



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

Διπλωματική Εργασία

**«Σύγχρονες Γεωδαιτικές Μεθοδολογίες Αποτύπωσης Και
Ανάδειξης Γεφυριών»**

Συγγραφέας:

Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος

ΑΜ: tg 13048

Επιβλέπων:

Παγούνης Βασίλειος, Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2023



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF SURVEYING AND GEOINFORMATICS
ENGINEERING**

Diploma Thesis

**“Modern Geodetic Methods of Capturing and Presenting
Bridges”**

Student name and surname: Konstandinos Papadopoulos

Registration Number: tg 13048

Supervisor name and surname:

Vassilis Pagounis, Professor at University of West Attica (UNI.W.A.)

Athens, September 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

«Σύγχρονες Γεωδαιτικές Μεθοδολογίες Αποτύπωσης Και Ανάδειξης Μνημείων»

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

| A/α | ΟΝΟΜΑ-ΕΠΩΝΥΜΟ | ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ | ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ |
|-----|------------------------|-------------------------------------|------------------|
| 1 | Παγούνης Βασίλειος | Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α. | |
| 2 | Αναστασίου Δημήτριος | Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π. | |
| 3 | Ηλιοδρομίτης Αθανάσιος | Επιστημονικός Συνεργάτης ΠΑ.Δ.Α. | |

Δήλωση Συγγραφέα Πτυχιακής/Διπλωματικής Εργασίας

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος του Στέφανου, με αριθμό μητρώου tg13048 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/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».

*Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή

Ο Δηλών

Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος
(Υπογραφή)

Φοιτητής Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

* Σε εξαιρετικές περιπτώσεις και μετά από αιτιολόγηση και έγκριση του επιβλέποντα, προβλέπεται χρονικός

περιορισμός πρόσβασης (*embargo*) 6-12 μήνες. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υπογράψει ψηφιακά ο/η επιβλέπων/ουσα καθηγητής/τρια, για να γνωστοποιεί ότι είναι ενημερωμένος/η και συναινεί. Οι λόγοι χρονικού αποκλεισμού πρόσβασης περιγράφονται αναλυτικά στις πολιτικές του Ι.Α. (σελ. 6):

https://www.uniwa.gr/wp-content/uploads/2021/01/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CC%81%CF%82_%CE%99%CE%B4%CF%81%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85%CC%81_%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CC%81%CE%BF%CF%85_final.pdf

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας αυτή την εργασία, θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή του ΠΑ.Δ.Α. και επιβλέπον αυτής, Παγούνη Βασίλειο για την ανάθεση και την καθοδήγηση του καθ' όλη την διάρκεια της συγγραφής της.

Αυτή η διπλωματική εργασία δεν θα είχε ολοκληρωθεί χωρίς την κατανόηση και την υπομονή που δείξανε, ο καθηγητής μου, όσο και τα οικογενειακά και τα φιλικά μου πρόσωπα.

Πίνακας Εικόνων

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1 Νερόμυλος και το Γεφύρι της Νονούλως - Πανοραμική εικόνα (Μπέκος Βασίλειος, 2023) | 4 |
| Εικόνα 2 Γέφυρας Νονούλως, Δολό Πωγωνίου - Κατάντι όψη (Μπέκος Βασίλειος, 2023) | 4 |
| Εικόνα 3 Γεφύρι Διποτάμων (Καραπαναγιώτη Φωτεινή, 2022) | 5 |
| Εικόνα 4 Γεφύρι Στοιχειωμένης (Καραπαναγιώτη Φωτεινή, 2022) | 5 |
| Εικόνα 5 Γεφύρι Διποτάμου Άνδρος – Κάτοψη (Καραπαναγιώτη Φωτεινή, 2022) | 6 |
| Εικόνα 6 Γεφύρι Στοιχειωμένου Άνδρος - Πλάγια Όψη (Καραπαναγιώτη Φωτεινή, 2022) | 6 |
| Εικόνα 7 Γεφύρι Στοιχειωμένου Άνδρος – Κάτοψη (Καραπαναγιώτη Φωτεινή, 2022) | 7 |
| Εικόνα 8 Γέφυρα Κοράκου (Philippson Alfred, 1893) | 8 |
| Εικόνα 9 Γέφυρα Κοράκου (Μελετζής Σπύρος, 1937) | 8 |
| Εικόνα 10 Γέφυρα Κοράκου, Τοπογραφικό Διάγραμμα (Τσέλιος Ιούλιος - Χούσος Γεώργιος, 2018) | 8 |
| Εικόνα 11 Γέφυρα Κοράκου - Όψη από Ανάντη - Τωρινή Κατάσταση (Τσέλιος Ιούλιος - Χούσος Γεώργιος, 2018) | 9 |
| Εικόνα 12 Γέφυρα Κοράκου - Όψη από Κατάντη – Πριν την Ανατίναξη (Τσέλιος Ιούλιος - Χούσος Γεώργιος, 2018) | 9 |
| Εικόνα 13 Γέφυρα Stura - Τορίνο Ιταλίας (Gianluca Colia, 2021) | 10 |
| Εικόνα 14 Γέφυρα Stura - Θέση (Google Maps, 2023)..... | 10 |
| Εικόνα 15 Γέφυρα Stura - Τελικό Νέφος Σημείων από 3Δ Σαρωτή και Drone (Gianluca Colia, 2021) | 11 |
| Εικόνα 16 Γέφυρα Stura - Αυτόματος Εντοπισμός Ελαττωματικών Σημείων Γέφυρας 1 (Gianluca Colia, 2021) | 11 |
| Εικόνα 17 Γέφυρα Stura - Αυτόματος Εντοπισμός Ελαττωματικών Σημείων Γέφυρας 2 (Gianluca Colia, 2021) | 11 |
| Εικόνα 18 Όρος Rushmore - Συνδυασμός Φωτογραφίας με Σαρωμένο Νέφος Σημείων (sciencefriday.com)..... | 13 |
| Εικόνα 19 Όργανα Τοπομετρικής Μεθόδου (www.woniel.com)..... | 17 |
| Εικόνα 20 Γεωμετρική Τεκμηρίωση Γέφυρας με Επίγειο Σαρωτή Λείζερ (Laser Scanner) (geourbgroup.com, 2018)..... | 18 |
| Εικόνα 21 Η Βασίλισσα Ελισάβετ Β΄ του Ηνωμένου Βασιλείου κοιτάει μέσα από το τηλεσκόπιο | |

| | |
|--|----|
| θεολόδιχου μάρκας WILD (dailymail.co.uk, 1998) | 19 |
| Εικόνα 22 Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station) της Εταιρείας Nikon (Προσωπικό αρχείο, 2021) | 20 |
| Εικόνα 23 Ο Σχεδιαστής του Λαούτου - Albrecht Dürer (metmuseum.org, 1523)..... | 22 |
| Εικόνα 24 3Δ Σαρωτής Λέιζερ - Leica ScanStation P50 (g2survey.com) | 23 |
| Εικόνα 25 Τρόπος λειτουργίας καταγραφής σημείων 3Δ σαρωτή λέιζερ (artec3d.com) | 25 |
| Εικόνα 26 Νέφος Σημείων - Γέφυρα Μοστάνιτσα (Προσωπικό Αρχείο, 2023) | 26 |
| Εικόνα 27 3Δ απεικόνιση τόπου εγκλήματος για δικαστική χρήση (gim-international.com, 2020)..... | 27 |
| Εικόνα 28 Είδη Πρόβολων - Τριγωνικός, Ημικυκλικός, Σφηνοειδής, Ελλειπτικός (Γκράσσο, 2007) | 30 |
| Εικόνα 29 Παράδειγμα Οξυκόρυφης Καμάρας (Γκράσσο, 2007) | 31 |
| Εικόνα 30 Παράδειγμα Αναβιβασμένου, Ημικυκλικού και Καταβιβασμένου Τόξου (Γκράσσο, 2007) | 31 |
| Εικόνα 31 Τοποθέτηση Κλειδιού - Κεντρικού Θολίτη στο Τόξο Καμάρας (Πετρονώτης, 2012) .. | 31 |
| Εικόνα 32 Παραδείγματα Δοκοθηκών, Προεξοχή και Εσοχή (Πετρονώτης, 2012) | 32 |
| Εικόνα 33 Η «Αιωρούμενη» Ράχη Γέφυρας Τριζώλου (Πετρονώτης, 2012) | 33 |
| Εικόνα 34 Γεφύρι Βοϊδομάτη – Κατάστρωμα (Πετρονώτης, 2012) | 33 |
| Εικόνα 35 Νίκσιέ – Μαυροβούνιο – Χάρτης Θέσης (wikipedia.org)..... | 34 |
| Εικόνα 36 Πανοραμική Φωτογραφία του Νίκσιέ (drone-studio.me)..... | 35 |
| Εικόνα 37 Διάφορα Είδη Γεφυρών (istockphoto.com)..... | 35 |
| Εικόνα 38 Η γέφυρα Μοστάνιτσα (Moštanica Bridge) (tripadvisor.com) | 37 |
| Εικόνα 39 Η Αρχαία Γέφυρα Moštanica πριν την Τελευταία Κατεδάφιση της (onogost.me)..... | 39 |
| Εικόνα 40 Ανάντη Όψη της Γέφυρας Moštanica (Επιστημονικοί Συνεργάτες του Νίκσιτς)..... | 39 |
| Εικόνα 41 Κάτοψη της Γέφυρας Moštanica (Επιστημονικοί Συνεργάτες του Νίκσιτς) | 40 |
| Εικόνα 42 Βόρεια Όψη της Γέφυρας Moštanica (Επιστημονικοί Συνεργάτες του Νίκσιτς) | 40 |
| Εικόνα 43 Οριζόντια Διατομή Βάθρων της Γέφυρας Moštanica (Επιστημονικοί Συνεργάτες του Νίκσιτς)..... | 41 |
| Εικόνα 44 Κατακόρυφη Διατομή Βάθρου της Γέφυρας Moštanica (Επιστημονικοί Συνεργάτες του Νίκσιτς)..... | 41 |
| Εικόνα 45 3D Laser Scanner – Leica BLK360 (sccsurvey.co.uk)..... | 45 |
| Εικόνα 46 Ευθυγράμμιση Νεφών σε Περιβάλλον Cyclone Register 360 Plus | 46 |
| Εικόνα 47 Καθαρισμός Νέφους από Θόρυβο σε Περιβάλλον Cyclone Register 360 Plus..... | 47 |
| Εικόνα 48 Καθαρισμός Νέφους από Θόρυβο 2 σε Περιβάλλον Cyclone Register 360 Plus..... | 47 |
| Εικόνα 49 Ίδρυση Συστήματος Αναφοράς σε Περιβάλλον Cyclone Register 360 Plus | 48 |

