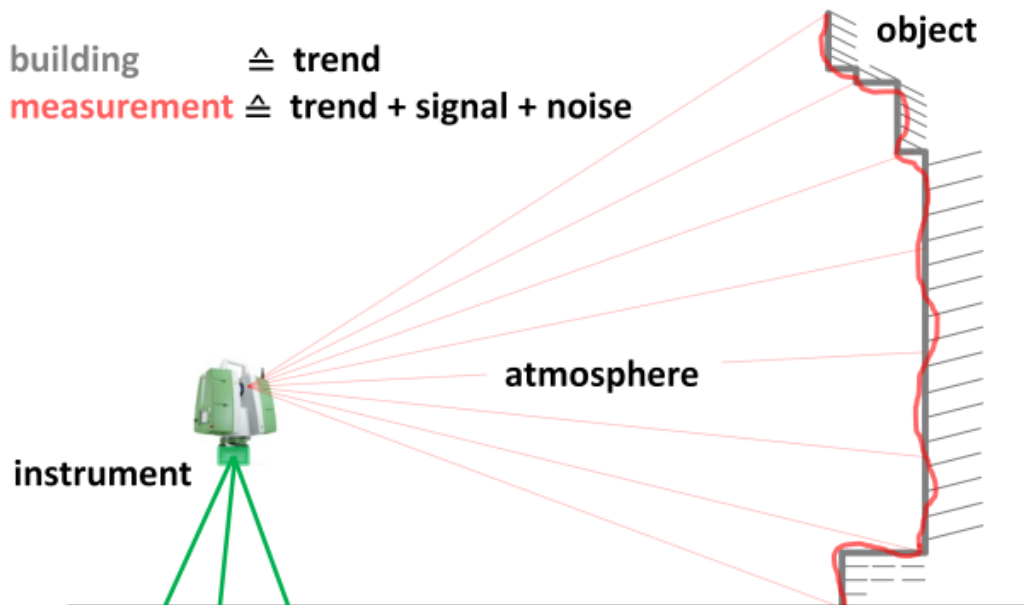
Εικόνα 27. Laser Scanner SX12 (Trimble) και BLK (Leica)

## Κεφάλαιο 5°. Laser scanner

### 5.1 Επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές laser

Στις μέρες μας, παρατηρείται πως καταβάλλεται σε παγκόσμιο επίπεδο μια προσπάθεια που αφορά την διαφύλαξη με σκοπό τη διάδοση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Έτσι, προκειμένου να παραχθούν τελικά προϊόντα με δυνατότητα μετρήσεων πάνω σε αυτά ή με προοπτική ανακατασκευής του αντικείμενου που μελετάται κάθε φορά, χρησιμοποιείται συνήθως ο συνδυασμός τεχνικών αποτύπωσης και αξιοποιείται η τεχνολογία ώστε να υπάρχει ακρίβεια και αξιοπιστία στα αποτελέσματα.

Η χρήση επίγειων τρισδιάστατων σαρωτών, είναι μία μέθοδος που εφαρμόζεται σε αρκετές μελέτες για την ολοκληρωμένη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων. Θεωρείται από τις κύριες μεθόδους τρισδιάστατης αποτύπωσης, γιατί προσδιορίζει στη δεδομένη χρονική στιγμή των μετρήσεων, τις τρισδιάστατες συντεταγμένες (X, Y, Z) του πυκνού νέφους σημείων που παράγει για το αντικείμενο μελέτης σε ένα αυθαίρετο σύστημα αναφοράς, διαθέτοντας ταυτόχρονα χρωματική πληροφορία (R, G, B) και την υφή του αντικειμένου.



Εικόνα 28. Laser scanner

## 5.2 Βασικές αρχές λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας των επίγειων σαρωτών laser (Terrestrial Laser Scanners - TLS), είναι η εκπομπή δέσμης laser, η οποία αντανακλάται επάνω στο αντικείμενο αποτύπωσης και μέρος αυτής κατευθύνεται προς τους αισθητήρες του σαρωτή. Η αντανακλαστικότητα κάθε αντικειμένου είναι διαφορετική και οι πιο ανοιχτόχρωμες ή και λευκές επιφάνειες αντανακλούν μεγαλύτερο ποσοστό οπτικής ακτινοβολίας από τις σκουρόχρωμες ή τις μαύρες [21].

Για να γίνει αποτύπωση με επίγειο τρισδιάστατο laser scanner, εκτός από τον ίδιο τον σαρωτή είναι απαραίτητα για την λειτουργία του, η μπαταρία, ο τρίποδος και οι στόχοι στην περίπτωση που ζητείται η γεωαναφορά του αντικειμένου προκειμένου να προσδιοριστεί η πραγματική του θέση στον χώρο.

Σύμφωνα με τον σκοπό για τον οποίο πραγματοποιείται η αποτύπωση, ορίζεται το αν θα γίνει ένταξη του νέφους σημείων ή η συνένωση των νεφών σε κάποιο δίκτυο γνωστών συντεταγμένων. Η διαδικασία αυτή, αλλιώς γεωαναφορά, πραγματοποιείται με συνδυασμό μεθόδων αποτύπωσης, συγκεκριμένα την τοπογραφική μέθοδο, δηλαδή στην περίπτωση αυτή, κατά τη σάρωση λαμβάνονται και σημεία ενδιαφέροντος τα οποία μετρούνται και με χρήση γεωδαιτικών σταθμών.

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται το σύστημα του σαρωτή laser εσωτερικά, είναι ο πομπός ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που στέλνει το σήμα, ο δέκτης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που λαμβάνει το επιστρεφόμενο σήμα, η καταγραφική μονάδα που διατηρεί τα δεδομένα επιστροφής σήματος και του χρόνου εκπομπής – λήψης, το χρονόμετρο μέσω του οποίου γίνεται μέτρηση του χρόνου μετάβασης και επιστροφής του εκπεμπόμενου σήματος και τέλος το σύστημα περιστρεφόμενων καθρεφτών που κατευθύνει τη δέσμη της ακτινοβολίας laser.

Η διαδικασία που ακολουθείται στις μετρήσεις με τη μέθοδο των laser scanner είναι αντίστοιχη με τις μετρήσεις χρησιμοποιώντας γεωδαιτικό σταθμό, όμως με τη διαφορά του χρόνου λήψης των σαρώσεων και τα δεδομένα που λαμβάνονται είναι της τάξης εκατομμυρίων σημείων. Έτσι, τα δεδομένα δίνουν από την αρχή μια μορφή προσομοίωσης του τρισδιάστατου μοντέλου του αντικείμενου που σαρώθηκε και στη συνέχεια με το κατάλληλο λογισμικό επεξεργασίας γίνεται επεξεργασία και μορφοποίηση για την παραγωγή τελικών προϊόντων.

Για τους σαρωτές προηγούμενης γενιάς, ήταν απαραίτητη η παροχή ενέργειας, γεγονός που δημιουργούσε πρόβλημα στις αποτυπώσεις πεδίου και ήταν περιορισμένα τα χρονικά περιθώρια ολοκλήρωσης των μετρήσεων. Επομένως, η σημαντικότερη εξέλιξη στους σαρωτές νέας γενιάς, θεωρείται πως είναι η μπαταρία έτσι ώστε τα μηχανήματα να έχουν πλήρη αυτονομία, όπως επίσης και το γεγονός ότι

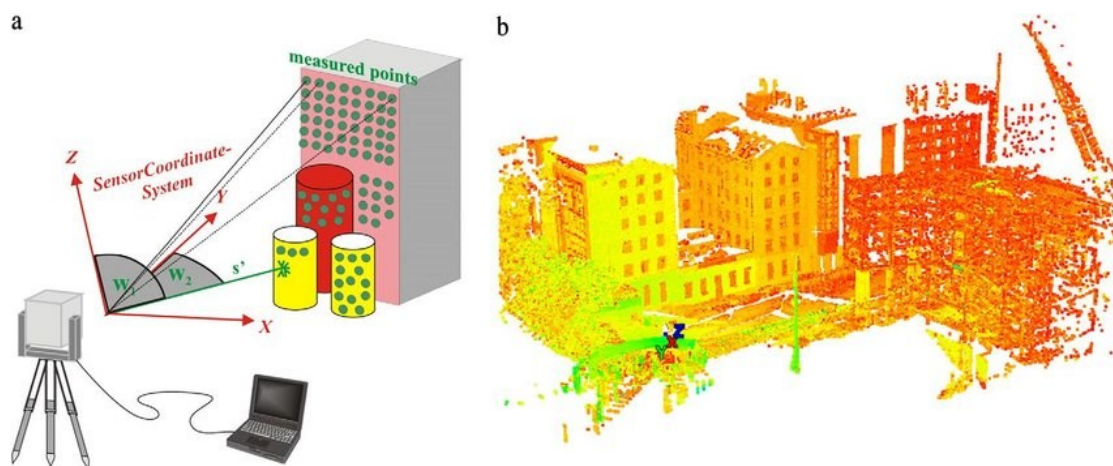
πλέον δεν είναι απαραίτητη η χρήση φορητού υπολογιστή στο πεδίο για την επιλογή της περιοχής σάρωσης. Έτσι, ο χρόνος μετρήσεων έχει βελτιωθεί σημαντικά και συνήθως η περιοχή και τα αντικείμενα μελέτης σαρώνονται από κάθε πλευρά τους και σε πλήρη περιστροφή.

Η μεθοδολογία της χρήσης πολλών στάσεων, όπως και στην κλασική τοπογραφία, προϋποθέτει την σάρωση αντίστοιχων σημείων με επικαλυπτόμενες περιοχές, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα συνένωσης των σαρώσεων και να δημιουργηθεί το ενιαίο τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο. Ακόμα, οι σαρωτές με την ενσωματωμένη φωτογραφική κάμερα που διαθέτουν, μόλις πραγματοποιηθεί η σάρωση της περιοχής, ξεκινά η λήψη φωτογραφιών του περιβάλλοντα χώρου μελέτης με σκοπό να αποδοθεί σε κάθε σημείο και κατά συνέπεια στο συνολικό μοντέλο η τιμή χρώματος RGB, βοηθώντας τον χρήστη στον προσανατολισμό και την αντίληψη του μοντέλου μέσω της φωτορεαλιστικής απεικόνισης.

Τα σημεία που λαμβάνονται από τον σαρωτή κατά την διαδικασία αποτύπωσης, ορίζονται από συντεταγμένες X, Y, και Z μέσω της ανακλαστικότητας. Κατά την διαδικασία της σάρωσης, για τον προσδιορισμό της τρισδιάστατης θέσης των σημείων, δημιουργείται από το μηχάνημα ένα αυθαίρετο σύστημα σφαιρικών συντεταγμένων του οποίου η αρχή ορίζεται από τον αισθητήρα του σαρωτή. Ως τιμή των  $\phi$ ,  $\theta$  ορίζεται το μηδέν και ξεκινάει από τον αισθητήρα με κατεύθυνση το μπροστινό μέρος του σαρωτή. Τα  $\phi$  και  $\theta$  σε συνδυασμό με την απόσταση  $r$  κάθε σημείου από τον σαρωτή, αποτελούν τις σφαιρικές συντεταγμένες που περιγράφουν ολοκληρωμένα την θέση του αντικειμένου στο σύστημα που έχουν δημιουργηθεί από τον σαρωτή.

### 5.3 Κατηγορίες σαρωτών laser

Οι σαρωτές laser ανάλογα με τη μέθοδο μέτρησης, διαχωρίζονται σε δυναμικούς και στατικούς. Η πρώτη κατηγορία, αφορά μετρήσεις κατά τις οποίες ο σαρωτής τοποθετείται σε μέσο το οποίο κινείται επίγεια όπως ένα όχημα ή εναέρια όπως ένα αεροπλάνο. Οι σαρώσεις αυτές αφορούν μεγάλες εκτάσεις και έχουν σκοπό μελέτες σχετικά με τον χρόνο και την ταυτόχρονη κίνηση που συνοδεύονται με συστήματα και όργανα χωρικού εντοπισμού (GNSS).