| | |
|--|----|
| Εικόνα 50 Ψηφιοποίηση Νότιας Καμάρας σε περιβάλλον Autocad και Cloudworx | 49 |
| Εικόνα 51 Ορισμός Συστήματος Αναφοράς Νότιας Όψης σε περιβάλλον Autocad και Cloudworx | 49 |
| Εικόνα 52 Ψηφιοποίησης της Γέφυρας σε περιβάλλον Autocad και Cloudworx | 50 |
| Εικόνα 53 Τόξο 1 Διατομή 1 | 51 |
| Εικόνα 54 Τόξο 1 Διατομή 2 | 51 |
| Εικόνα 55 Τόξο 1 Διατομή 3 | 52 |
| Εικόνα 56 Τόξο 2 Διατομή 1 | 52 |
| Εικόνα 57 Τόξο 2 Διατομή 2 | 53 |
| Εικόνα 58 Τόξο 2 Διατομή 3 | 53 |
| Εικόνα 59 Τόξο 3 Διατομή 1 | 54 |
| Εικόνα 60 Τόξο 3 Διατομή 2 | 54 |
| Εικόνα 61 Τόξο 3 Διατομή 3 | 55 |
| Εικόνα 62 Τόξο 4 Διατομή 1 | 55 |
| Εικόνα 63 Τόξο 4 Διατομή 2 | 56 |
| Εικόνα 64 Τόξο 4 Διατομή 3 | 56 |
| Εικόνα 65 Τόξο 5 Διατομή 1 | 57 |
| Εικόνα 66 Τόξο 5 Διατομή 2 | 57 |
| Εικόνα 67 Τόξο 5 Διατομή 3 | 58 |
| Εικόνα 68 Τόξο 6 Διατομή 1 | 58 |
| Εικόνα 69 Τόξο 6 Διατομή 2 | 59 |
| Εικόνα 70 Τόξο 6 Διατομή 3 | 59 |

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| 1. Εισαγωγή..... | 1 |
| 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση | 3 |
| 3. Γεωμετρική Τεκμηρίωση Πολιτιστικής Κληρονομιάς..... | 15 |
| 4. Μορφολογία και Στοιχεία Παραδοσιακής Γεφυροποιίας | 30 |
| 5. Η Γέφυρα Μοστάνιτσα του Νίκσιτς | 34 |
| 6. Εργασίες Πεδίου..... | 44 |
| 7. Επεξεργασία Δεδομένων | 45 |
| 8. Σχέδια Γέφυρας Μοštanica | 61 |
| 9. Αναφορά Εφαρμογής Επίλυσης Νέφους | 70 |
| 11. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα | 81 |
| 12. Βιβλιογραφία | 83 |

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό να αξιοποιήσει πλήρως και να προβάλει με τον βέλτιστο τρόπο τις τοπογραφικές μεθόδους και τα προϊόντα που είναι δυνατόν να δημιουργηθούν μέσω της χρήσης σύγχρονων τοπογραφικών οργάνων αποτύπωσης και καταγραφής του φυσικού περιβάλλοντος του πλανήτη μας μαζί με ότι αυτό συνοδεύεται: ανθρώπινες επεμβάσεις στην φύση, κατασκευές αρχαίες και σύγχρονες.

Το περιβάλλον γύρω μας είναι και η βάση της κάθε τοπογραφικής μελέτης. Η δουλειά του τοπογράφου είναι η αποτύπωση και μελέτη του χώρου με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και συγχρόνως με σεβασμό προς αυτό, έτσι ώστε να συμβάλουμε με το λιθαράκι μας στην συντήρηση των αρχαίων ευρημάτων αλλά και των νεότερων κατασκευών.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τρόποι με τους οποίους είναι δυνατόν να τεκμηριωθεί με τοπογραφικές μεθόδους μια δομή. Αναλύεται η μέθοδος μοντελοποίησης Building Information Modeling ή B.I.M., με αναφορά στον όρο Heritage – B.I.M., σε συντομογραφία: H-B.I.M. και τις έννοιες τους. Αναφέρονται οι χρήσεις αυτής και οι τρόποι που μηχανικοί του σήμερα την αξιοποιούν καθημερινά.

Στην προκειμένη περίπτωση μελετάται η γέφυρα Μοστάνιτσα ή Moštanica. Πρόκειται για μια γέφυρα η οποία βρίσκεται στην χώρα του Μαυροβούνιου και είναι κατασκευασμένη στα δυτικά της πόλης Νίκσιτς επί Ρωμαϊκής εποχής.

Επιλέχθηκε η γέφυρα αυτή, διότι αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της πόλης Νίκσιτς του Μαυροβούνιου, αφού είναι η αρχαιότερη γέφυρα του Μαυροβούνιου, Ρωμαϊκής κατασκευής και αποτελεί ένα ενδιαφέρον θέμα για μελέτη. Αυτό συνεπάγεται με το ότι η κατασκευή αυτή, διατηρείται και εξυπηρετεί τους σκοπούς της για χιλιάδες χρόνια ήδη. Αυτό αποδεικνύει την αξία που έχει μια γέφυρα τέτοιας ηλικίας και την τιμή που αποτελεί το να δουλεύεις πάνω σε αυτήν.

Abstract

This thesis aims to make full use of and present, in the best possible way, the surveying methods and the products that can be created through the use of modern surveying instruments to capture the natural environment of our planet, along with what accompanies it: human interventions in nature, ancient and modern constructions.

The environment around us is the basis of every surveyor's study. The job of the surveyor is to map and study the area with the greatest possible accuracy and, at the same time, with respect for it, so that we can contribute with our little stone to the preservation of the ancient finds as well as the newer constructions.

Below are presented the ways in which it is possible to document a structure with surveying methods. The modeling method Building Information Modeling or B.I.M. is analyzed, with reference to the term Heritage – B.I.M., abbreviated: H-B.I.M. and their meanings. Its uses and the ways that today's engineers use it every day are mentioned.

In this case, the Moštanica bridge is the subject that is being studied. It is a bridge which is located in the country of Montenegro and has been built in the west of the city of Nikšić since Roman times.

This bridge was chosen because it is an important part of the city of Nikšić in Montenegro, since it is the oldest bridge in Montenegro, of Roman construction, and is an interesting subject for study. This implies that this construction has been kept there and serves its purposes for thousands of years already. This alone shows the value of a bridge of this age and the honor of working on it.

Σκοπός

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να αναδειχθούν οι μέθοδοι αυτές που βοηθάνε το έργο των μηχανικών οι οποίοι ασχολούνται με την γεωμετρική αποτύπωση μνημείων, μεγάλων κατασκευών, όπως γεφυρών στην περίπτωση μας, και λοιπών δομών. Παρουσιάζονται οι δυνατότητες που έχουν οι μηχανικοί του σήμερα στο να δημιουργήσουν, να αναλύσουν όπως επίσης και να βάλουν το λιθαράκι τους στην συντήρηση των αρχαίων και νέων δημιουργιών. Παράλληλα με τις δημιουργίες φυσικά, μελετώνται και «δημιουργίες» της φύσης, αφού μνημεία ονομάζονται και όμορφα ή παράξενα τοπία που δημιουργήθηκαν με το πέρασμα του χρόνου επάνω στην γη από φυσικά φαινόμενα.

Με τις νέες μεθόδους που εξελίχθηκαν και συνεχίζουν αδιαλείπτως να εξελίσσονται, οι μηχανικοί, έχοντας ένα καλό υπόβαθρο γνώσεων και κατανόησης της βασικής θεωρίας που συνεχίζει φυσικά να υπάρχει πίσω από κάθε υπερσύγχρονο όργανο που χειρίζονται, έχουν την δυνατότητα να κάνουν «σύγχρονα θαύματα». Η αποτύπωση μιας κατασκευής ενδιαφέροντος όπως μια γέφυρα, σε ψηφιακή μορφή, μπορεί να κρατήσει δυνατή την μνήμη της για δεκαετίες. Η τεκμηρίωση μιας μοντέρνας και πολύπλοκης κατασκευής μπορεί να αναδείξει σημαντικές λεπτομέρειες που ίσως παραλήφθηκαν από το ανθρώπινο μάτι στο παρελθόν, πιθανόν και να κάνει εμφανή ελαττωματικά σημεία με τα οποία μπορούμε να αυξήσουμε την διάρκεια ζωής της δομής και την ασφάλεια μας.

Πιο συγκεκριμένα, σε αυτή την διπλωματική, μελετάται το πως αξιοποιήθηκαν οι προαναφερθέντες μέθοδοι στην τοπογραφική μελέτη της γέφυρας Moštanica στο Nikšić του Μαυροβούνιου, ξεκινώντας από την καταγραφή των πρωτογενή δεδομένων, και την αποτύπωση και καταλήγοντας έως μέχρι την δημιουργία του τελικού προϊόντος μας και την ανάλυση του σε μορφή μοντελοποίησης B.I.M.. Εν τέλει, αναφέρονται τα συμπεράσματα, παρατηρήσεις που προέκυψαν.

1. Εισαγωγή

Η πολιτιστική κληρονομιά ενός τόπου, του αποδίδει αξία ευρέως και η περιοχή αποκτάει άμεσα τον σεβασμό του κόσμου σε παγκόσμιο επίπεδο. Άνθρωποι από όλον τον κόσμο, και ασχέτως του επαγγέλματος τους ενδιαφέρονται: ακούν, συζητάνε, μελετάνε, έως και ταξιδεύουν προκειμένου να παρατηρήσουν, έστω για μια φορά στην ζωή τους από κοντά αυτά τα «θαύματα» ενός τόπου τα οποία επιζούν και διατηρούνται έως την σήμερα ημέρα σε καλή κατάσταση και έχουν ένα τόσο μεγάλο πλήθος ιστοριών να διηγηθούν.

Μείζων αξία έχει συνεπώς να πράξουμε, με οποιονδήποτε τρόπο περνάει από το χέρι μας, και χρησιμοποιώντας ότι τεχνολογία και εργαλείο υπάρχει διαθέσιμο στην εκάστοτε γενιά, έτσι ώστε να κρατήσουμε ζωντανές αυτές τις αναμνήσεις, αυτές τις ιστορίες των προγόνων μας προκειμένου να υπάρχουν και να διατηρήσουν ή και να αυξήσουν την αξία τους και για τις επόμενες γενιές που ελπίζουμε να σεβαστούν και επίσης με ευλάβεια να αναλάβουν με την σειρά τους την συνέχεια αυτού του έργου με το οποίο απασχολούμαστε και εμείς στην προκείμενη περίπτωση.

Οι τεχνολογίες και τα εργαλεία που αναφέρθηκαν, ευτυχώς για εμάς, όπως επίσης και για κάθε γνώστη και ενδιαφερόμενο, εξελίσσονται ραγδαία. Οι εξελίξεις αυτές διευκολύνουν το έργο των μελετητών αφού επιφέρουν βέλτιστες ακρίβειες στις αποτυπώσεις μνημείων, μεγάλη οικονομία χρόνου και συνεπώς αυξημένη παραγωγικότητα.

Εν έτει 2023, η τεχνολογία εξελίσσεται, όχι με βήματα όπως συνηθίζεται, αλλά με άλματα. Φυσικά επηρεάζεται από αυτή την εξέλιξη ο τομέας μας, η Τοπογραφία. Μιλώντας για το επάγγελμα μας, την Τοπογραφία, καλύπτονται αρκετές υποκατηγορίες που ο περισσότερος κόσμος δυστυχώς δεν γνωρίζει. Ένας τοπογράφος διαθέτει την τεχνογνωσία να πραγματοποιήσει τις κλασσικές τοπογραφικές μελέτες, τρισδιάστατες αλλά και φωτογραμμετρικές αποτυπώσεις και μελέτες, υδραυλικές μελέτες, γεωδαιτικές μελέτες όπως επίσης να ασχοληθεί και με πολλά άλλα πεδία.

Μια κλασσική τοπογραφική μελέτη χρησιμοποιεί όργανα όπως ο γεωδαιτικός σταθμός για την αποτύπωση και την απόδοση της γήινης επιφάνειας και των αντικειμένων επάνω σε αυτήν, που αποτελεί την εξέλιξη και τον συνδυασμό του χωροβάτη και του θεοδόλιχου που χρησιμοποιούνταν τα προγενέστερα χρόνια για μετρήσεις υψομετρικών διαφορών και γωνιών αντίστοιχα. Επιπλέον, από τον χωροβάτη και τον θεοδόλιχο, ο γεωδαιτικός σταθμός συνήθως έχει και την δυνατότητα να μετρήσει και να καταγράψει και αποστάσεις. Ο γεωδαιτικός σταθμός ωστόσο χάνει την αξία του όσο τα αντικείμενα τα οποία καλείται να αποτυπώσει, γίνονται πιο περίπλοκα ή έστω ακόμη κι αν είναι πιο αργός στην διεκπεραίωση των ζητούμενων εργασιών σε σχέση με νεότερες μεθόδους.

Μια πιο σύγχρονη μελέτη μπορεί ζητάει την χρήση της επιστήμης της φωτογραμμετρίας και

σε συνδυασμό με ένα ιπτάμενο μέσο όπως αεροφωτογραφίες από drone ή ακόμη και αεροπλάνο. Ένα από τα πιο σύγχρονα όργανα συλλογής δεδομένων είναι οι τρισδιάστατοι σαρωτές λέιζερ. Οι μηχανικοί έχουν πλέον δυνατότητες, χάρη στον εξοπλισμό που διαθέτουν, που οι προηγούμενες γενιές δεν μπορούσαν πιθανόν ούτε να φανταστούν.

Οι γέφυρες είναι μια ενδιαφέρουσα δομή προς αποτύπωση και μελέτη λόγω της ιστορίας που μπορεί να «κουβαλάνε» και της ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής που οι περισσότερες διαθέτουν. Μην ξεχνάμε φυσικά πως αποτελούν και ένα πολύ σημαντικό κομμάτι των συγκοινωνιών μας, εφόσον χρησιμοποιούνται καθημερινά σε όλον τον πλανήτη συνδέοντας πόλεις και χωριά, εκμηδενίζοντας τους χρόνους των διαδρομών που θα ακολουθούσαν χωρίς αυτές. Μηχανικοί μελετάνε, και ανάκαθεν μελετούσαν τις γέφυρες, με ποικίλους τρόπους και μεθόδους, πριν, αλλά και αφότου κατασκευαστούν.

Η διπλωματική αυτή εργασία, εστιάζει στις σύγχρονες μεθόδους αποτύπωσης και ανάδειξης μνημείων που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της γέφυρας Moštanica στο Nikšić του Μαυροβούνιου.

Η δομή της παρακάτω διπλωματικής εργασίας ακολουθεί την εξής μορφή:

- Η εργασία αυτή ξεκινάει [εισάγοντας](#) μας στον κόσμο της τρισδιάστατης απεικόνισης δομών, εστιάζοντας στις γέφυρες και παρουσιάζοντας μας μερικές πρόσφατες μελέτες αυτών.
- Στο επόμενο [κεφάλαιο](#) αναλύεται η έννοια της μεθόδου Building Information Modeling γνωστή και ως B.I.M. όπως επίσης και η υποκατηγορία του Heritage B.I.M. (H-B.I.M.).
- Παρακάτω, στο [κεφάλαιο 11](#), εξηγείται τι σημαίνει ο όρος Γεωμετρική Τεκμηρίωση και ειδικότερα τι σημαίνει γεωμετρική τεκμηρίωση όταν πρόκειται για μια γέφυρα.
- Στο [κεφάλαιο 12](#), παρουσιάζονται τα όργανα και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σήμερα για την διεκπεραίωση μιας γεωμετρικής τεκμηρίωσης και τα σφάλματα που επιφέρουν.
- Τα χαρακτηριστικά μέρη της γέφυρας παρουσιάζονται στο επόμενο [κεφάλαιο](#) αναλυτικά.
- Στο [14^ο κεφάλαιο](#) μελετάται η ιστορία της γέφυρας Μοστάνιτσα, στην πόλη Νίκσιτς του Μαυροβούνιου, η θέση της και τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά που διατηρεί.
- Μπαίνοντας στο κυρίως θέμα, στο [κεφάλαιο 15](#), αναλύεται η μεθοδολογία τεκμηρίωσης της γέφυρας Moštanica. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε και τα βήματα που ακολουθήθηκαν.
- Στο [κεφάλαιο 16](#) παρουσιάζονται τα 9 σχέδια της γέφυρας Moštanica που δημιουργήθηκαν.
- Στο [προτελευταίο κεφάλαιο](#) αναφέρονται μερικές παρατηρήσεις που δημιουργήθηκαν κατά την διεκπεραίωση αυτής της γεωμετρικής τεκμηρίωσης.
- Στο τέλος, υπάρχει η [βιβλιογραφία](#) που αξιοποιήθηκε κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Ο κάθε τρόπος αποτύπωσης μιας ήδη κατασκευασμένης δομής μπορεί αποδεδειγμένα να μας δώσει διαφορετικά αποτελέσματα για μεγάλο εύρος εφαρμογών. Η δημιουργία νέφους σημείων είναι η πρώτη λύση που θα πρέπει να σκέφτεται ο εκάστοτε μηχανικός όταν του προτείνεται μια μελέτη δομής η οποία επιζητά την συλλογή τεράστιου όγκου δεδομένων σε περιορισμένο χρονικό διάστημα, ωστόσο με καλές ακρίβειες και δυνατότητες δημιουργίας σχεδίων και μοντέλων σε ιδιαίτερα μικρές κλίμακες.

Πλέον διαδεδομένες στην τεκμηρίωση γεφυρών και μνημείων είναι οι μελέτες με σκοπό την δημιουργία BIM. Η δημιουργία ενός μοντέλου στις τρεις διαστάσεις σε συγχρονισμό με την πληροφορία που μπορεί να το συνοδεύει αυτό, έχει όνομα και λέγεται Building Information Modeling ή BIM.

Ωρες πολλές και φαιά ουσία έχουν ξοδευτεί, ειδικότερα τα τελευταία χρόνια, για την μελέτη κατασκευών στις τρεις διαστάσεις. Τεράστιο είναι το πλήθος των εργασιών: διπλωματικών, μεταπτυχιακών, σε ιδιωτικά και δημόσια έργα, που έχουν εκπονηθεί και συνεχίζουν να εκπονούνται όσο κρίνονται χρήσιμες επάνω σε αυτές τις μεθόδους ψηφιοποίησης.

Πλήθος μνημείων και λοιπόν μεγάλων κατασκευών αποτυπώνεται και απεικονίζεται με την μέθοδο BIM πλέον. Αυτό βοηθάει στην διαίωνιση της μνήμης αυτών των δομών όπως μνημεία και γέφυρες, αλλά επίσης και στην μελέτη τους για λόγους συντήρησης.

Εν συνεχεία της εργασίας παρουσιάζονται και αναλύονται μερικές μελέτες που έγιναν σε γέφυρες για τους προαναφερθέντες λόγους μαζί με τα αποτελέσματα τους.

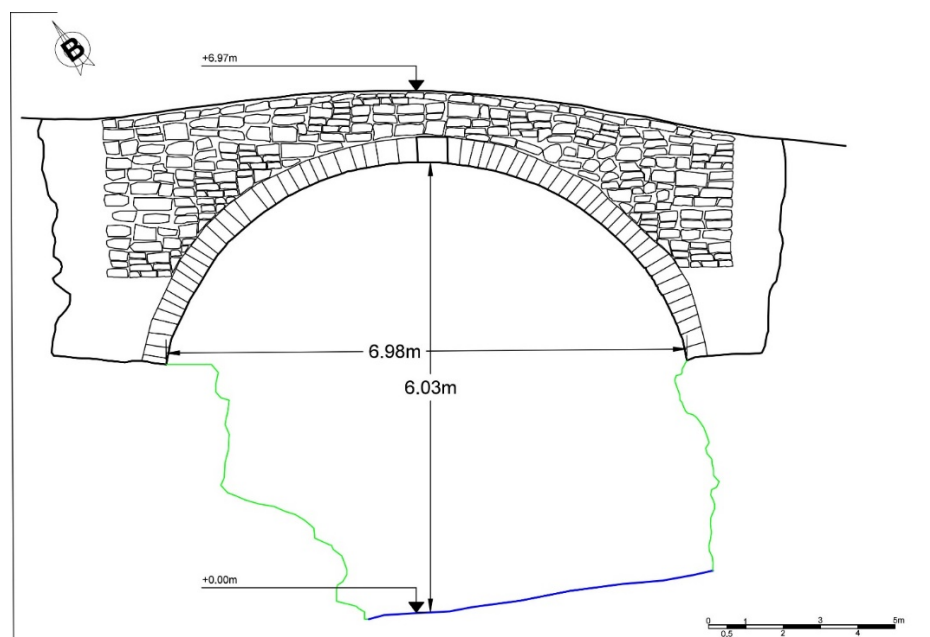
Στην διπλωματική του εργασία, ο κύριος Μπέκος Βασίλειος (Μπέκος Βασίλειος, 2023) του τμήματος Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής του ΠΑ.Δ.Α., το έτος 2023, μελέτησε το πέτρινο γεφύρι της Νονούλως και τον γειτονικό της νερόμυλο που βρίσκονται στο Πωγώνι της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων. Η δουλειές που έγιναν για να ολοκληρωθεί αυτή η μελέτη αντιστοιχούν με τις δικές μας στο γεφύρι του Νίκσιτς του Μαυροβούνιου και για αυτόν τον λόγο αποτελεί και την πρώτη αναφορά στην βιβλιογραφία μας.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η αποτύπωση με την χρήση επίγειου τρισδιάστατου σαρωτή λέιζερ της εταιρείας Leica και το μοντέλο BLK360 για την συλλογή των δεδομένων.