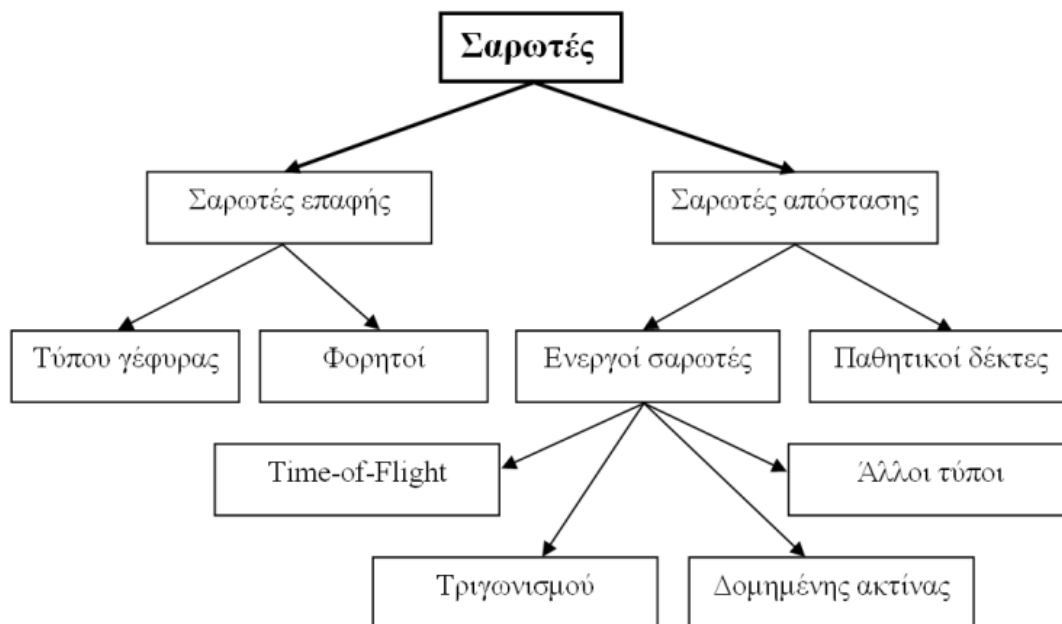


Εικόνα 29. Νέφος σημείων από Laser scanner

Η δεύτερη κατηγορία, η οποία είναι και αυτή που αφορά την συγκεκριμένη εργασία, αφορά τις στατικές μετρήσεις που είναι και οι πιο συνηθισμένες, πραγματοποιούνται δηλαδή από συγκεκριμένη και σταθερή θέση. Η θέση στην οποία βρίσκεται το αντικείμενο ή η περιοχή μελέτης σχετικά με τη θέση που τοποθετείται ο σαρωτής έχει πολύ μεγάλη σημασία, καθώς ανάλογα με την απόσταση επηρεάζεται σημαντικά η ακρίβεια των μετρήσεων. Άρα, η απόσταση με την ακρίβεια είναι αντιστρόφως ανάλογα ποσά και όσο μικραίνει η απόσταση, τόσο πιο ακριβείς θα είναι οι μετρήσεις.

Στην συνέχεια, ανάλογα με την μέθοδο υπολογισμού της απόστασης, χωρίζονται σε παθητικούς και ενεργητικούς σαρωτές. Η πρώτη κατηγορία πραγματοποιεί μετρήσεις με τη μέθοδο του τριγωνισμού, ενώ στην δεύτερη γίνεται τριγωνισμός με μία ή δύο κάμερες. Χωρίζονται επίσης σε κατηγορίες ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν και τις εφαρμογές που πραγματοποιούν. Έτσι, υπάρχουν σαρωτές laser επαφής (contact scanners) και αποστάσεως (non – contact scanners).

### 5.3.1 Σαρωτές επαφής (Contact scanners)



Εικόνα 30. Κατηγορίες laser scanner

Όσον αφορά τους σαρωτές επαφής (εικ.31), αποτελούν όργανα αποτύπωσης αντικειμένων τα οποία είναι απαραίτητη προϋπόθεση να έρθουν σε επαφή με το αντικείμενο μελέτης για να ολοκληρωθεί η διαδικασία μέτρησης. Αποδίδουν σχετικές συντεταγμένες του αντικειμένου και οι σαρώσεις πραγματοποιούνται με ψηλάφηση του αντικειμένου από ρομποτικό βραχίονα στον οποίο έχει ενσωματωθεί αισθητήρας αφής.



Εικόνα 31. Σαρωτής επαφής

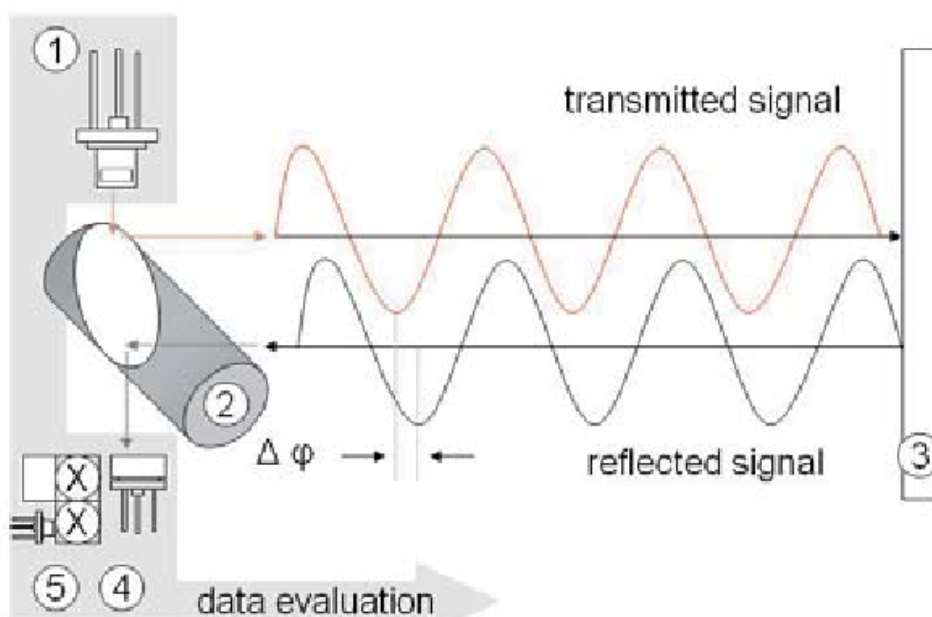


Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές, για τρισδιάστατες εικόνες χαρακτήρων στον κινηματογράφο ή και σε παιχνίδια κινούμενης εικόνας, έτσι ώστε να αποδοθεί ρεαλιστικό αποτέλεσμα από άποψη ακρίβειας. Το μειονέκτημα αυτών των αισθητήρων είναι ότι ακριβώς λόγω της αφής, από την μία μπορούν να αντιληφθούν την γεωμετρία του αντικειμένου, όμως από την άλλη είναι μεγάλος ο περιορισμός της κλίμακας των αντικειμένων προς αποτύπωση και μέσω της φυσικής επαφής μπορεί εύκολα το αντικείμενο να υποστεί μεταβολή στο σχήμα του ή ακόμα και να καταστραφεί μερικώς. Έτσι, αποτυπώνοντας ευαίσθητα αντικείμενα ή έργα με μεγάλη αξία όπως ιστορικά αντικείμενα ή ευαίσθητα όργανα, μηχανήματα και εξαρτήματα, πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν αυτός ο παράγοντας [17].

### 5.3.2 Σαρωτές απόστασης (Non – contact scanners)

Οι σαρωτές απόστασης αποτυπώνουν το αντικείμενο ή την περιοχή μελέτης χωρίς να είναι απαραίτητα η επαφή. Πραγματοποιούν μετρήσεις χρησιμοποιώντας την τεχνολογία της ακτινοβολίας laser με σκοπό τον εντοπισμό της θέσης των σημείων στην επιφάνεια προς μελέτη.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ανάλογα με την μέθοδο υπολογισμού της απόστασης, οι σαρωτές χωρίζονται σε παθητικούς και ενεργητικούς. Έτσι, στην κατηγορία των ενεργητικών σαρωτών η λειτουργία γίνεται μέσω της εκπομπής ενός είδους ακτινοβολίας, μετρώντας την ανάκλασή της πάνω σε κάποιο σημείο του αντικειμένου ή της περιοχής μελέτης από ένα ενσωματωμένο δέκτη στο όργανο, με τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ του δέκτη και του αντικειμένου. Οι παθητικοί



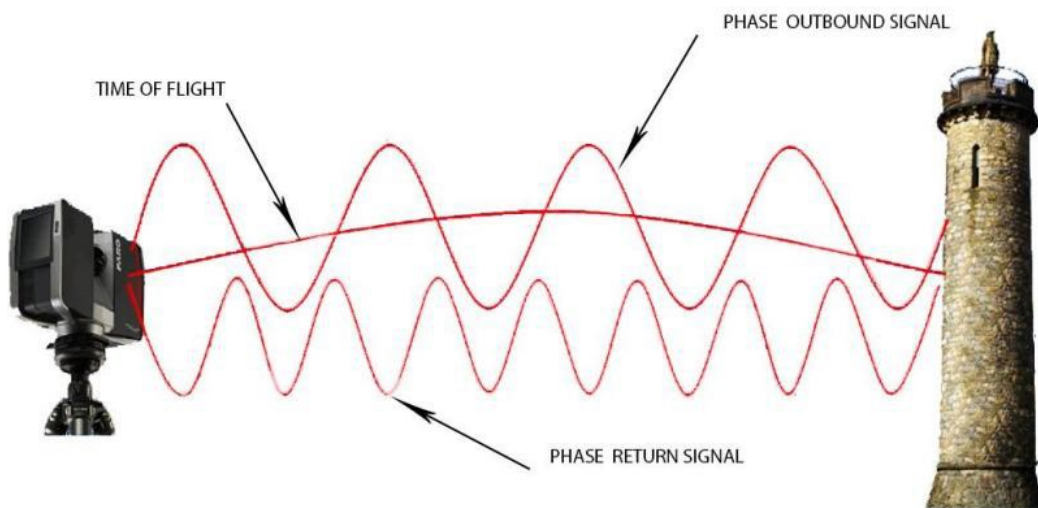
Εικόνα 32. Μετάδοση σήματος

σαρωτές από την άλλη, χρησιμοποιούν την ακτινοβολία που εκπέμπει το αντικείμενο με μορφή φωτονίων και με την καταγραφή της, μπορεί να γίνει ο υπολογισμός της απόστασης από τον δέκτη μέσω των γωνιών που σχηματίζονται.

Οι ενεργητικοί σαρωτές με τη σειρά τους, χωρίζονται επίσης σε κατηγορίες με βάση τον τρόπο που χρησιμοποιούν για να γίνει η μέτρηση μεταξύ της απόστασης ανάμεσα στην πηγή της εκπεμπόμενης ακτίνας laser από τον σαρωτή και του αντικειμένου προς αποτύπωση [26].

### *Σαρωτές μέτρησης παλμού*

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος αποτύπωση είναι εκείνη που χρησιμοποιεί την τεχνολογία μέτρησης χρόνου πτήσης ενός παλμού laser (Time of flight). Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σε αποτυπώσεις μεγάλων αντικειμένων και σε εκτάσεις με περίεργη μορφολογία όπως βραχώδεις περιοχές και αντίστοιχα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, με σκοπό την παραγωγή τρισδιάστατων προϊόντων. Η λειτουργία τους βασίζεται στην αντανάκλαση μιας ακτίνας laser και την μέτρηση της απόστασης και του χρόνου που χρειάζεται για να επιστρέψει πίσω στον σαρωτή. Εφόσον κάθε φορά υπολογίζεται η απόσταση ενός σημείου της επιφάνειας του αντικείμενου από τον σαρωτή, είναι σημαντικό να γίνεται αλλαγή διεύθυνσης της ακτίνας συχνά μέσω της κεφαλής του οργάνου και της κίνησης των κατόπτρων στο εσωτερικό του.