*Εικόνα 1 Νερόμυλος και το Γεφύρι της Νονούλως - Πανοραμική εικόνα
(Μπέκος Βασίλειος, 2023)*

Παρακάτω παρατίθεται σχέδιο το οποίο δημιουργήθηκε από το τρισδιάστατο νέφος σημείων που κατέγραψε φυσικά ο επίγειος σαρωτής που χρησιμοποιήθηκε. Εν συνεχεία φυσικά αναλύθηκε και μελετήθηκε αυτό το νέφος προκειμένου να δημιουργηθούν επιφάνειες, και κατ' επέκταση τομές. Το παρακάτω σχέδιο αποτελεί μια όψη της γέφυρας Νονούλως.



*Εικόνα 2 Γέφυρας Νονούλως, Δολό Πωγωνίου - Κατάντι όψη
(Μπέκος Βασίλειος, 2023)*

Εργασίες αυτού του είδους, αποτελούν περίτρανα παραδείγματα ανάδειξης των δυνατοτήτων της 3D σάρωσης λέιζερ σε συνδυασμό με τις πολυπληθείς γνώσεις και τις ικανότητες ενός αρμόδιου μηχανικού. Οι εικόνες που μπορούν να δημιουργηθούν είναι ρεαλιστικές και οι ακρίβειες των σχεδίων ικανοποιητικές για τις περισσότερες εφαρμογές.

Αντικείμενα μελέτης αποτέλεσαν επίσης δύο γέφυρες που βρίσκονται στο νησί της Άνδρου. Αυτές ήταν το γεφύρι των Διποτάμων και το γεφύρι της Στοιχειωμένης (*Εικόνα 4*). Πρόκειται για μια μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε για λόγους σύνταξης της διπλωματικής εργασίας της κυρίας Καραπαναγιώτη Φωτεινής εν έτει 2022 (Καραπαναγιώτη Φωτεινή, 2022) , του τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.



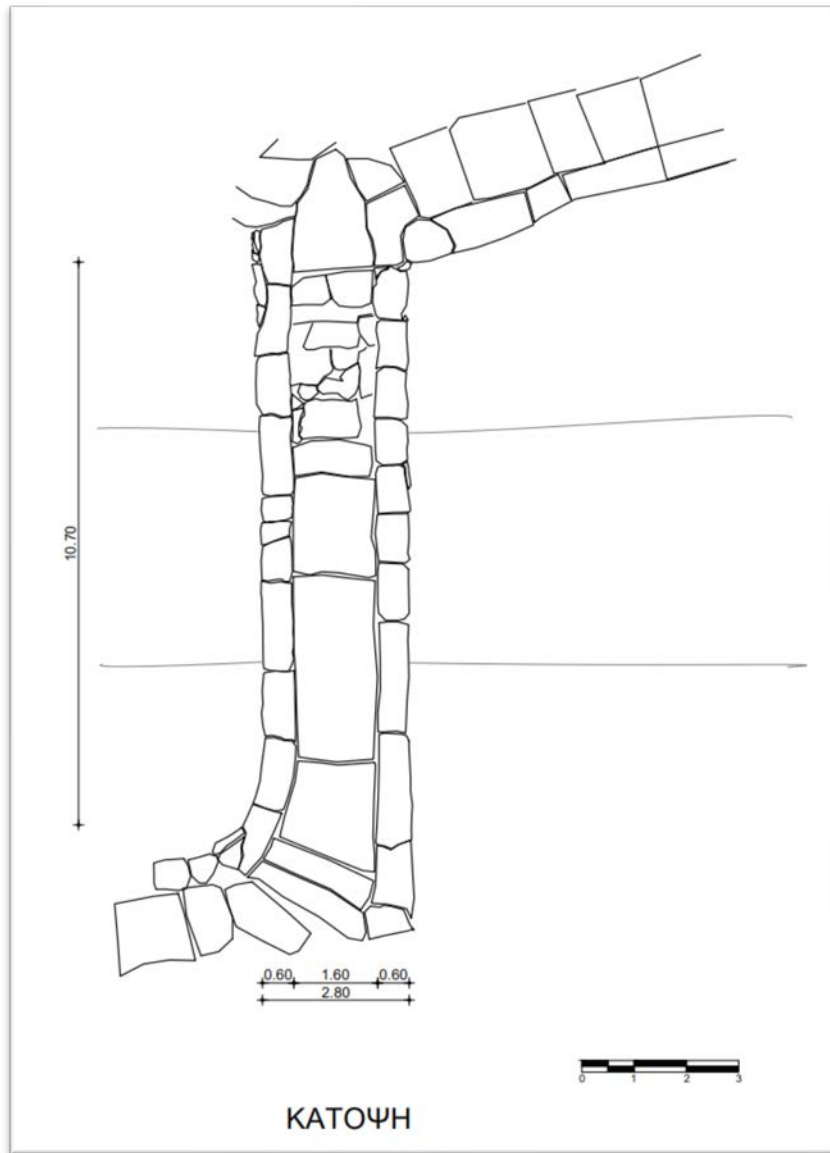
*Εικόνα 3 Γεφύρι Διποτάμων
(Καραπαναγιώτη Φωτεινή, 2022)*



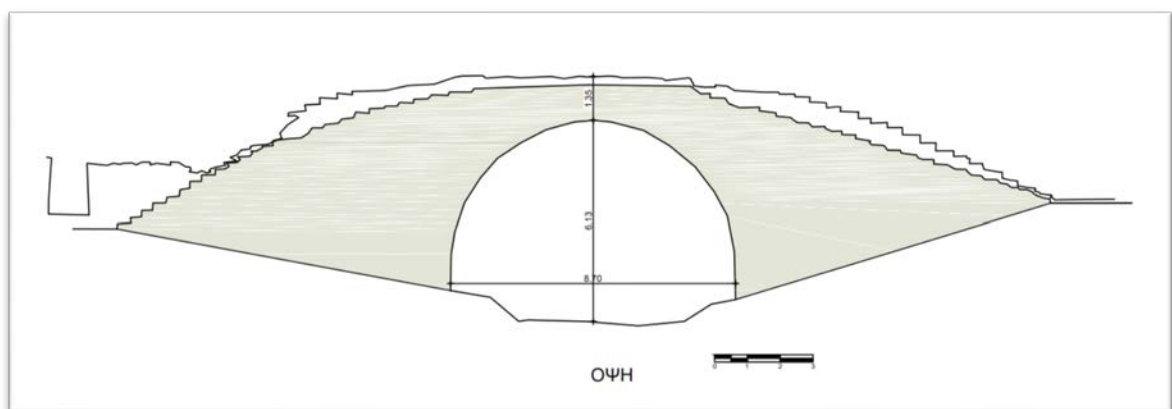
*Εικόνα 4 Γεφύρι Στοιχειωμένης
(Καραπαναγιώτη Φωτεινή, 2022)*

Εν συνεχεία την μελέτης, τα δεδομένα επιλυθήκαν για να καταλήξουμε στο τελικό μοντέλο των ζητούμενων γεφυριών. Από αυτό το μοντέλο μας δίνεται η δυνατότητα να δημιουργήσουμε σχέδια για όλες τις όψεις της ζητούμενης δομής αλλά και τομές σε οποιοδήποτε σημείο επιθυμούμε. Όπως ακριβώς έπραξε και η κυρία Καραπαναγιώτη. Στην συνέχεια παρουσιάζονται φωτογραφίες από το γεφύρι Διποτάμων και το γεφύρι Στοιχειωμένου (*Εικόνα 4*) της νήσου Άνδρου, και ύστερα μερικά παραδείγματα των δημιουργημένων σχεδίων των γεφυριών από τις μελέτες τους.

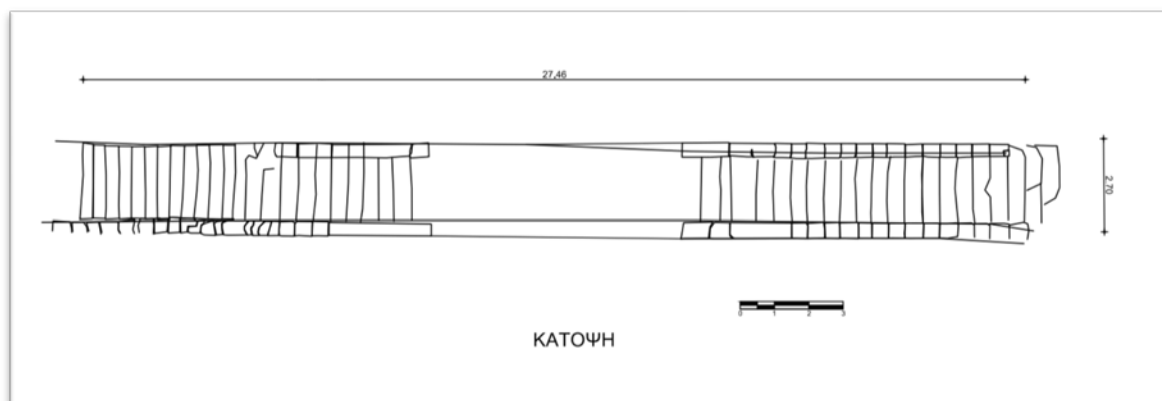
Τα δημιουργημένα σχέδια στην αναφερόμενη διπλωματική εργασία, συμπεριλάμβαναν μια κάτοψη του γεφυριού του Διποτάμου (*Εικόνα 5*), όπως επίσης και μια πλάγια όψη (*Εικόνα 6*) και μια κάτοψη (*Εικόνα 7*) του γεφυριού Στοιχειωμένου τα οποία επισυνάπτονται στις επόμενες σελίδες.



*Εικόνα 5 Γεφύρι Διποτάμου Άνδρος – Κάτοψη
(Καραπαναγιώτη Φωτεινή, 2022)*



*Εικόνα 6 Γεφύρι Στοιχειωμένου Άνδρος - Πλάγια Όψη
(Καραπαναγιώτη Φωτεινή, 2022)*



*Εικόνα 7 Γεφύρι Στοιχειωμένου Άνδρος – Κάτοψη
(Καραπαναγιώτη Φωτεινή, 2022)*

Μια μελέτη, αυτή την φορά με άλλο σκοπό, έγινε στην τοποθεσία που βρίσκονταν η γέφυρα Κοράκου. Πρόκειται για την μεγαλύτερη μονότοξη πέτρινη γέφυρα των Βαλκανίων μέχρι την ανατίναξη της (Τσέλιος Ιούλιος - Χούσος Γεώργιος, 2018) .

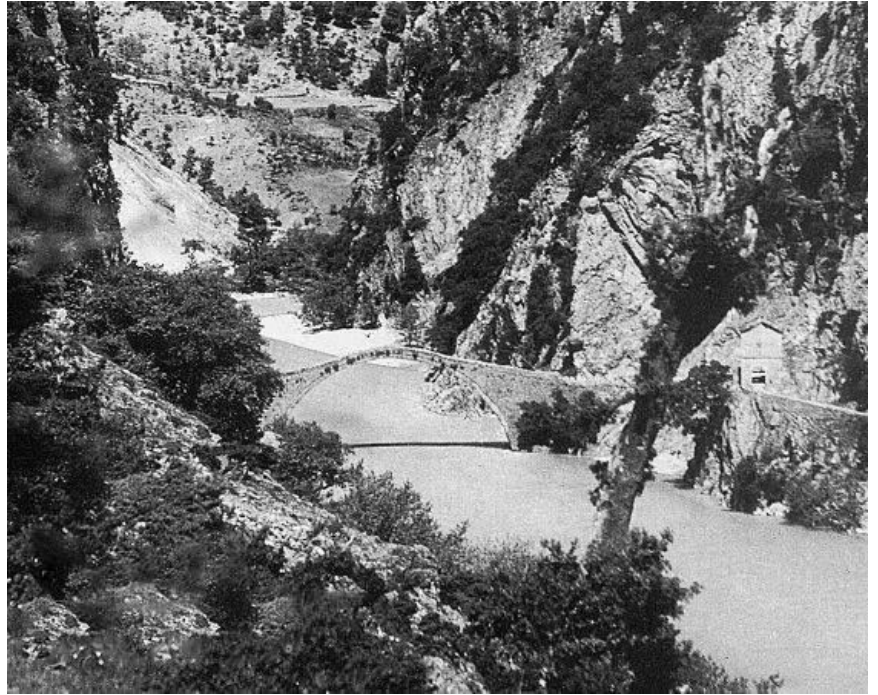
Η συνεργασία του κύριου Χούσου με τον κύριο Τσέλιο για την μεταπτυχιακή τους εργασία, αποτέλεσε μια εκτενής μελέτη τεκμηρίωσης της γέφυρας Κοράκου, ενώ συνάμα συμπεριέλαβαν στην εργασία τους και προτάσεις για την αναστήλωση της γέφυρας ενδιαφέροντος. Οι δύο μεταπτυχιακοί φοιτητές φοιτούσαν στο τμήμα πολιτικών μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.) και στο διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση των Κατασκευών», και από εκεί προκύπτουν και οι λοιπές μελέτες πέραν της αποτύπωσης, οι οποίες δεν αποτελούν μαθήματα του τοπογραφικού προγράμματος σπουδών, και συμπεριλαμβάνονται στο δεύτερο τμήμα της εργασίας τους.

Όσον αφορά το πρώτο μέρος της εργασίας τους όμως, παρατηρούνται κατά την διεκπεραίωση της τεκμηρίωσης, κοινές μέθοδοι με κλασσικές τοπογραφικές μελέτες. Δεν έγινε χρήση 3D επίγειου σαρωτή λέιζερ για την συλλογή πρωτογενή δεδομένων, αλλά χρήση γεωδαιτικού σταθμού για την μέτρηση και καταγραφή όπως επίσης και η χρήση δορυφορικού δέκτη GNSS.

Οι δύο αυτοί φοιτητές, αποτύπωσαν με προσοχή ότι έχει εναπομείνει από τις βάσεις της παλιά γέφυρας στις όχθες του ποταμού. Λειτουργήσαν με προσοχή, έτσι ώστε να αποφύγουν να καταστρέψουν ότι έχει επιζήσει από την ανατίναξη της γέφυρας Κοράκου.

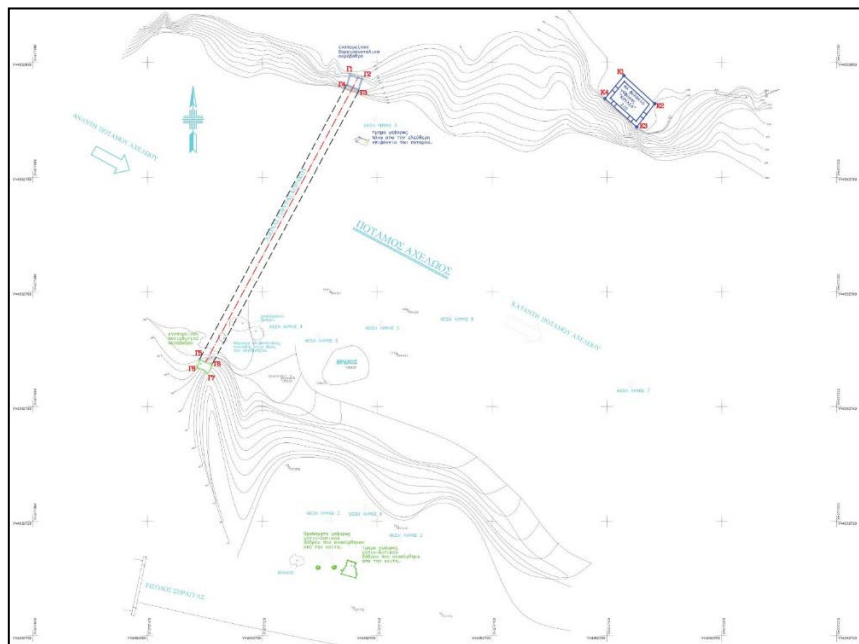


Εικόνα 8 Γέφυρα Κοράκου
(Philippson Alfred, 1893)



Εικόνα 9 Γέφυρα Κοράκου
(Μελετζής Σπύρος, 1937)

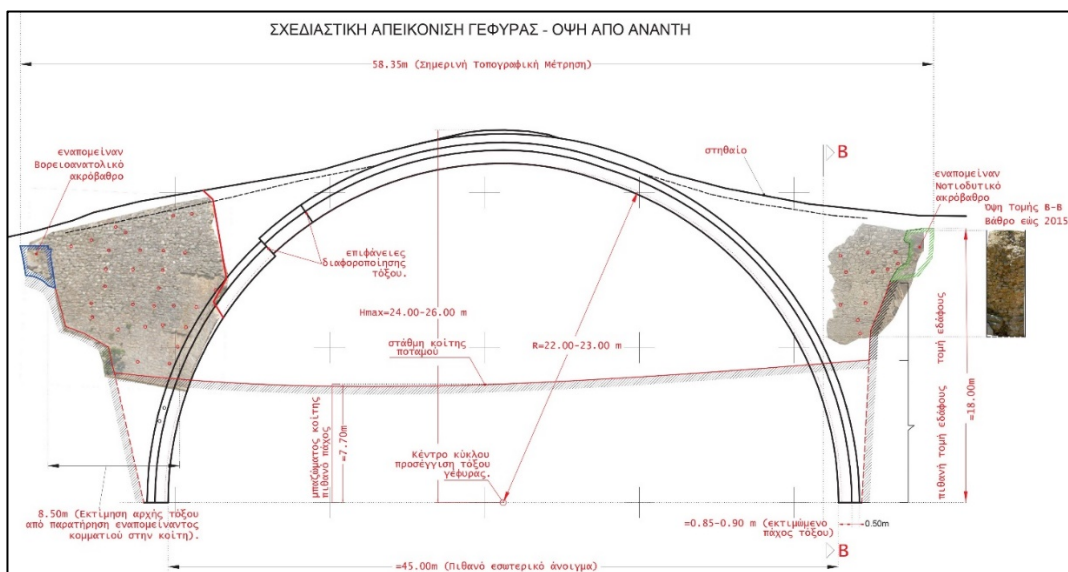
Δημιουργήθηκε τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής (Εικόνα 10), αφού σχεδιάστηκαν τα αποτυπωμένα σημεία επάνω στο οποία διακρίνονται καθαρά τα βάθρα της γέφυρας που επιζούν έως σήμερα. Αυτά τα δύο βάθρα στις όχθες του ποταμού, εφόσον ενωθούν με μια γραμμή, διακεκομμένη στην περίπτωση αυτή, μας αναδεικνύουν προσεγγιστικά την θέση στην οποία ήταν δομημένη η γέφυρα Κοράκου. Αυτή η τοπογραφική αποτύπωση μας δίνει τις συντεταγμένες των άκρων της γέφυρας στις όχθες όπως και τις προσεγγιστικές διαστάσεις της.



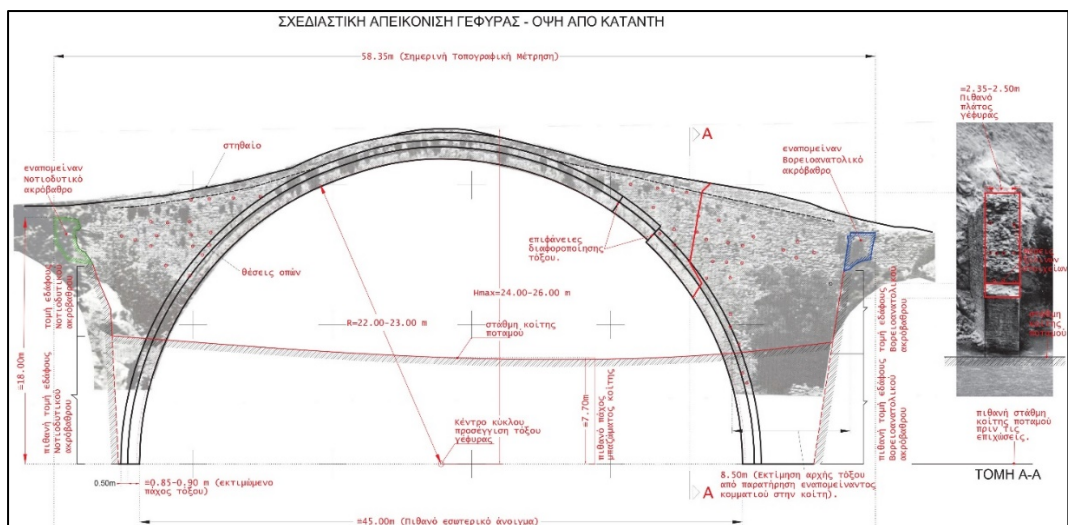
Εικόνα 10 Γέφυρα Κοράκου, Τοπογραφικό Διάγραμμα
(Τσέλιος Ιούλιος - Χούσος Γεώργιος, 2018)

Γνωρίζοντας την πιθανή θέση της γέφυρας Κοράκου, σε συνδυασμό με τις φωτογραφίες όσων σώζονται, οι μελετητές δημιούργησαν εικόνες και σχέδια τα οποία αναπαριστούν το πως ήταν η γέφυρα στις όψεις της, και πως θα στεκόταν σήμερα, συναρτήσει της σημερινής κατάστασης της περιοχής.

Παρακάτω επισυνάπτονται δύο όψεις της γέφυρας Κοράκου, όψη από ανάντη και όψη από κατάντη. Επάνω στις δύο όψεις έχουν γεωαναφερθεί δύο φωτογραφίες, μια της τωρινής κατάστασης του σημείου και μια με ολόκληρη την γέφυρα Κοράκου πριν την ανατίναξη της. Με αυτή την μέθοδο μπορούμε να συγκρίνουμε τις δύο περιπτώσεις εικονικά, ενώ συγχρόνως μην ξεχνάμε πως υπάρχει μετρητική αξία στις δύο όψεις αφού αποτελούν διαγράμματα δημιουργημένα από τοπογραφική μελέτη.