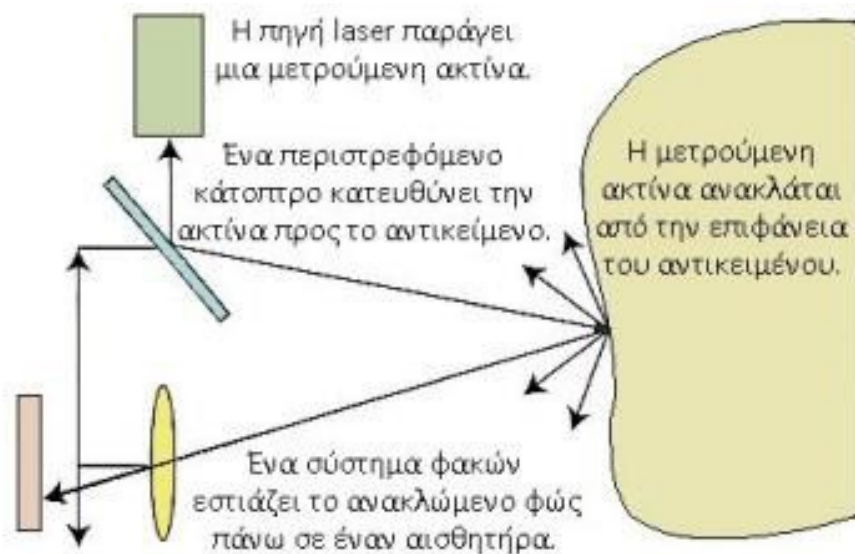
*Εικόνα 33. Μετάδοση laser*

### Σαρωτές διαφοράς φάσης

Στους σαρωτές διαφοράς φάσης (Phase comparison scanners), η εκπεμπόμενη ακτίνα διαμορφώνεται σύμφωνα με ένα αρμονικό κύμα και η απόσταση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την διαφορά φάσης μεταξύ του εκπεμπόμενου και του επιστρεφόμενου κύματος, δηλαδή την αντανάκλαση της ακτίνας (εικ.34). Ο χρόνος που κάνει το σήμα να διαδοθεί εξαρτάται από την συχνότητα και την απόσταση του σαρωτή από το αντικείμενο. Οι συγκεκριμένοι σαρωτές είναι περιορισμένου εύρους λόγω της μέγιστης μετρούμενης απόστασης έτσι ώστε το σήμα να επιστρέφει, όμως εξ αιτίας της διαδικασίας ανάλυσης σημάτων, οι μετρήσεις αποδίδουν αρκετά μεγάλη ακρίβεια.

### Σαρωτές τριγωνισμού

Ορισμένοι σαρωτές χρησιμοποιούν την μέθοδο τριγωνισμού (Triangulation scanners), οι οποίοι μέσω χρήσης της ακτίνας laser ρίχνουν δέσμη φωτός επάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου προς αποτύπωση και με μία κάμερα εντοπίζονται κάθε στιγμή τα σημεία φωτισμού. Στη συνέχεια με τη βοήθεια της φωτογραμμετρίας, ο σαρωτής υπολογίζει μέσω συγκεκριμένων εξισώσεων τη θέση κάθε σημείου που φωτίζεται από τη δέσμη laser, στον τρισδιάστατο χώρο. Βασική αρχή της λειτουργίας του συγκεκριμένου είδους σαρωτή είναι οι κατάλληλες συνθήκες φωτισμού έτσι ώστε να είναι σωστή η λειτουργία της σάρωσης που θα πραγματοποιείται με τον οπτικό αισθητήρα. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται τριγωνισμού, εξ αιτίας του τριγώνου που δημιουργείται μεταξύ του σαρωτή που εκπέμπει το laser, τον οπτικό αισθητήρα (την κάμερα) και του αντικειμένου.



Εικόνα 34. Ανάκλαση laser

Για την χρήση της μεθόδου τριγωνισμού, θεωρείται γνωστή η βάση που σχηματίζεται από την απόσταση μεταξύ πομπού του laser και οπτικού αισθητήρα ή η απόσταση μεταξύ πομπού laser και η απόσταση μεταξύ δύο οπτικών αισθητήρων ανάλογα την περίπτωση. Επίσης, είναι γνωστή η γωνία μεταξύ σαρωτή και αντικείμενου αποτύπωσης, όπως και η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην δέσμη laser πάνω στο αντικείμενο και την οπτική ευθεία του δέκτη.

#### 5.4 Ακρίβεια και σφάλματα σαρώσεων

Η ακρίβεια των μετρήσεων που λαμβάνονται από τις σαρώσεις, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Στην ποιότητα του τελικού αποτελέσματος, συμβάλουν η ταχύτητα της σάρωσης, η απόσταση μεταξύ του σαρωτή και του αντικειμένου μελέτης, η ανακλαστικότητα των επιφανειών, το μέγεθος της κουκίδας που καταλήγει επάνω στην επιφάνεια αποτύπωσης από τη δέσμη laser, το υλικό στο οποίο προσπίπτουν οι ακτίνες, η πυκνότητα και ο θόρυβος της σάρωσης και τέλος η θερμοκρασία και η ατμόσφαιρα.

Επίσης, για τη μέγιστη ακρίβεια, ιδανικά θα πρέπει να επικρατούν και οι κατάλληλες καιρικές συνθήκες γιατί δεν συνιστάται να χρησιμοποιούνται συννεφιά ή βροχή γιατί οι σταγόνες νερού ή ο αέρας προκαλούν θόρυβο και λανθασμένες μετρήσεις, καθώς επίσης σημαντική είναι η σωστή επιλογή τοποθέτησης του σαρωτή για τις στάσεις έτσι ώστε να υπάρχει κάλυψη του αντικειμένου.

Κάθε εταιρεία, στις τεχνικές προδιαγραφές που υπάρχουν για κάθε μοντέλο επίγειου σαρωτή laser, αναφέρει την ακρίβεια και τα σφάλματα που υπάρχουν λόγω κατασκευής. Επίσης, τα σφάλματα που μπορεί να υπάρχουν σε μετρήσεις είναι τα χονδροειδή που οφείλονται στον χρήστη, τα συστηματικά τα οποία υπάρχουν από τα κατασκευαστικά στοιχεία του σαρωτή και τα τυχαία λόγω των μετρήσεων και του γύρου περιβάλλοντος.

##### *Σφάλματα χρήστη*

Τα σφάλματα που οφείλονται στον χρήστη του σαρωτή, μπορούν να αποφευχθούν με προσοχή στην απόσταση που τοποθετείται ο σαρωτής σε σχέση με το αντικείμενο αποτύπωσης, αποφεύγοντας τις κακές καιρικές συνθήκες, όπως και να δίνεται προσοχή στην επιφάνεια του αντικειμένου παραδείγματος χάρη να μην είναι βρεγμένη επειδή αλλοιώνεται το μοντέλο λόγω της έντονης ανακλαστικότητας που προκαλείται λόγω του νερού και τέλος, να μην γίνονται σαρώσεις στο αντικείμενο από μεγάλη οξεία γωνία γιατί παραμορφώνονται οι διαστάσεις.

### *Κατασκευαστικά σφάλματα σαρωτών*

Τα σφάλματα των σαρωτών που υπάρχουν ήδη από την κατασκευή τους, αναφέρονται από την κάθε εταιρεία και δεν επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Παράδειγμα ενός τέτοιου σφάλματος αποτελεί το γωνιακό σφάλμα στις μετρήσεις που οφείλεται στην διάταξη των καθρεφτών οι οποίοι είναι τοποθετημένοι εσωτερικά στον σαρωτή. Οι αποκλίσεις που υπάρχουν στη γωνία στροφής των καθρεφτών προκαλεί ένα σφάλμα το οποίο είναι συστηματικό, αλλά μικρής τάξης επομένως δεν επηρεάζει σημαντικά τις μετρήσεις. Τέλος, κατασκευαστικά σφάλματα μπορεί να έχει ένας σαρωτής στην ακρίβεια καθετότητας και οριζοντίωσης των αξόνων του.

### *Θόρυβος σάρωσης*

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας των σαρώσεων, όταν αυτές πραγματοποιούνται σε εξωτερικούς χώρους, αποτυπώνονται και διάφορα αντικείμενα που συμπεριλαμβάνονται στον χώρο γύρω από αυτά που αφορούν την μελέτη. Η πληροφορία των σημείων αυτών θεωρείται περιττή και ονομάζεται θόρυβος. Τέτοια σημεία αποτελούνται συνήθως από βλάστηση του περιβάλλοντα χώρου ή εμπόδια που βρίσκονται στο χώρο μεταξύ σαρωτή και αντικείμενου. Για αυτό το λόγο είναι σημαντικό κατά την επεξεργασία των δεδομένων, δηλαδή του νέφους σημείων, να γίνεται εντοπισμός των σημείων αυτών και να πραγματοποιείται η απαλοιφή τους.

### *Συνθήκες ατμόσφαιρας*

Στις περιπτώσεις που πραγματοποιούνται σαρώσεις σε εξωτερικούς χώρους, εκτός από την θερμοκρασία, που σε περιπτώσεις στις οποίες είναι υψηλή μπορεί να παρατηρηθούν αμελητέες αποκλίσεις στα μεγέθη των μετρούμενων αποστάσεων, μπορεί επίσης η πίεση της ατμόσφαιρας να επηρεάσει την ταχύτητα διάδοσης της δέσμης laser. Όταν όμως οι σαρώσεις γίνονται σε μικρές αποστάσεις, οι μεταβολές στην θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση δεν επηρεάζει τις μετρήσεις και τα αποτελέσματα στα δεδομένα των σαρώσεων.

## Κεφάλαιο 6°. Εφαρμογή

### 6.1 Όργανο και μέθοδος αποτύπωσης

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η γεωμετρική τεκμηρίωση του πέτρινου γεφυριού Adzi Pasa της Ποντγκόριτσα. Για την εκπόνησή της, έγινε επιλογή της μεθόδου σάρωσης με χρήση laser scanner και συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ο επίγειος σαρωτής Leica BLK360 (εικ.35, 36).

Ο συγκεκριμένος σαρωτής φαίνεται να προτιμάται από τους μηχανικούς λόγω της ευκολίας στην μετακίνηση και μεταφορά του, τον χρόνο στον οποίο πραγματοποιεί τις σαρώσεις χωρίς μεγάλα σφάλματα και το λογισμικό διαχείρισης των δεδομένων που παράγει. Το BLK360 διαθέτει ενσωματωμένη κάμερα, η οποία με το πέρας της κάθε σάρωσης, φωτογραφίζει σε πλήρη περιστροφή το χώρο γύρω από το όργανο και έτσι μετά δίνεται η δυνατότητα απόδοσης χρωματικής πληροφορίας στο νέφος σημείων.



Εικόνα 35. Leica BLK 360

Ο σαρωτής Leica BLK360 είναι ένας εξελιγμένος σαρωτής laser απεικόνισης ακρίβειας. Η διαδικασία λειτουργίας του είναι πολύ εύκολη, καθώς με το απλό πάτημα ενός κουμπιού, ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του από τον κατασκευαστή, καταγραφή του περιβάλλοντα χώρου με μια πλήρη σάρωση, 270 μοίρες περιστροφή κάθετα και 360 μοίρες περιστροφή οριζόντια και ταυτόχρονα σε λιγότερο από 3 λεπτά γίνεται λήψη σφαιρικών, θερμικών πανοραμικών εικόνων. Μπορεί να ρυθμιστεί για την ποσότητα σημείων που είναι επιθυμητό να καταγράψει ανά δευτερόλεπτο και τα δεδομένα που παράγει μεταφέρονται μέσω USB type C και Wi-Fi [28].



Εικόνα 36. Leica BLK 360

Τα δεδομένα που παράγονται με τις μετρήσεις του σαρωτή είναι σε μορφή νέφους σημείων και εικόνες, τα οποία συνδυαστικά μετατρέπονται σε μορφές επεξεργάσιμων αρχείων με τη βοήθεια του λογισμικού Leica Cyclone REGISTER 360. Η εξαγωγή των δεδομένων σε αρχεία τύπου LGS, E57 και PTS αντίστοιχα για το λογισμικό επεξεργασία Cyclone 3DR, καθιστά την επεξεργασία τους αποτελεσματική, καθώς τα λογισμικά αυτά είναι διαμορφωμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να γίνεται γρήγορα η παραγωγή παραδοτέων προϊόντων.

## 6.2 Συλλογή δεδομένων

Για την αποτύπωση του αντικειμένου ενδιαφέροντος, στη συγκεκριμένη περίπτωση, της γέφυρας Adzi Pasa, σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή των στάσεων προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι σαρώσεις. Τα σημεία που θα τοποθετηθεί ο σαρωτής θα πρέπει να έχουν ως βασικό κριτήριο την καλή ορατότητα της γέφυρας και να μην υπάρχουν εμπόδια έτσι ώστε να αποφευχθούν τυφλά σημεία και οι σαρώσεις να μην έχουν σφάλματα θορύβου (εικ.37, 38).