Εικόνα 11 Γέφυρα Κοράκου - Όψη από Ανάντη - Τωρινή Κατάσταση (Τσέλιος Ιούλιος - Χούσος Γεώργιος, 2018)



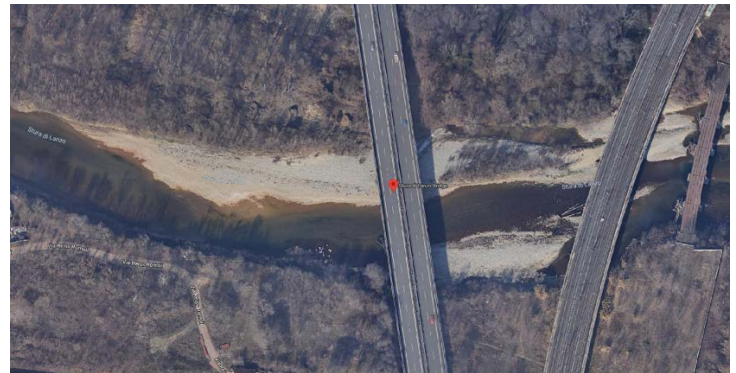
Εικόνα 12 Γέφυρα Κοράκου - Όψη από Κατάντη - Πριν την Ανατίναξη (Τσέλιος Ιούλιος - Χούσος Γεώργιος, 2018)

Για την πραγματοποίηση μιας μελέτης χρειάζονται να γίνουν μερικές εργασίες οι οποίες είναι δυστυχώς αρκετά χρονοβόρες. Μερικές διεργασίες ίσως να καταλήγουν ανιαρές και εύκολες αλλά παραμένουν να ξοδεύουν τον περιορισμένο και πολύτιμο εργασιακό χρόνο κάποιου επιστήμονα.

Αυτό το θέμα επιχείρησε να αναλύσει και να επιλύσει ο μεταπτυχιακός φοιτητής Gianluca Colia (Gianluca Colia, 2021) . Έγγραψε την μεταπτυχιακή του εργασία για το πτυχίο επιπέδου Master στο πανεπιστήμιο του Τορίνου της Ιταλίας το 2021. Αντικείμενο της μελέτης ήταν η Γέφυρα Stura (Εικόνα 13) της πόλης του Τορίνου. Η γέφυρα Stura, πήρε το όνομα της προφανώς από τον ποταμό του οποίου τις δύο όχθες συνδέει οδικώς.



Εικόνα 13 Γέφυρα Stura - Τορίνο Ιταλίας
(Gianluca Colia, 2021)

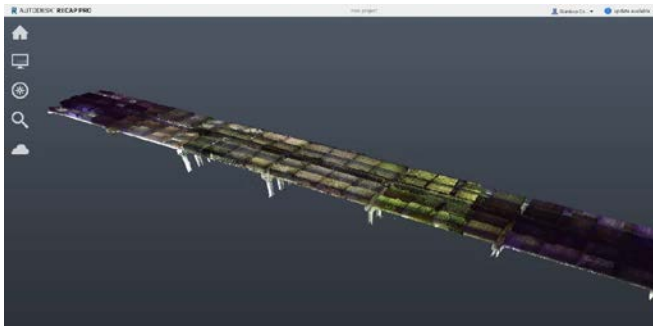


Εικόνα 14 Γέφυρα Stura - Θέση
(Google Maps, 2023)

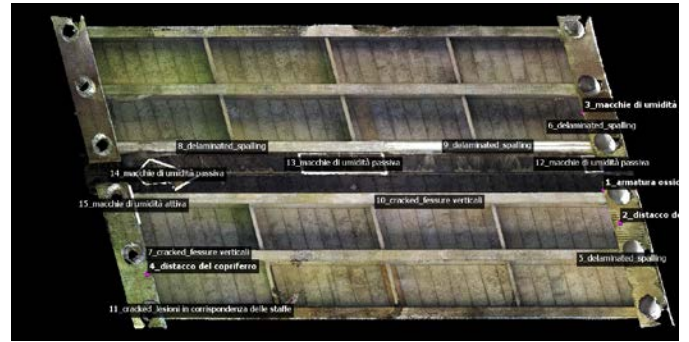
Σκοπός της εργασίας του μηχανικού κ. Gianluca Colia ήταν η αποτύπωση της γέφυρας και η πραγματοποίηση δοκιμών προκειμένου να δημιουργηθεί μια νέα πιο αυτοματοποιημένη ροή εργασιών σε ένα περιβάλλον H-BIM. Απώτερος σκοπός της δημιουργίας αυτού ήταν ο αυτοματοποιημένος εντοπισμός ζημιών μια κατασκευής. Αυτή η παρακολούθηση υφίσταται και ως όρος: Structural Health Monitoring ή S.M.H. εν συντομία.

Για την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου αυτής της εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από δύο διαφορετικά όργανα αποτύπωσης, σαρωτή λέιζερ και Σ.Μη.Ε.Α. (Drone).

Εφόσον αποδείχθηκε πως λειτουργούσε ικανοποιητικά ο αλγόριθμος που συντάχθηκε για την αυτοματοποίηση, ο φοιτητής προχώρησε στην ανάλυση του νέφους της γέφυρας.



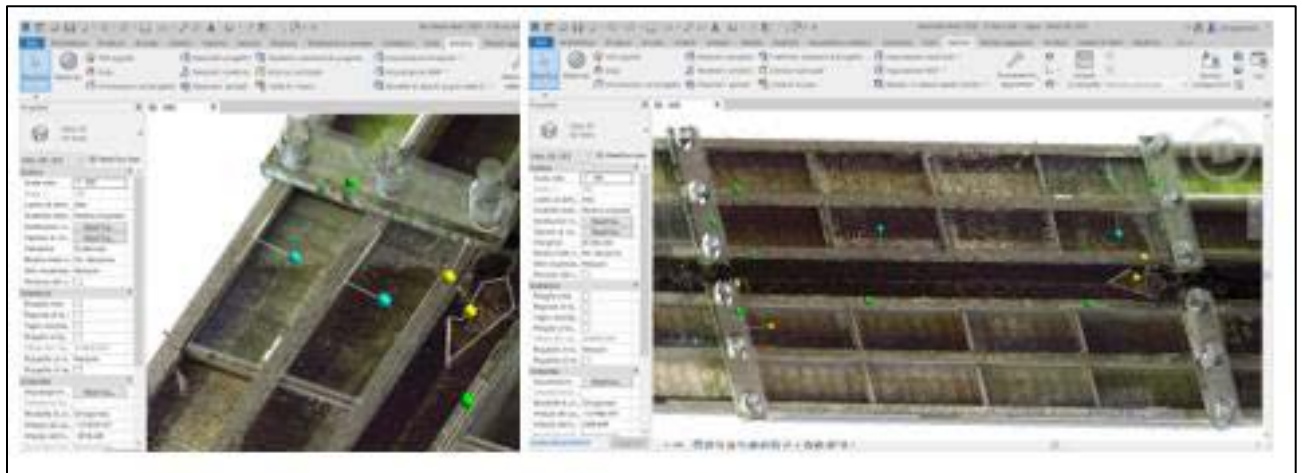
Εικόνα 15 Γέφυρα Stura - Τελικό Νέφος Σημείων από 3Δ Σαρωτή και Drone (Gianluca Colia, 2021)



Εικόνα 16 Γέφυρα Stura - Αυτόματος Εντοπισμός Ελαττωματικών Σημείων Γέφυρας 1 (Gianluca Colia, 2021)

Αυτή η μέθοδος που εξελίχθηκε μπορεί να βοηθήσει στην οικονομία χρόνου μιας μελέτης και να κατευθύνει έναν μηχανικό που θα αναλάβει την συντήρηση της γέφυρας αυτής, να κινηθεί με ταχύτητα στα σημεία που φαίνεται πως χρήζουν επισκευής επειγόντως ή πρόκειται να χρειαστούν στο σύντομο μέλλον.

Στην προκειμένη περίπτωση δεν υπήρξε σαν τελικό προϊόν κάποιο σχέδιο όψης της γέφυρας όπως στις προηγούμενες αποτυπώσεις, παρόλα αυτά παραμένει μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα μελέτη.



Εικόνα 17 Γέφυρα Stura - Αυτόματος Εντοπισμός Ελαττωματικών Σημείων Γέφυρας 2 (Gianluca Colia, 2021)

Το Building Information Modeling (BIM) έχει φέρει επανάσταση στον κλάδο της αρχιτεκτονικής, της μηχανικής και των κατασκευών, εισάγοντας μια συλλογική και βασισμένη σε δεδομένα προσέγγιση για το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία κτιρίων και υποδομών. Το Building Information Modeling ή B.I.M., είναι μια μέθοδος διαχείρισης πληροφοριών κατασκευαστικών έργων που βασίζεται στην επακόλουθη χρήση ψηφιακών μοντέλων σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής μιας κατασκευής (Borrmann και συν., 2018) .

Ένα από τα βασικά οφέλη του BIM είναι η ικανότητά του να βελτιώνει την επικοινωνία και τη συνεργασία μεταξύ όλων των ομάδων του έργου. Με το BIM, αρχιτέκτονες, μηχανικοί,

εργολάβοι και άλλοι απασχολούμενοι μηχανικοί μπορούν να συνεργαστούν σε ένα σύγχρονο περιβάλλον, μοιράζοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και λαμβάνοντας τεκμηριωμένες αποφάσεις. Αυτή η συλλογική προσέγγιση ελαχιστοποιεί τα λάθη, μειώνει την επανάληψη μελετών και βελτιώνει τη συνολική απόδοση του έργου. Μη ξεχνάμε πως μηχανικοί μπορούν να μελετάνε το κάθε τους έργο συγχρονισμένα και ακόμη και εξ αποστάσεως, παρόλο που δεν συνιστάται.

Μια βάση δεδομένων του BIM μπορεί να συμβάλλει δραματικά επίσης στα βελτιωμένα αποτελέσματα του έργου. Δημιουργώντας ένα ολοκληρωμένο ψηφιακό μοντέλο που περιλαμβάνει την γεωμετρία, τα υλικά, το κόστος, χρονοδιαγράμματα και άλλα χαρακτηριστικά, οι ομάδες έργου αποκτούν μια βαθύτερη κατανόηση της πολυπλοκότητας του έργου. Αυτή η διαδικασία λήψης αποφάσεων με γνώμονα τις πληροφορίες οδηγεί σε βελτιστοποιημένους σχεδιασμούς, καλύτερη κατανομή πόρων και ακριβέστερες εκτιμήσεις κόστους, καταλήγοντας τελικά σε πιο οικονομικά και βιώσιμα έργα. Με ένα εργαλείο όπως ένα μοντέλο BIM, ένα βασικό θέμα είναι ότι τα δεδομένα δεν είναι μόνο προβλέψιμα αλλά και σωστά και αντιστοιχούν στις σχεδιαστικές επιλογές που έγιναν (Guzzetti και συν., 2020) .

Επιπλέον, το BIM παίζει αρκετά κρίσιμο ρόλο στη βελτίωση της οπτικοποίησης του έργου και της επικοινωνίας με τους πελάτες και τους τελικούς χρήστες. Μέσω τρισδιάστατων μοντέλων, αποδόσεων και προσομοιώσεων εικονικής πραγματικότητας, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να βιώσουν μια ρεαλιστική αναπαράσταση του μελλοντικού έργου, επιτρέποντάς τους να παρέχουν πολύτιμη ανατροφοδότηση και να κάνουν ενημερωμένες επιλογές νωρίς στη φάση του σχεδιασμού. Αυτό το επίπεδο δέσμευσης ενθαρρύνει τη βαθύτερη κατανόηση του οράματος του έργου και αυξάνει την ικανοποίηση των ενδιαφερομένων.

Επίσης, τα οφέλη της BIM εκτείνονται πέρα από τη φάση κατασκευής. Κατά τη διάρκεια των σταδίων λειτουργίας και συντήρησης, τα μοντέλα BIM μπορούν να χρησιμεύσουν ως πολύτιμο εργαλείο για τη διαχείριση εγκαταστάσεων. Ενσωματώνοντας πληροφορίες περιουσιακών στοιχείων και χρονοδιαγράμματα συντήρησης, οι διαχειριστές εγκαταστάσεων μπορούν να βελτιστοποιήσουν την απόδοση, να μειώσουν το χρόνο διακοπής λειτουργίας και να σχεδιάσουν αποτελεσματικά τη συντήρηση και τους κύκλους ζωής τους.

Το Heritage - Building Information Modeling γνωστό και ως H-BIM, είναι μια πιο εξειδικευμένη μορφή του Building Information Modeling (B.I.M.) που εστιάζει στη τεκμηρίωση και συντήρηση ιστορικών κατασκευών και τοποθεσιών πολιτιστικής κληρονομιάς. Σε αντίθεση με το τυπικό BIM, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για νέα έργα σε μεγάλες κατασκευές, το H-BIM έχει στόχο να αποτυπώσει τις περίπλοκες λεπτομέρειες και την ιστορική σημασία των υπαρχόντων κτιρίων και μνημείων. Δημιουργώντας ένα ψηφιακό αντίγραφο της κληρονομιάς. Επιπλέον επιτρέπει σε βάθος ανάλυση, τεκμηρίωση και εικονική αποκατάσταση, διασφαλίζοντας τη

διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς για τις μελλοντικές γενιές.



*Εικόνα 18 Όρος Rushmore - Συνδυασμός Φωτογραφίας με Σαρωμένο Νέφος Σημείων
(sciencefriday.com)*

Το H-BIM χρησιμοποιεί προηγμένες τεχνολογίες, όπως η τρισδιάστατη σάρωση με λέιζερ και η φωτογραμμετρία για τη λήψη εξαιρετικά ακριβών και λεπτομερών δεδομένων ιστορικών κατασκευών. Αυτά τα δεδομένα χρησιμεύουν ως βάση για το ψηφιακό μοντέλο, το οποίο ενσωματώνει πληροφορίες σχετικά με τον αρχικό σχεδιασμό του κτιρίου, τα υλικά, τα δομικά στοιχεία και τις ιστορικές αλλαγές. Με αυτό το ολοκληρωμένο μοντέλο, οι συντηρητές, οι αρχιτέκτονες και οι ιστορικοί μπορούν να διεξάγουν εικονικούς ελέγχους, να εντοπίσουν δομικά ελαττώματα και να προσομοιώσουν τον αντίκτυπο των προσπαθειών αποκατάστασης πριν πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε φυσική επέμβαση. Το H-BIM αποτελεί ένα ανεκτίμητο εργαλείο στον τομέα της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς, επιτρέποντας τη διαφύλαξη της αρχιτεκτονικής μας κληρονομιάς με σεβασμό στην ιστορική της αυθεντικότητα.

Επιπλέον, το H-BIM διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στη διάδοση της γνώσης για τις ιστορικές κατασκευές. Δημιουργώντας ακριβείς απεικονίσεις, τα μοντέλα H-BIM επιτρέπουν στο κοινό να εξερευνήσει και να εκτιμήσει την αρχιτεκτονική κληρονομιά σε νέα επίπεδα. Μέσω εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να βιώσουν ψηφιακά τους ιστορικούς χώρους, αποκτώντας έτσι γνώσεις για την ιστορία, τη σημασία και το πολιτιστικό πλαίσιο ενός μνημείου. Αυτή η άμεση επαφή δημιουργεί μια δέσμευση η οποία ενθαρρύνει τη περαιτέρω εκτίμηση για την πολιτιστική κληρονομιά, ενθαρρύνοντας την προστασία και την υποστήριξή της από τις εκάστοτε κοινότητες και τις αρχές. Με αυτόν τον τρόπο, το H-BIM όχι μόνο συμβάλλει στη

διατήρηση του παρελθόντος αλλά και εμπλουτίζει την παρούσα και μελλοντική εκτίμηση της κοινής μας κληρονομιάς.

3. Γεωμετρική Τεκμηρίωση Πολιτιστικής Κληρονομιάς

Ο όρος τεκμηρίωση προέρχεται από το ρήμα τεκμηριώνω, που σημαίνει παρέχω τεκμήρια, δηλαδή αποδείξεις, ντοκουμέντα (*Βικιλεξικό*, el.wiktionary.org). Ένα τεκμήριο συνεπώς, μπορεί να είναι ένας καλός τρόπος να υποστηρίξει κάποιος την θέση του ή έναν πιθανό ισχυρισμό του. Πρόκειται για λέξεις με βαρύτητα που χρησιμοποιούνται πάντα με σκοπό στην επιχειρηματολογία.

Στην περίπτωση μας, σε μια μελέτη τοπογράφου μηχανικού, ο όρος τεκμηρίωση συνεπάγεται με μέτρηση, καταγραφή, αποτύπωση και απεικόνιση της υφιστάμενης κατάστασης μια περιοχής και ονομάζεται γεωμετρική τεκμηρίωση. Ωστόσο σπάνια θα χρησιμοποιηθεί η λέξη τεκμηρίωση για μια κλασσική τοπογραφική μελέτη, αλλά πάντα θα αναφέρεται όταν πρόκειται για την μελέτη ενός μνημείου ή μιας μεγάλης κατασκευής όπως μια γέφυρα. Τα τελευταία χρόνια, η ψηφιοποίηση ιστορικών δομών που σχετίζονται με την αρχιτεκτονική κληρονομιά και η ανάπτυξη μεθοδολογιών που εφαρμόζονται στα πολιτιστικά αγαθά γίνεται όλο και πιο σημαντική.

Η γεωμετρική τεκμηρίωση αποτελεί θεμέλιο στη σφαίρα της συντήρησης, σχεδιασμού και αποκατάστασης μνημείων και κατασκευών. Εξάλλου, το πρώτο βήμα στη διαδικασία αποκατάστασης ενός μνημείου είναι μια ακριβής γεωμετρική τεκμηρίωση (*Υπηρεσία Συντήρησης Μνημείων Ακρόπολης*, www.ysma.gr). Με βάση τη σχολαστική μέτρηση, την ακριβή συλλογή δεδομένων και τα προηγμένα τεχνολογικά εργαλεία, αυτή η πρακτική αποκαλύπτει τα περίπλοκα στρώματα της γεωμετρίας μιας δομής, διευκολύνοντας τη βαθύτερη κατανόηση της μορφής, των λεπτομερειών και της ιστορικής σημασίας της. Χρησιμοποιώντας μια σειρά μεθοδολογιών, από παραδοσιακές τεχνικές τοπογραφίας έως σάρωση λέιζερ και φωτογραμμετρία, η γεωμετρική τεκμηρίωση επιτρέπει σε μηχανικούς, ιστορικούς και συντηρητές να κατανοήσουν την αξία των χαρακτηριστικών ενός μνημείου.

Στο επίκεντρο της γεωμετρικής τεκμηρίωσης βρίσκεται η λέξη ακρίβεια. Η σχολαστική μέτρηση των διαστάσεων, των γωνιών και όλων των σημείων λεπτομέρειας, έχει ως αποτέλεσμα μια ολοκληρωμένη αναπαράσταση της εξωτερικής και εσωτερικής γεωμετρίας ενός μνημείου. Αυτά τα δεδομένα, που συχνά παρουσιάζονται με τη μορφή λεπτομερών αρχιτεκτονικών σχεδίων, ψηφιακών μοντέλων ή νεφών σημείων, αποκαλύπτουν την πολυπλοκότητα των ιστορικών αριστουργημάτων και των παραδοσιακών δομών. Η γεωμετρική τεκμηρίωση αποτελεί τη ραχοκοκαλιά της αρχιτεκτονικής συντήρησης, διευκολύνοντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων κατά τη διάρκεια των έργων αποκατάστασης. Συγκρίνοντας την τεκμηριωμένη γεωμετρία με ιστορικά αρχεία και ιστορικές εικόνες, οι συντηρητές αποκτούν πρόσβαση σε πληροφορίες για τυχόν αλλαγές, όπως καταστροφές, διασφαλίζοντας ότι διατηρείται, και δεν χάνεται η ουσία του αρχικού σχεδίου.

Πέρα από τη συντήρηση, η γεωμετρική τεκμηρίωση είναι ένα απαραίτητο εργαλείο στον σύγχρονο σχεδιασμό και την κατασκευή. Δημιουργώντας ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα υφιστάμενων κατασκευών, οι μηχανικοί μπορούν να συνδυάσουν παλιές και νέες πληροφορίες, παράγοντας σχέδια που σέβονται το ιστορικό πλαίσιο και τον περιβάλλον χώρο, χωρίς να υστερούν στη σύγχρονη λειτουργικότητα. Επιπλέον, η γεωμετρική τεκμηρίωση παίζει κεντρικό ρόλο στην έρευνα και την εκπαίδευση, δίνοντας τη δυνατότητα σε μελετητές και φοιτητές, όπως στην περίπτωση μας και σε αυτές που έγινε αναφορά στην βιβλιογραφική ανασκόπηση, να εξερευνήσουν την ιστορική κληρονομιά διαφορετικών περιόδων και πολιτισμών, βοηθώντας στην κατανόηση της ιστορίας του τόπου.

Οι γέφυρες, ως αρχιτεκτονικά θαύματα που δημιουργήθηκαν πάνω σε φυσικά εμπόδια όπως ποτάμια και συνδέουν κοινότητες, συνδυάζουν μηχανική, εφευρετικότητα και αισθητική. Η γεωμετρική τεκμηρίωση, όταν εφαρμόζεται σε γέφυρες, αναλαμβάνει μεγάλης σημασίας ρόλο στην διατήρηση της δομικής ακεραιότητας, του ιστορικού πλαισίου και της πολυπλοκότητας τους. Από τις αρχαίες πέτρινες καμάρες έως τα σύγχρονα χαλύβδινα ανοίγματα, η γεωμετρική τεκμηρίωση προσφέρει πληροφορίες για τις μεθόδους κατασκευής τους, τις φέρουσες ιδιότητες τους, τον χαρακτήρα τους και τον ρόλο τους στην ιστορία.