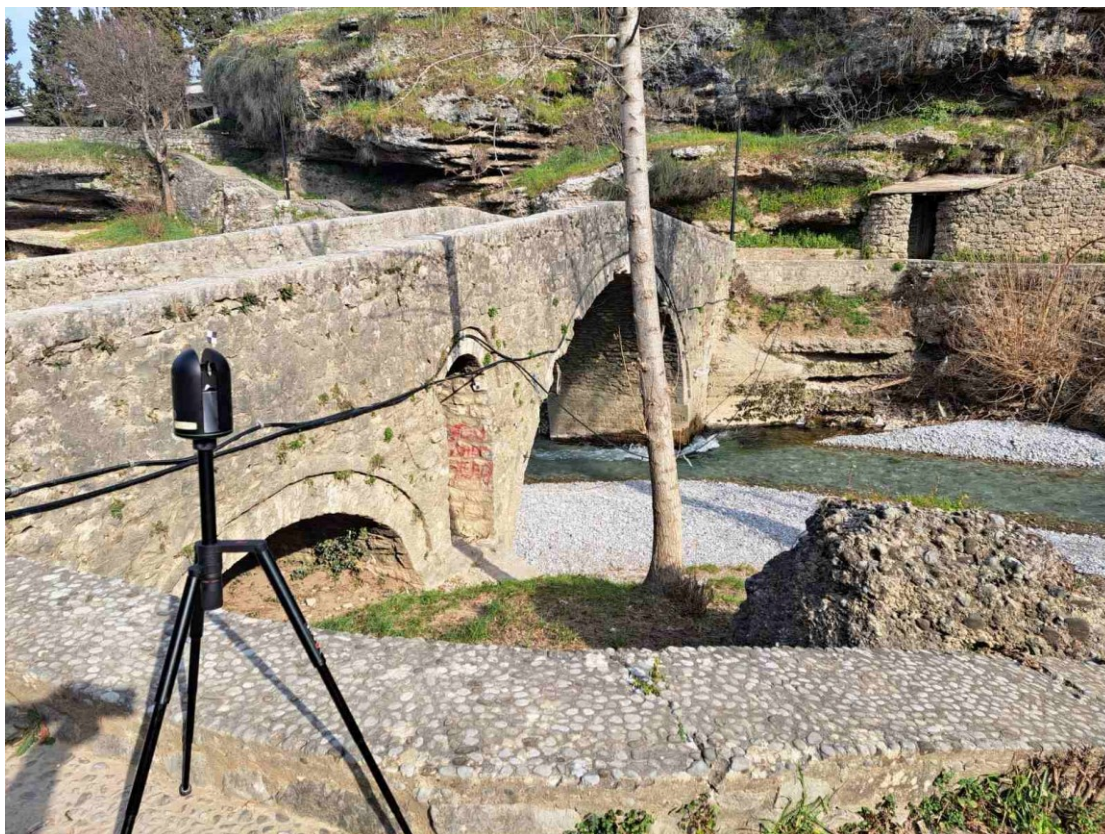
Επίσης, η θέσεις αυτές θα πρέπει να έχουν μια ικανοποιητική απόσταση μεταξύ τους γιατί αυτός είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια των μετρήσεων όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 37. Γέφυρα Adzi-Pasa κατά τη διάρκεια των μετρήσεων

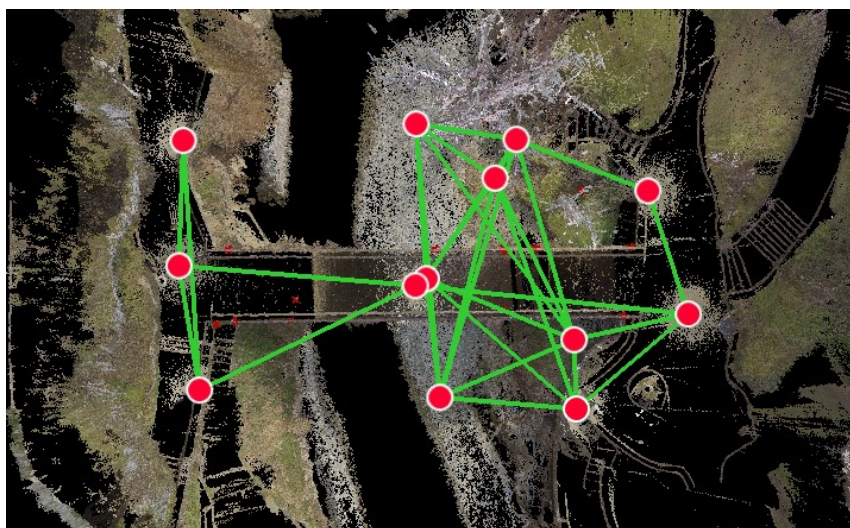
Προκειμένου να γίνει η αποτύπωση της γέφυρας χρησιμοποιήθηκαν 13 σαρώσεις με σκοπό να κατασκευαστεί ολοκληρωμένο μοντέλο απεικόνισής της. Οι στάσεις που τοποθετήθηκε ο σαρωτής ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένες στον χώρο γύρω, πάνω και κάτω από τη γέφυρα, έτσι ώστε να υπάρχει αλληλοεπικάλυψη μεταξύ αυτών για να μπορέσουν να συνδεθούν μεταξύ τους, με τη χρήση ομόλογων σημείων, δηλαδή σημεία τα οποία είναι κοινά στα νέφη που παράχθηκαν.



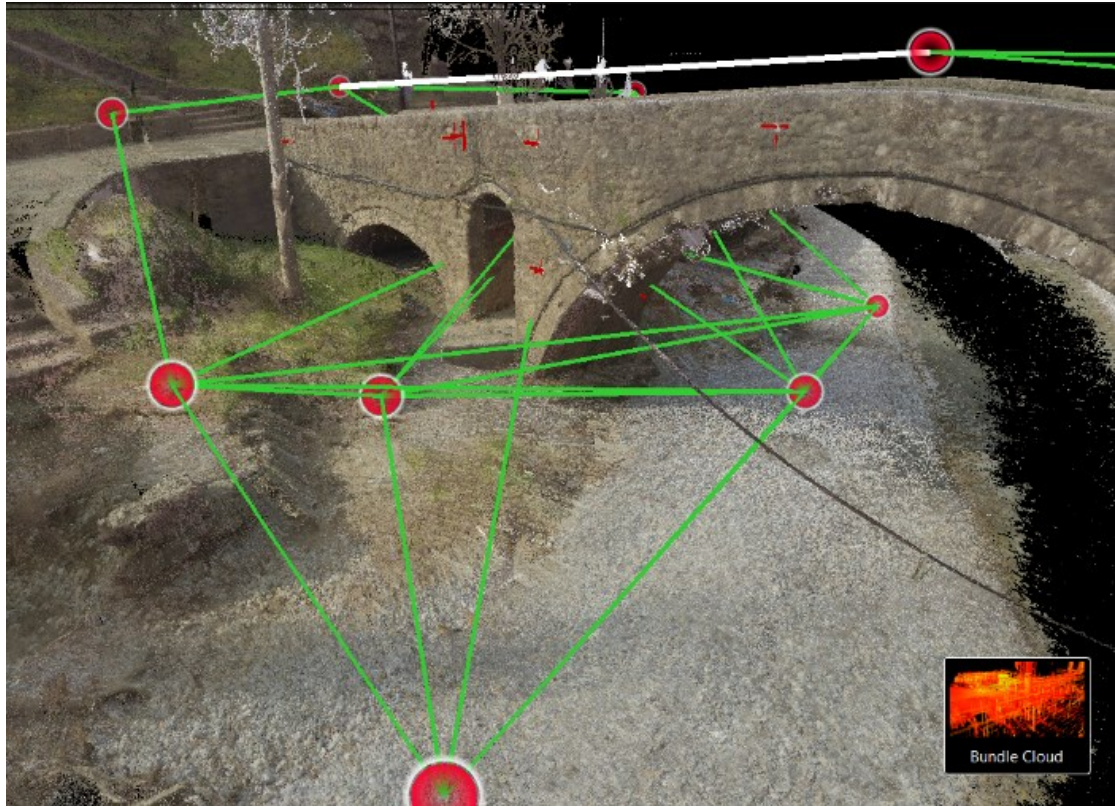


Εικόνα 38. Γέφυρα Adzi-Pasa κατά τη διάρκεια των μετρήσεων

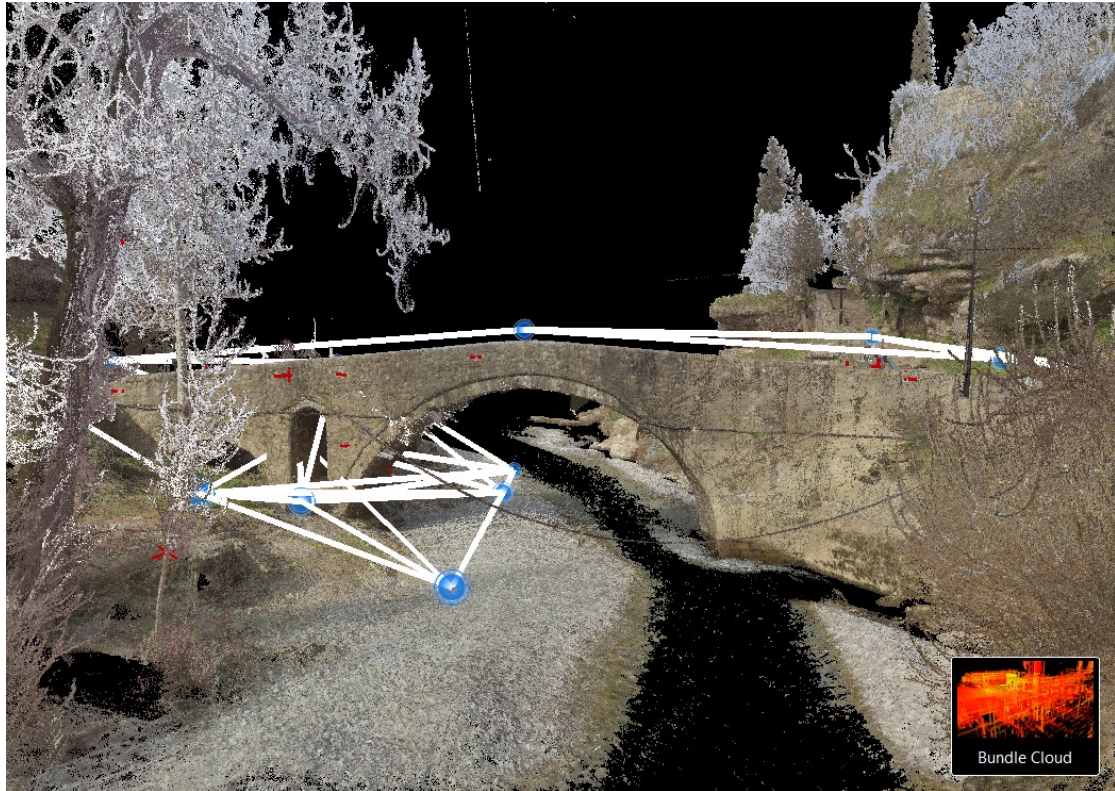
Πιο συγκεκριμένα, από την μία πλευρά της γέφυρας έγιναν τρεις σαρώσεις, μετά μία στο μέσο του καταστρώματος, αντίστοιχα τρεις σαρώσεις κάτω από τη γέφυρα με σκοπό να ληφθούν σημεία λεπτομέρειας τα οποία αργότερα βοήθησαν στην παραγωγή δισδιάστατων υποβάθρων. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μια σάρωση αντιδιαμετρικά των αρχικών από την απέναντι πλευρά της γέφυρας, και άλλες τέσσερις οι οποίες είναι κατανεμημένες δύο και δύο από κάθε πλευρά της προκειμένου να αποτυπωθεί το ανακουφιστικό τόξο και τέλος μία ακόμα για να μπορέσουν να συνδεθούν οι τελευταίες μεταξύ τους, όπως φαίνεται παρακάτω (εικ.39, 40, 41).



Εικόνα 39. Κατανομή σαρώσεων στο χώρο



Εικόνα 40. Γέφυρα Adzi-Pasa



Εικόνα 41. Γέφυρα Adzi-Pasa

### 6.3 Επεξεργασία δεδομένων

Τα βήματα που ακολουθούνται για να πραγματοποιηθεί η σάρωση είναι αρχικά η τοποθέτηση του τρίποδα στη θέση που έχει επιλεγεί ως στάση, μετά η τοποθέτηση του σαρωτή και η οριζοντίωσή του και τέλος το άνοιγμα του μηχανήματος σε συνδυασμό με την απομάκρυνση του χρήστη από αυτό, προκειμένου να γίνει έναρξη της σάρωσης και καταγραφή των σημείων.

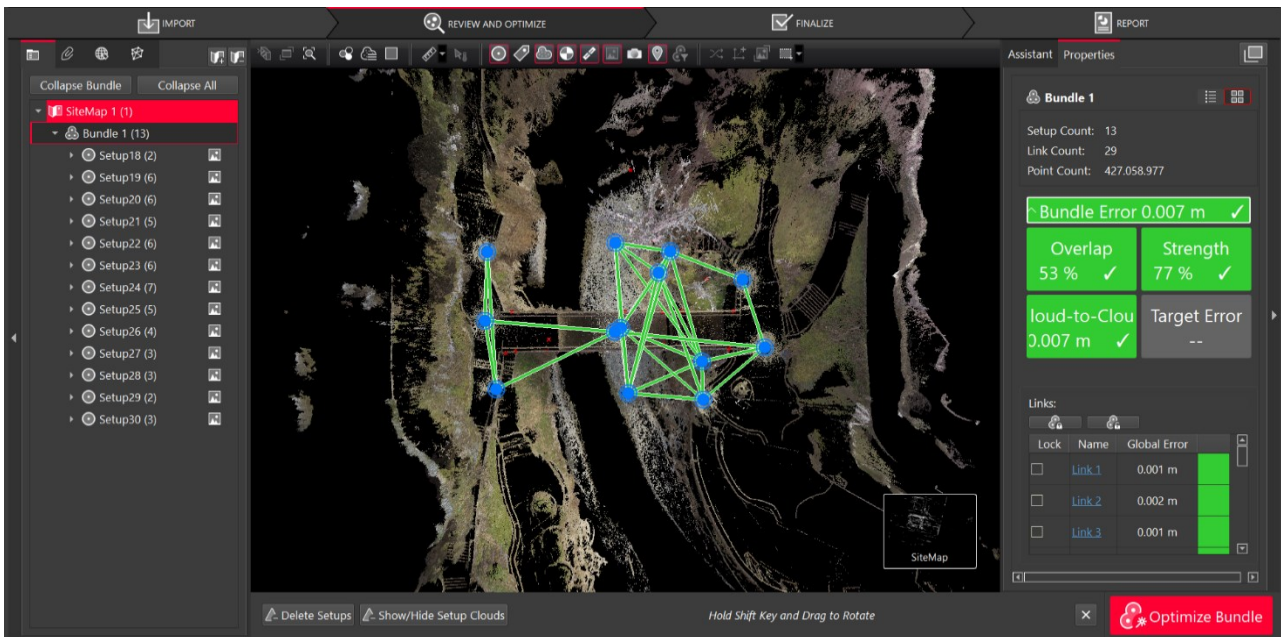
Μέσω των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν λαμβάνοντας τις σαρώσεις, προέκυψαν τα αντίστοιχα νέφη σημείων για την καθεμία από αυτές. Έτσι, με την συνένωση των σαρώσεων δημιουργήθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο όπως φαίνεται και στις παραπάνω εικόνες, από το οποίο στη συνέχεια μπορούν να παραχθούν σχέδια με δυνατότητα μετρήσεων για την γεωμετρική τεκμηρίωση της γέφυρας.

Η δημιουργία του μοντέλου πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού Cyclone REGISTER 360 της Leica, μέσα στο οποίο έγινε εισαγωγή των δεδομένων από τον σαρωτή BLK360.

Στο περιβάλλον του λογισμικού δημιουργείται βάση δεδομένων, για να πραγματοποιηθεί η εισαγωγή των αρχείων. Στη συνέχεια, αφού εμφανιστούν τα νέφη σημείων, γίνεται η συνένωση τους με τη βοήθεια των ομόλογων σημείων στις επικαλυπτόμενες περιοχές του καθενός. Σε αυτό το σημείο δίνεται σημαντική προσοχή στην ταύτιση των νεφών σε οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα (top view, side view). Λόγω του ότι ο σαρωτής δημιουργεί ένα δικό του αυθαίρετο σύστημα αναφοράς και οι σαρώσεις λαμβάνονται κάθε φορά από διαφορετική θέση, η διαδικασία ταύτισης των νεφών, απαιτεί την μετακίνηση τους σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο, όπως και την ενδεχόμενη στροφή.

Μετά τη δημιουργία σύνδεσης δύο νεφών δημιουργείται μια δέσμη (bundle), η οποία με τη σειρά της μπορεί να συνδεθεί με τις επόμενες διαδοχικά και η επιτυχής ταύτιση κρίνεται από το ποσοστό κάλυψης τους και το κατά πόσο μικρό είναι το σφάλμα δέσμης.

Το τελικό αποτέλεσμα για τις σαρώσεις της γέφυρας, μετά από δοκιμές, απεικονίζεται παρακάτω.

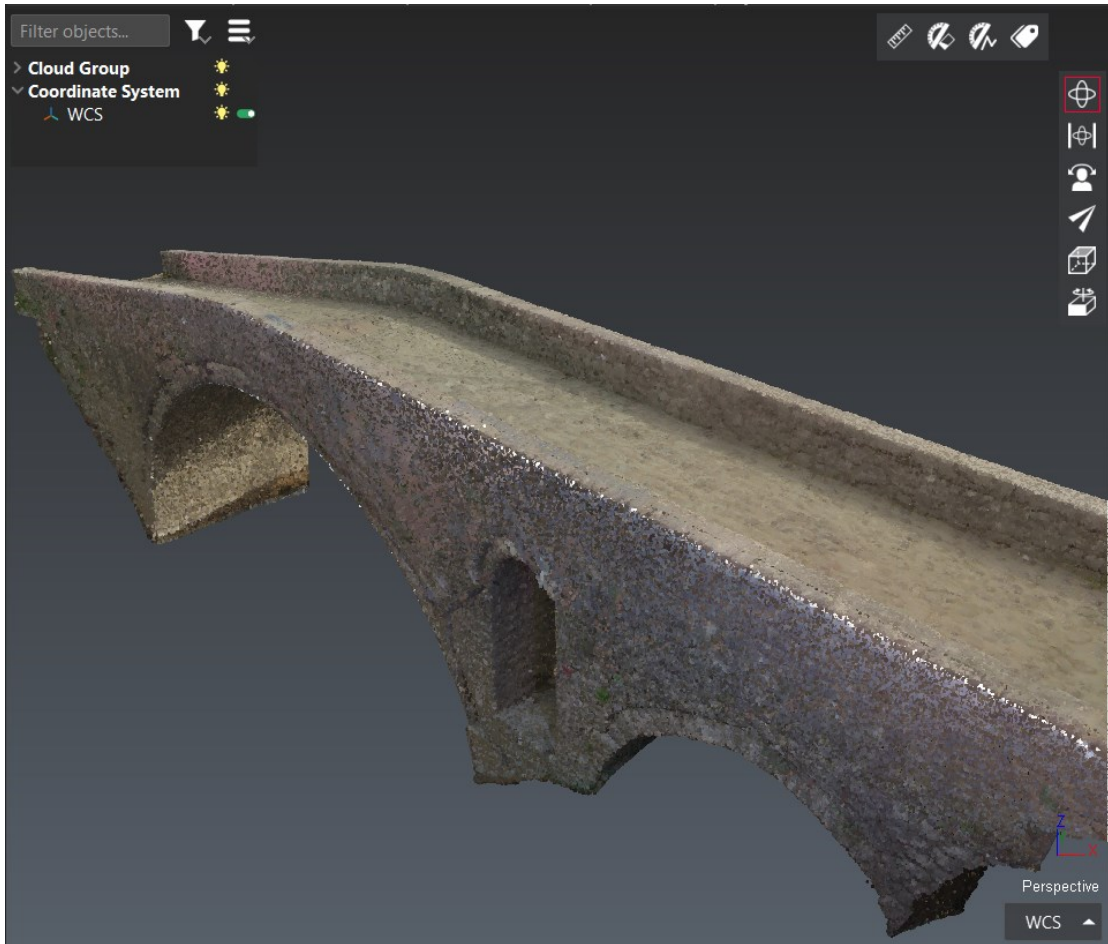


Εικόνα 42. Περιβάλλον Cyclone Register 360

Όπως φαίνεται, η επικάλυψη στην συνολική δέσμη είναι πάνω από 50% και το συνολικό σφάλμα δέσμης είναι αντίστοιχο του νέφους με νέφος (cloud-to-cloud) στα 7 χιλιοστά (εικ.42).

Η διαδικασία που ακολουθεί μετά την ταύτιση όλων των νεφών σημείων, είναι η δημιουργία ενός ενιαίου μοντέλου του οποίου τα όρια μπορούν να καθοριστούν έτσι ώστε το σύνολο των σημείων που δεν χρειάζονται, όπως βλάστηση στην συγκεκριμένη περίπτωση και πιθανά εμπόδια να «καθαριστούν». Έτσι, το τελικό αρχείο είναι απαλλαγμένο από τον θόρυβο των περιττών σημείων και γίνεται πιο εύκολη η δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου.

Το τελικό αρχείο που παράχθηκε, εξάγεται σε μορφή .pts προκειμένου να συνεχιστεί η επεξεργασία του σε άλλο περιβάλλον. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του λογισμικού Cyclone 3DR Desktop δημιουργήθηκε το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο με την χρωματική πληροφορία (RGB), όπως απεικονίζεται στις παρακάτω εικόνες (εικ.43, 44, 45, 46).



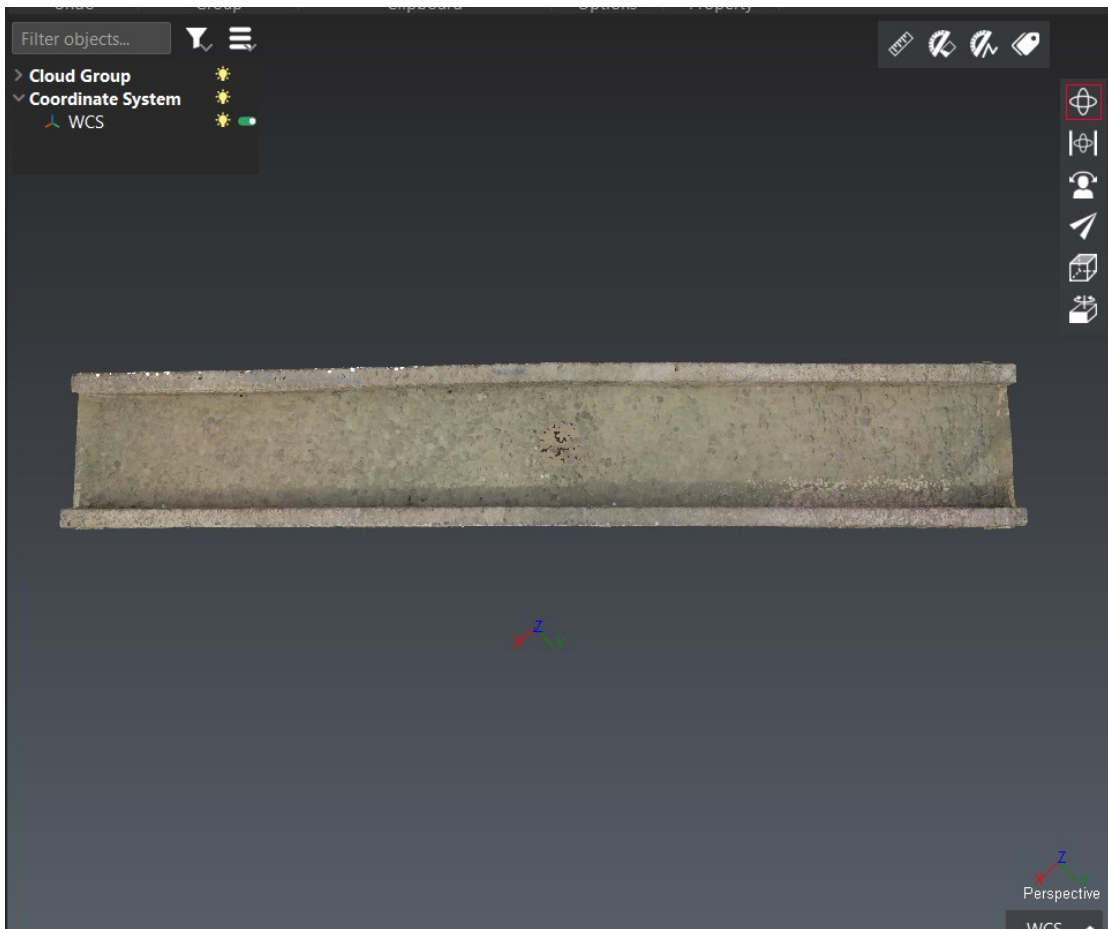
Εικόνα 43. Περιβάλλον Cyclone 3DR, 3D μοντέλο



Εικόνα 44. Περιβάλλον Cyclone 3DR, 3D μοντέλο



Εικόνα 45. Περιβάλλον Cyclone 3DR, 3D μοντέλο

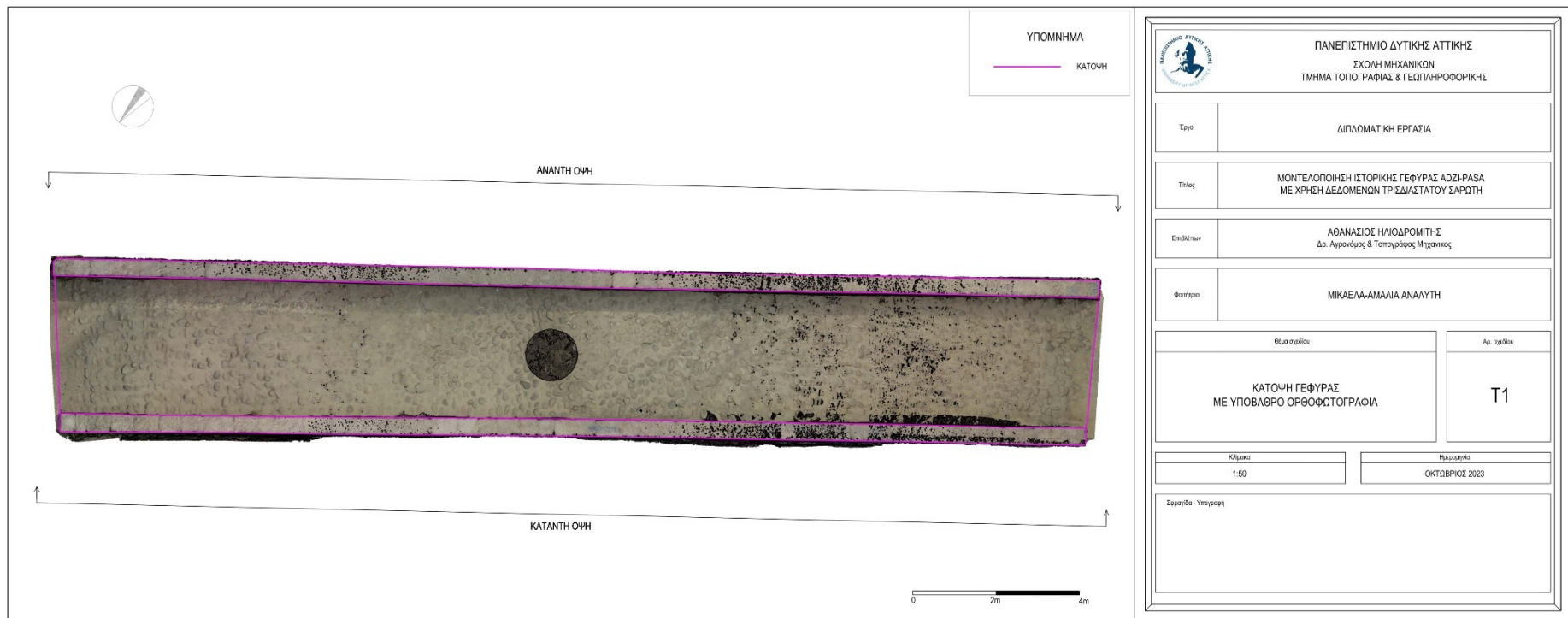


Εικόνα 46. Περιβάλλον Cyclone 3DR, 3D μοντέλο

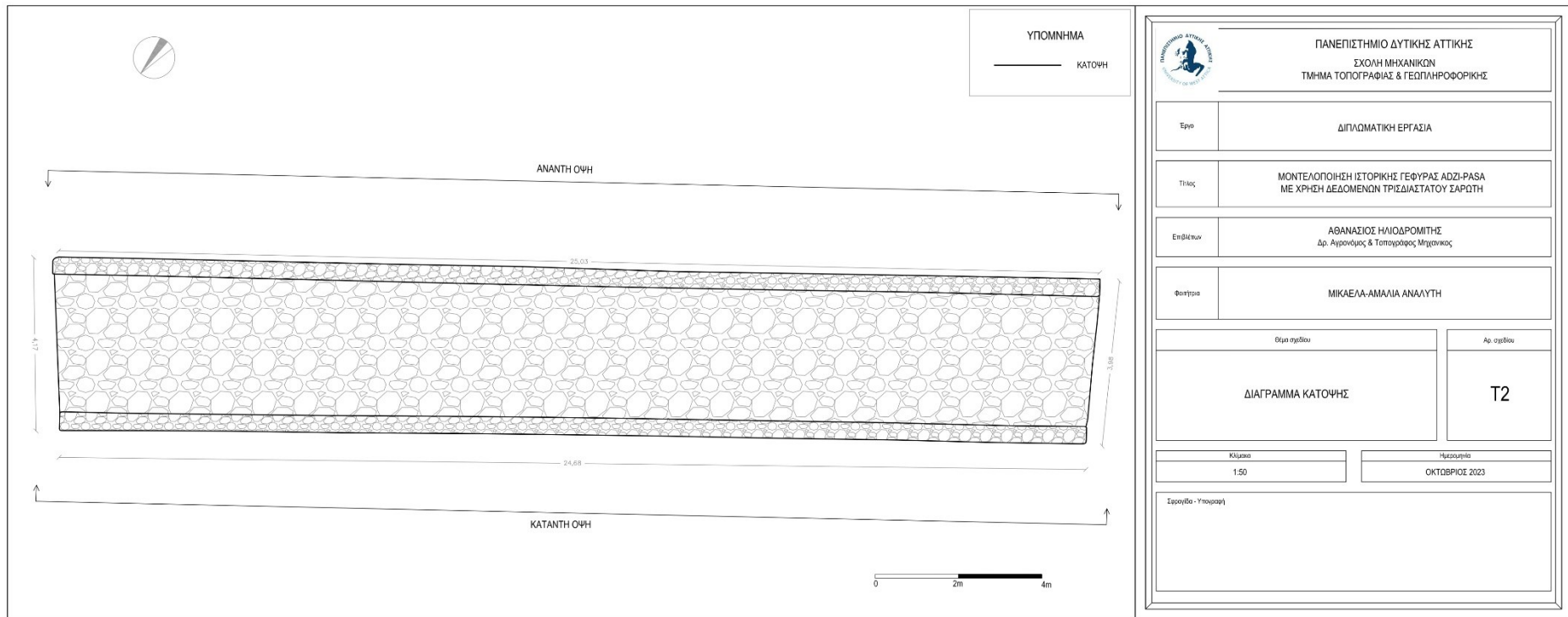
Το τρισδιάστατο μοντέλο της γέφυρας σε αυτή τη μορφή και με την χρωματική πληροφορία, μεταφέρθηκε ξανά στο λογισμικό Cyclone REGISTER 360 με σκοπό την παραγωγή ορθοφωτογραφίων.


Οι ορθοφωτογραφίες εισήχθησαν στο περιβάλλον του AutoCAD προκειμένου να δημιουργηθούν δισδιάστατα σχέδια με την κάτοψη, την τομή και τις όψεις της γέφυρας.

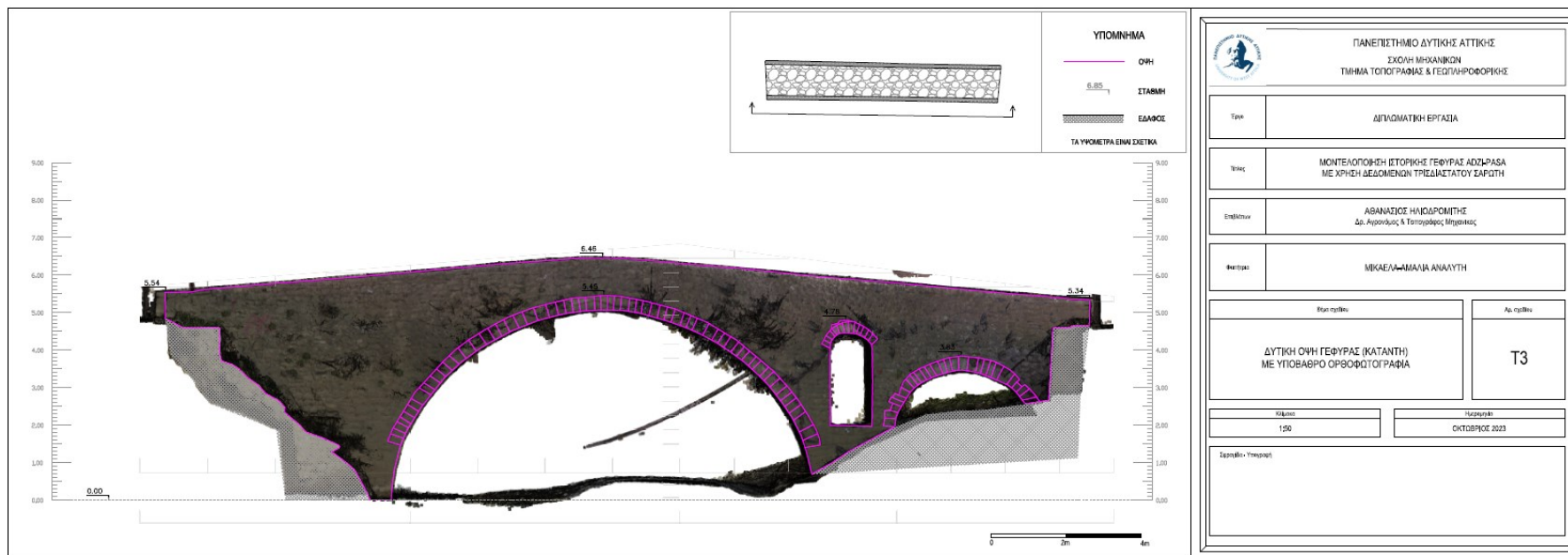
## 6.4 Δισδιάστατα σχέδια



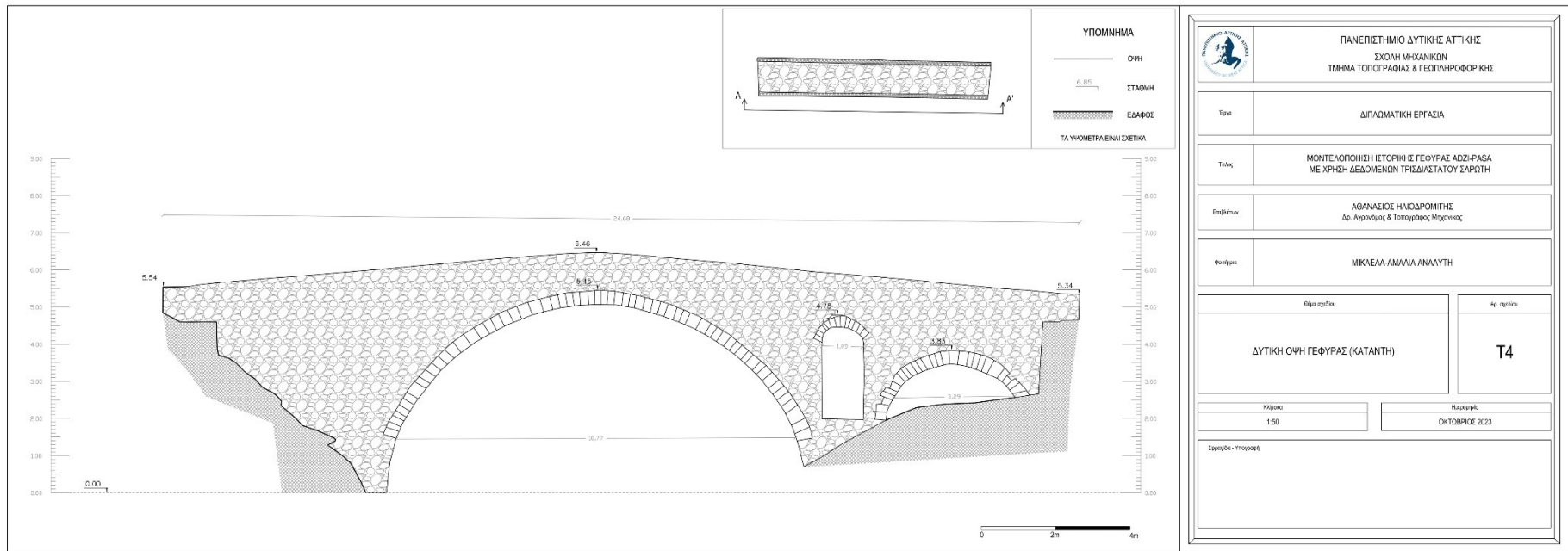





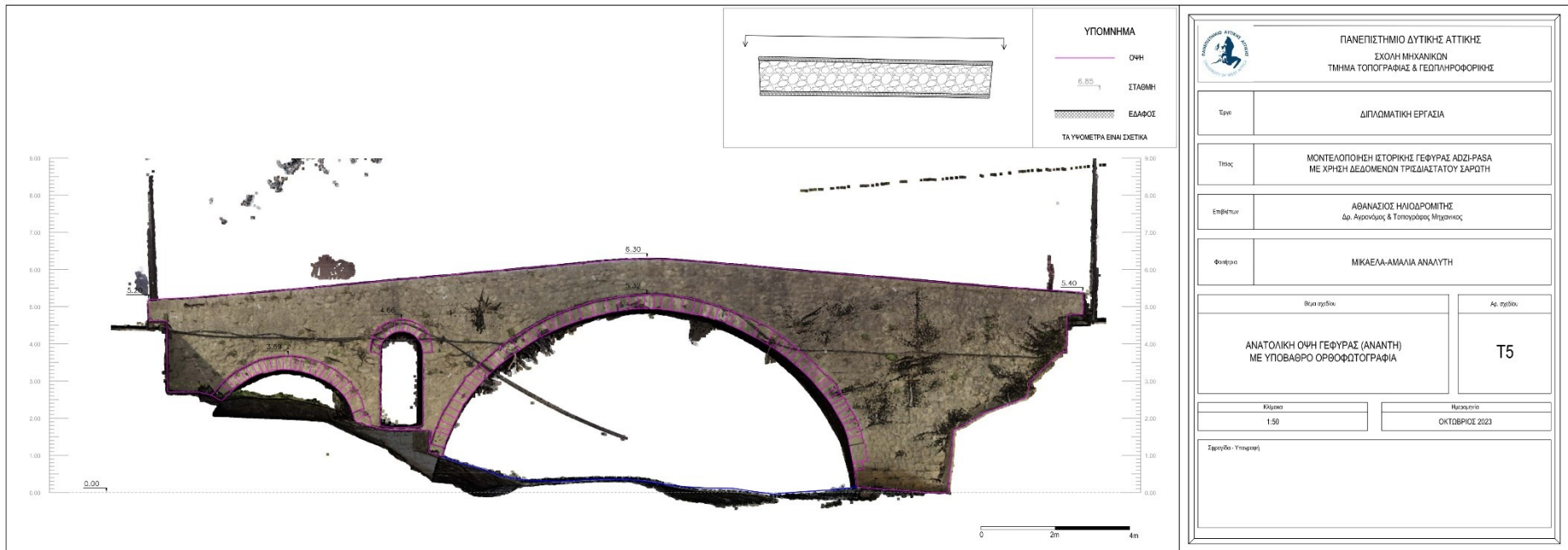
 ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ	
Έργο	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Τίτλος	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΔΖΙ-ΡΑΣΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ
Επιβλέπων	ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ Δρ. Αρχιτέκτονας & Τοπογράφος Μηχανικός
Φοιτήρια	ΜΙΚΑΕΛΑ-ΑΜΑΛΙΑ ΑΝΑΛΥΤΗ
Θέμα σχεδίου	Αρ. σχεδίου
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΟΨΗΣ	T2
Κλίμακα	Ημερομηνία
1:50	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023
Στοιχεία - Υπογραφή	




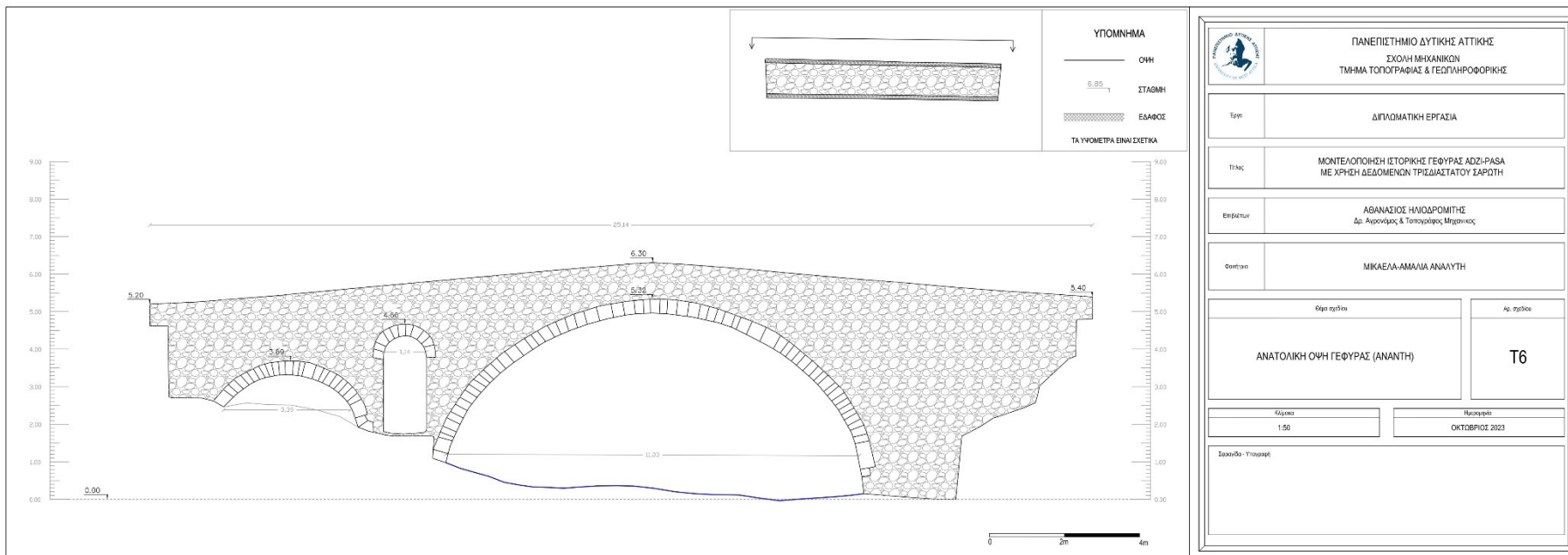
 ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΤΗΡΗΣΕΩΣ	
Τύπος	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Τίτλος	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΔΩΡΑΣΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ
Επιβλέπων	ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ Δρ. Αρχιτέκτονας & Τοπογράφος Μηχανικός
Υποψήφιος	ΜΙΚΑΕΛΑ-ΑΜΑΛΙΑ ΑΝΑΛΥΤΗ
Θέμα πτυχίου	ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ ΓΕΦΥΡΑΣ (ΚΑΤΑΠΗ) ΜΕ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ
Αρ. πτυχίου	T3
Κόστος	150
Ημερομηνία	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023
Στοιχεία Υποψήφιου	





 <p>ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ &amp; ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ</p>	
Τίτλος	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Τίτλος	ΜΟΝΤΕΛΟΓΡΟΝΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΔΩ-ΡΑΣΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ
Επιβλέπων	ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ Δρ. Αγρονόμος & Τοπογράφος Μηχανικός
Φοιτητής	ΜΙΚΑΕΛΑ-ΑΜΑΛΙΑ ΑΝΑΛΥΤΗ
Όνομα σελίδας	Αρ. σελίδας
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ ΓΕΦΥΡΑΣ (ΚΑΤΑΝΤΗ)	T4
Κλίμακα	Ημερομηνία
1:50	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023
Σημειώσεις - Υποσημειώσεις	



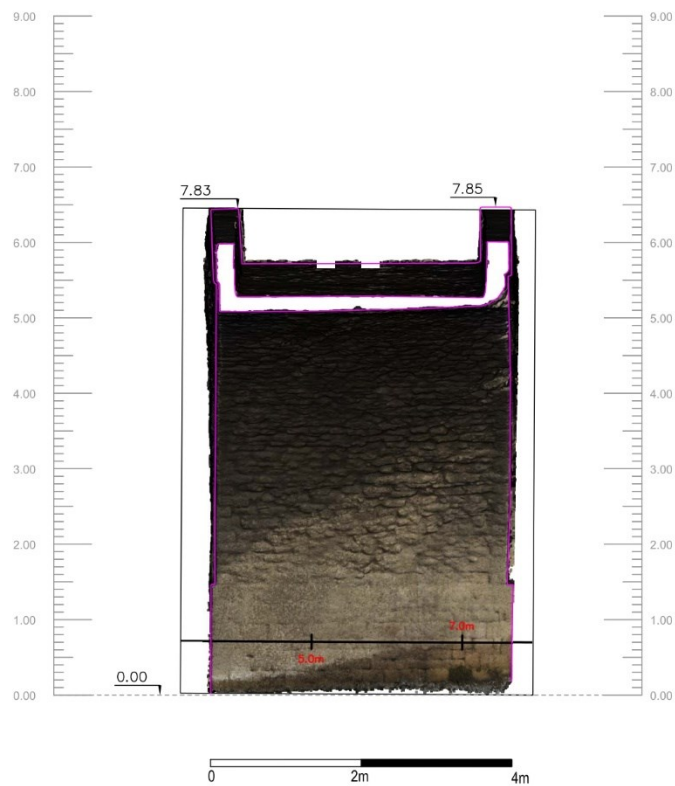
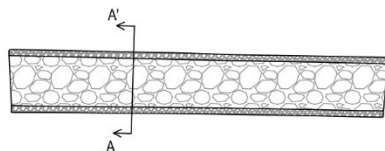
 ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ	
Τύπος	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Τίτλος	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΔΙΖ-ΡΑΣΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ
Επιβλέπων	ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ Δρ. Αγρονόμος & Τοπογράφος Μηχανικός
Φοιτητής	ΜΙΚΑΕΛΑ-ΑΜΑΛΙΑ ΑΝΑΛΥΤΗ
Θέμα πτυχίου	As πτυχίου
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ ΓΕΦΥΡΑΣ (ΑΝΑΨΗ) ΜΕ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	
Κλίμακα	1:50
Ημερομηνία	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023
Στοιχεία Υποστήριξης	



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

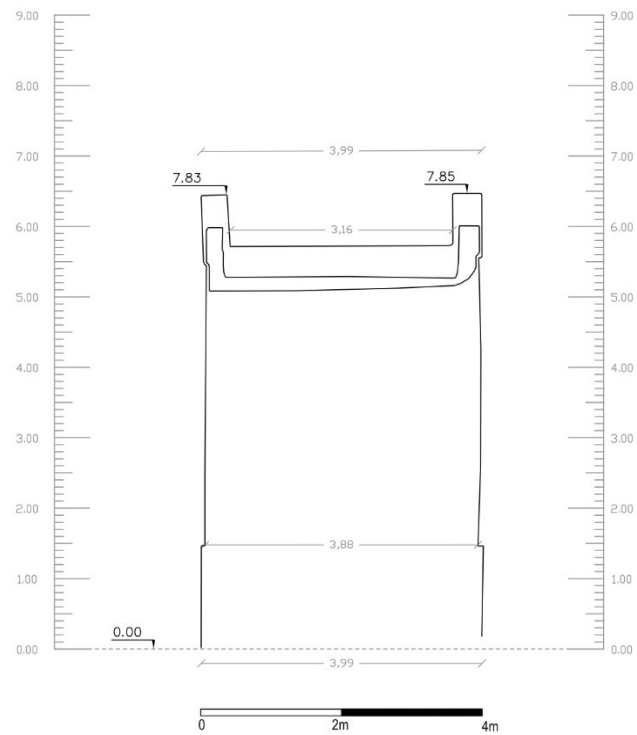
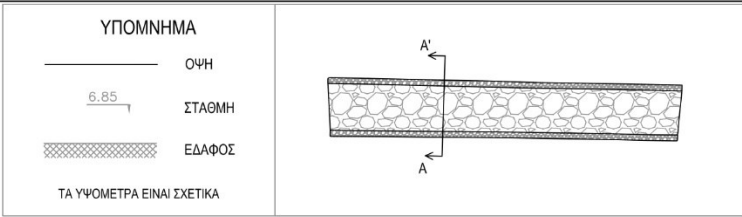
-  ΟΨΗ
-  ΣΤΑΘΜΗ
-  ΕΔΑΦΟΣ

ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΕΙΝΑΙ ΣΧΕΤΙΚΑ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Έργο	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Τίτλος	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΔΖΙ-ΡΑΣΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ
Επιβλέπων	ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ Δρ. Αγρονόμος & Τοπογράφος Μηχανικός
Φοιτήτρια	ΜΙΚΑΕΛΑ-ΑΜΑΛΙΑ ΑΝΑΛΥΤΗ
Θέμα σχεδίου	Αρ. σχεδίου
ΟΨΟΤΟΜΗ Α-Α' ΜΕ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΟΡΘΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	T7
Κλίμακα	Ημερομηνία
1:50	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023
Σφραγίδα - Υπογραφή	



 <p>ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ          ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ          ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ &amp; ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ</p>	
Εργο	ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Τίτλος	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΑΔΖΙ-ΡΑΣΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΣΑΡΩΤΗ
Επιβλέπων	ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΗΛΙΟΔΡΟΜΙΤΗΣ Δρ. Αγρονόμος & Τοπογράφος Μηχανικός
Φοιτήτρια	ΜΙΚΑΕΛΑ-ΑΜΑΛΙΑ ΑΝΑΛΥΤΗ
Θέμα σχεδίου	Αρ. σχεδίου
ΟΨΟΤΟΜΗ Α-Α'	T8
Κλίμακα	Ημερομηνία
1:50	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023
Σφραγίδα - Υπογραφή	

## Κεφάλαιο 7°. Συμπεράσματα

Η πολιτιστική κληρονομιά είναι ο τρόπος με τον οποίο το κάθε έθνος συνδέεται με το παρελθόν του και τις ιστορικές περιόδους. Στη σημερινή εποχή, αξιοποιείται η εξέλιξη της τεχνολογίας με σκοπό την τεκμηρίωση των μνημείων και οτιδήποτε αποτελεί μέρος της πολιτιστικής κληρονομιάς, διότι μέσω των σύγχρονων μεθόδων αποτύπωσης μπορούν να προβληθούν με ευκολία και αργότερα να συντηρηθούν, να διατηρηθούν, να αναδειχθούν ή και να αποκατασταθούν. Έτσι, προκύπτουν μελέτες όπως η συγκεκριμένη, οι οποίες απαιτούν έρευνα και καταγραφή των αντικειμένων τους με σκοπό να καταλήξουν στην τεκμηρίωση τους.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η μελέτη πραγματοποιήθηκε με σύγχρονες μεθόδους τεκμηρίωσης μνημείων και συγκεκριμένα την επίγεια τρισδιάστατη σάρωση με laser. Οι τεχνικές αποτύπωσης αποτελούνται από τον συνδυασμό τρισδιάστατων οργάνων σάρωσης laser με λογισμικά τα οποία επιτρέπουν την επεξεργασία δεδομένων για την δημιουργία των παραγόμενων προϊόντων.

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής μπορούν να αξιοποιηθούν συνδυαστικά με άλλες μεθόδους αποτύπωσης από αυτές που αναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, έτσι ώστε να μπορέσουν να τοποθετηθούν χωρικά τα σχέδια, γιατί στην προκειμένη περίπτωση δεν υπήρχαν μετρήσεις που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την γεωαναφορά των δισδιάστατων σχεδίων. Επίσης, μελλοντικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν από συντηρητές ως υπόβαθρο για μελέτες συντήρησης ή ακόμα και αποκατάστασης σε τυχόν φθορά.

Κλείνοντας, ο συνδυασμός των σύγχρονων μεθόδων αποτύπωσης, μεταξύ άλλων μπορεί να προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες για μελέτες που αφορούν την τεκμηρίωση μνημείων ή άλλων αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Η μελέτη αυτή είχε ως αντικείμενο την γέφυρα Adzi Pasa της Ποντγκόριτσα στο Μαυροβούνιο ως ιστορικό μνημείο και στόχος της ήταν αρχικά η τεκμηρίωσή του και στη συνέχεια η ανάδειξη της ευρύτερης περιοχής.



## Παράρτημα

### Προδιαγραφές BLK



The image shows the Leica BLK360 Imaging Scanner, a black, dome-shaped device with the Leica logo on its side. It is presented against a dark background.

**Leica**  
Geosystems

# LEICA BLK360 IMAGING SCANNER

3D REALITY. NOW.

### BLK360 PRODUCT SPECIFICATIONS

GENERAL	
Imaging scanner	3D scanner with integrated spherical imaging system and thermography panorama sensor system

DESIGN & PHYSICAL	
Housing	Black anodized aluminium
Dimensions	Height: 165 mm / Diameter: 100 mm
Weight	1kg
Transport cover	Hood with integrated floorstand
Mounting mechanism	Button-press quick release

OPERATION	
Stand-alone operation	One-button operation
Remote operation	iPad app, Apple iPad Pro® 12.9"/iOS 10 or later
Wireless communication	Integrated wireless LAN (802.11 b/g/n)
Internal memory	Storage for > 100 setups
Instrument orientation	Upright and upside down

POWER	
Battery type	Internal, rechargeable Li-Ion battery (Leica GEB212)
Capacity	Typically >40 setups

## SCANNING

Distance measurement system	High speed time of flight enhanced by Waveform Digitizing (WFD) technology
Laser class	1 (in accordance with IEC 60825-1:2014)
Wavelength	830 nm
Field of view	360° (horizontal) / 300° (vertical)
Range*	min. 0.6 - up to 60 m
Point measurement rate	up to 360'000 pts / sec
Ranging accuracy*	4mm @ 10m / 7mm @ 20m
Measurement modes	3 user selectable resolution settings

## IMAGING

Camera System	15 Mpixel 3-camera system, 160Mpx full dome capture, HDR, LED flash Calibrated spherical image, 360° x 300°
Thermal Camera	FLIR technology based longwave infrared camera Thermal panoramic image, 360° x 70°

## PERFORMANCE

Measurement speed	< 3 min for complete full dome scan, spherical image & thermal image
3D point accuracy*	6mm @ 10m / 8mm @ 20m

## ENVIRONMENTAL

Robustness	Designed for indoor and outdoor use
Operating temperature	+5 to +40° C
Dust/Humidity	Solid particle/liquid ingress protection IP64 (IEC 60529)

## DATA ACQUISITION

- Live image and scanned data streaming
- Live data viewing and editing
- Automatic tilt measurements

All specifications are subject to change without notice.  
All accuracy specifications are one sigma unless otherwise noted.  
\* at 78% albedo  
Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2017.



## Βιβλιογραφία

1. Adži-Paša's bridge in Podgorica, Advisor.Travel. Available at: <https://en.advisor.travel/poi/Adzi-pasa-s-bridge-29495>
2. Anadolija (2015), Putovanja, Hadži-Pašin most odredio Je Sudbinu brojnih podgoričana, Klix.ba. Available at: <https://www.klix.ba/lifestyle/putovanja/hadzi-pasin-most-odredio-je-sudbinu-brojnih-podgoricana/151213004>
3. Az360.gr, [www.az360.gr](http://www.az360.gr), Τοπογραφικές Μελέτες. Available at: [https://www.az360.gr/gr\\_services.php?sid=19](https://www.az360.gr/gr_services.php?sid=19)
4. Centar za informacioni system, Glavni Grad Podgorica. Available at: <https://podgorica.me/>
5. Centar za informacioni system, Kameni most Na Sastavcima. Available at: <https://podgorica.me/istrazi-podgoricu/122>
6. Cue hotel podgorica: City on the palm of your hand (2023), Hotel CUE Podgorica. Available at: <https://www.cue-podgorica.com/podgorica-a-city-on-the-palm-of-your-hand/>
7. Cultural property fortress depedogen in Podgorica, studioprostor.me. Available at: <https://studioprostor.me/en/projekti/cultural-property-fortress-depedogen-in-podgorica/>
8. Digitalna Biblioteka crnogorske kulture I Nasljedja - MONTENEGRINA. Available at: <https://www.montenegrina.net>
9. Geotech Συστήματα Γεωπληροφορικής, Geotech - Λύσεις Γεωπληροφορικής. Available at: <https://www.geotech.gr/>
10. Hoboetc, The capital of Montenegro and its main attractions. Podgorica: The Raisins of the city. Available at: <https://hoboetc.com/puteshestviya>
11. MojaCG (2014), Most Na Sastavcima - Najstariji most U podgorici, Moja Crna Gora. Available at: <http://www.mojacrnaGora.com/most-na-sastavcima-najstariji-most-u-podgorici/>
12. Nedelja (2012), Nemanjići vs Osmanlije na Obali Ribnice, Nemanjići VS Osmanlije na obali Ribnice. Available at: <https://web.archive.org/web/20121203023256/http://www.cdm.me/kultura/nemanjici-vs-osmanlije-na-obali-ribnice>
13. Topcon Positioning Systems, Inc. (2014). Total Stations. Available at: <https://www.topconpositioning.com/total-stations>
14. Tvrđava Depedogen (ribnica) / Крепость Депендоген (Рыбница) (Подгорица/Podgorica), 3 фотографии, Автопутешествия по России и за границу: Города, Достопримечательности, Где остановиться, Где поесть, Маршруты, Дороги. Available at: <https://autotravel.ru/phalbum.php/ex/26591>
15. Unansea, Η πρωτεύουσα του Μαυροβουνίου και τα κύρια αξιοθέατα της Ποντγκόριτσα. Available at: <https://unansea.com>

16. Vamadoscom, Podgorica Travel Guide Comments. Available at: <https://www.vamados.com/guide/podgorica-travel-guide/>
17. «Γεωδαιτική τεκμηρίωση μνημείων. Η περίπτωση του παραδοσιακού νερόμυλου και γεφυριού στο Δολό Πωγωνίου», Μπέκος Β., 2023
18. «Γεωμετρική τεκμηρίωση τεχνητών και φυσικών κατασκευών σε μεγάλες κλίμακες», Πανταζής Γ, 2010
19. Η χρήση της τρισδιάστατης ψηφιακής μεθοδολογίας, στη μελέτη, προστασία και ανάδειξη μνημείων και ιστορικών συνόλων, Λιανός Ν.
20. Ποντγκόριτσα by locals, Αθανασίου Μ. (2018). Available at: <https://www.kathimerini.gr/k/travel/995936/pontgkoritsa-by-locals/>
21. «Σαρωτές laser. Τεχνολογία, τεχνικές και εφαρμογές», Συμεωνίδης Π., 2007
22. «Σημειώσεις μαθήματος: Αποτυπώσεις», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε.Τρικάλων, Μπαλαμιώτη Ελένη, 2018
23. «Τα πετρογέφυρα του Ευρυτανικού τοπίου – χθες, σήμερα, αύριο...», Γιαννίρης Η., 2015
24. «Τεχνικές προδιαγραφές τοπογραφικών αποτυπώσεων αρχιτεκτονικών μνημείων», Βλάχος Δ., 1990
25. «Τρισδιάστατη αποτύπωση πέτρινων γεφυριών. Η περίπτωση της Νήσου Άνδρου», Καραπαναγιώτη Φ., 2022
26. «Τρισδιάστατη Αποτύπωση Ιεράς Μονής Υπεραγίας Θεοτόκου Άτρου, Κεφαλληνίας», Βουρεξάκη Χ., 2021
27. «Τοπογραφικές Αποτυπώσεις Αρχιτεκτονικών μνημείων και Αρχαιολογικών χώρων», Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΑΠΘ, Τοκμακίδης Κ., 2010
28. Τοπογραφικός Εξοπλισμός | Περιβαλλοντικός, Βιομηχανικός Εξοπλισμός | METRICA A.E., Τοπογραφικά Όργανα | Περιβαλλοντικός Εξοπλισμός | Βιομηχανικές Μετρήσεις | METRICA A.E. Available at: <https://www.metrica.gr/>