Οι γέφυρες συχνά παρουσιάζουν περίπλοκες γεωμετρίες που είναι κρίσιμες για τη λειτουργικότητα και την ασφάλειά τους. Η γεωμετρική τεκμηρίωση χρησιμεύει ως ζωτικό εργαλείο για την κατανόηση αυτών των πολύπλοκων γεωμετριών, επιτρέποντας στους μηχανικούς, τους αρχιτέκτονες και τους συντηρητές να αναλύσουν και να αξιολογήσουν την παρούσα κατάσταση της γέφυρας αλλά και να συγκρίνουν εφόσον η αποτύπωση έχει επαναληφθεί στο παρελθόν και υπάρχει ικανοποιητικό αρχείο. Χρησιμοποιώντας νέες τεχνολογίες, η γεωμετρική τεκμηρίωση καταγράφει ακριβείς μετρήσεις και παράγει λεπτομερή ψηφιακά μοντέλα που μπορούν να απεικονίσουν τη μορφή και τις ιδιότητες της γέφυρας. Αυτά τα δεδομένα αποτελούν τη βάση για τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων κατά τις προσπάθειες συντήρησης, επισκευής και αποκατάστασης, διασφαλίζοντας ότι η δομική κομψότητα της γέφυρας παραμένει ανέπαφη.

Η σημασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης εκτείνεται πέρα από τεχνικά ζητήματα. Προσφέρει μια ματιά στην εξέλιξη του σχεδιασμού και της μηχανικής γεφυρών, παρακολουθώντας την εξέλιξη από τις αρχαίες κατασκευές τοιχοποιίας έως τα σύγχρονα μηχανικά θαύματα. Η γεωμετρική τεκμηρίωση των γεφυρών διατηρεί την κληρονομιά των επιτευγμάτων της μηχανικής, συντηρώντας με ευλάβεια την σχέση μεταξύ της ανθρώπινης καινοτομίας και του φυσικού περιβάλλοντος. Καθώς οι γέφυρες συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται ως βασικοί δίοδοι και εμβληματικές κατασκευές σαν ορόσημα, η γεωμετρική τεκμηρίωση προστατεύει την ιστορική και λειτουργική τους αξία, επιτρέποντας στις μελλοντικές γενιές να εκτιμήσουν και να μάθουν από αυτά,

μελετώντας τα δομικά θαύματα.

Στην ουσία, η γεωμετρική τεκμηρίωση χρησιμεύει ως φύλακας της κληρονομιάς της γέφυρας, συντηρώντας τις περίπλοκες γεωμετρίες που στηρίζουν αυτές τις βασικές δομές. Μέσω σχολαστικών μετρήσεων και προηγμένων τεχνολογιών, όχι μόνο βοηθά στη διατήρηση γεφυρών, αλλά επίσης εμπλουτίζει την κατανόησή μας για την ιστορία της μηχανικής και συμβάλλει στη συνέχεια των δικτύων μεταφορών. Η γεωμετρική τεκμηρίωση διασφαλίζει ότι η δομική κομψότητα και η μηχανική λαμπρότητα των γεφυρών διαρκούν, λειτουργώντας ως ζωντανές αποδείξεις για τα ανθρώπινα επιτεύγματα και τη λειτουργικότητά τους στο πέρασμα του χρόνου.

Η τοπομετρική μέθοδος τεκμηρίωσης είναι τρόπος να αποκτήσεις μια προσεγγιστική εικόνα για την δομή που καλείσαι να μελετήσεις. Τα εργαλεία που συμπεριλαμβάνει αυτή η μέθοδος είναι τα κλασσικά που υπάρχουν για πολλά χρόνια πλέον και γνωρίζουμε όλοι, κουβαλάμε και χρησιμοποιούμε, με την χαμηλή ακρίβεια τους πάντα υπόψιν. Εργαλεία όπως μετροταινίες, αλφαδολάστιχο και μεταλλική ταινία μπορούν μερικές φορές να φανούν χρήσιμα ως συμπληρωματικά των υπόλοιπων μεθόδων. Ακόμη και πιο σύγχρονα όργανα μετρήσεων όπως το ψηφιακό αποστασιόμετρο, όπου συνήθως θα δούμε να χρησιμοποιούν πολιτικοί μηχανικοί και αρχιτέκτονες, επιφέρουν χαμηλή ακρίβεια μετρήσεων αλλά έχουν την δυνατότητα να σώσουν χρόνο από την συνολική διαδικασία αποτύπωσης.

Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι περιπτώσεις τυφλών σημείων που μπορούν να μετρηθούν με έναν ψηφιακό αποστασιόμετρο ή ακόμη και με μια μετροταινία, προκειμένου οι μηχανικοί να αποφύγουν την ίδρυση μιας νέας στάσης εξοικονομώντας χρόνο χωρίς να θυσιάσουμε ακρίβεια.



Εικόνα 19 Όργανα Τοπομετρικής Μεθόδου
(www.woniel.com)



*Εικόνα 20 Γεωμετρική Τεκμηρίωση Γέφυρας με Επίγειο Σαρωτή Λείζερ (Laser Scanner)
(geourbgroup.com, 2018)*

Ο γεωδαιτικός σταθμός (Εικόνα 22) είναι ένα σύγχρονο τοπογραφικό όργανο που χρησιμοποιείται για ακριβείς μετρήσεις και για την συλλογή πρωτογενή δεδομένων σε τομείς όπως η τοπογραφία.. Συνδυάζει έναν ψηφιακό θεοδόλιχο, ο οποίος μετρά οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες, με έναν ηλεκτρονικό μετρητή απόστασης (Electronic Distance Measurement ή EDM) για τη μέτρηση αποστάσεων.

Ένας γεωδαιτικός σταθμός λειτουργεί εκπέμποντας μια υπέρυθη ακτίνα λέιζερ προς έναν στόχο. Η δέσμη ανακλάται από τον στόχο και επιστρέφει στο όργανο. Μετρώντας το χρόνο που χρειάζεται για να ταξιδέψει η δέσμη, ο γεωδαιτικός σταθμός υπολογίζει την απόσταση βάσει της ταχύτητας του φωτός.

Το μέρος του γεωδαιτικού σταθμού που αντικατέστησε τον θεοδόλιχο (Εικόνα 21), μετρά τόσο οριζόντιες όσο και κατακόρυφες γωνίες. Αισθητήρες παρακολουθούν την περιστροφή του τηλεσκοπίου επάνω στον οριζόντιο και τον κατακόρυφο κύκλο, παρέχοντας ακριβείς γωνιακές μετρήσεις της θέσης του στόχου.



Εικόνα 21 Η Βασίλισσα Ελισάβετ Β' του Ηνωμένου Βασιλείου κοιτάει μέσα από το τηλεσκόπιο θεολόδιχου μάρκας WILD (dailymail.co.uk, 1998)

Ο γεωδαιτικός σταθμός επεξεργάζεται μετρήσεις, απόστασης και γωνίες για να υπολογίσει τις ακριβείς συντεταγμένες του σημείου του στόχου στον τρισδιάστατο χώρο. Η τριγωνομετρία και οι μαθηματικοί αλγόριθμοι καθορίζουν τις συντεταγμένες X, Y και Z σε σχέση με ένα γνωστό σημείο εκκίνησης που θεωρούμαι ως το μηδέν, την αρχή των αξόνων. Πολλοί γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν ενσωματωμένες οθόνες που δείχνουν μετρήσεις και υπολογισμένες συντεταγμένες κατευθείαν. Πλέον όλοι οι σταθμοί έχουν κι από μια οθόνη αφής. Τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν εσωτερικά ή και να μεταφερθούν σε υπολογιστή για περαιτέρω ανάλυση τους.

Οι γεωδαιτικοί σταθμοί συνήθως απαιτούν έναν ανακλαστήρα για να αναπηδήσει τη δέσμη λέιζερ προς τα πίσω. Αυτόν τον ρόλο παίζει το κάτοπτρο που κουβαλάει και τοποθετεί ο στοχοφόρος στο σημείο ενδιαφέροντος. Οι ανακλαστήρες σε αντικείμενα όπως οι γωνίες κτιρίων επιτρέπουν ακριβείς μετρήσεις απόστασης και γωνίας. Ορισμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί υποστηρίζουν μετρήσεις "no prism", δηλαδή χωρίς ανακλαστήρα, αν και φυσικά υπάρχουν περιορισμοί..

Τα total station προσφέρουν υψηλή ακρίβεια, απόδοση και δυνατότητες εργασίας στις περισσότερες συνθήκες. Απαιτούνται ωστόσο ειδικευμένοι και έμπειροι χειριστές για την εξασφάλιση αποτελεσμάτων ακριβείας, καθώς οι γεωδαιτικοί σταθμοί απαιτούν κατανόηση των βασικών αρχών τοπογραφίας, γεωδαισίας και ευχέρεια με την τεχνολογία και το περιβάλλον εργασίας τους, γνωστό και ως User Interface (UI).



*Εικόνα 22 Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station) της Εταιρείας Nikon
(Προσωπικό αρχείο, 2021)*

Στον τομέα της τοπογραφίας, πρωταρχικό ρόλο παίζει η συλλογή των γεωχωρικών δεδομένων. Η συνεργασία των σύγχρονων τεχνολογιών έχει φέρει μια νέα εποχή ακρίβειας και αποτελεσματικότητας. Τα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών, (Σ.Μη.Ε.α ή UAV), κοινώς γνωστά και ως drones, έχουν αναδειχθεί ως ισχυρά εργαλεία, ειδικά όταν συνδυάζονται με την επιστήμη της φωτογραμμετρίας. Αυτή η συνεργασία, όχι μόνο φέρνει επανάσταση στις μεθόδους συλλογής δεδομένων, αλλά επίσης ενισχύει την ικανότητά μας να κατανοούμε και να αναλύουμε περίπλοκα χωρικά περιβάλλοντα.

Η φωτογραμμετρία, ως επιστημονικός κλάδος, αξιοποιεί τις αρχές της απεικόνισης και των μαθηματικών για την ανακατασκευή κάθε τρισδιάστατης δομής των αντικειμένων και των τοπίων που εμφανίζουν κάποιο ενδιαφέρον ή έχουν λόγο ζωτικής σημασίας να μελετηθούν. Η φωτογραμμετρία είναι τέχνη και επιστήμη. Η λέξη τέχνη αναφέρεται στην αναγκαιότητα λήψης φωτογραφιών υψηλής ευκρίνειας και ποιότητας ενώ η λέξη επιστήμη αναφέρεται στους φυσικούς

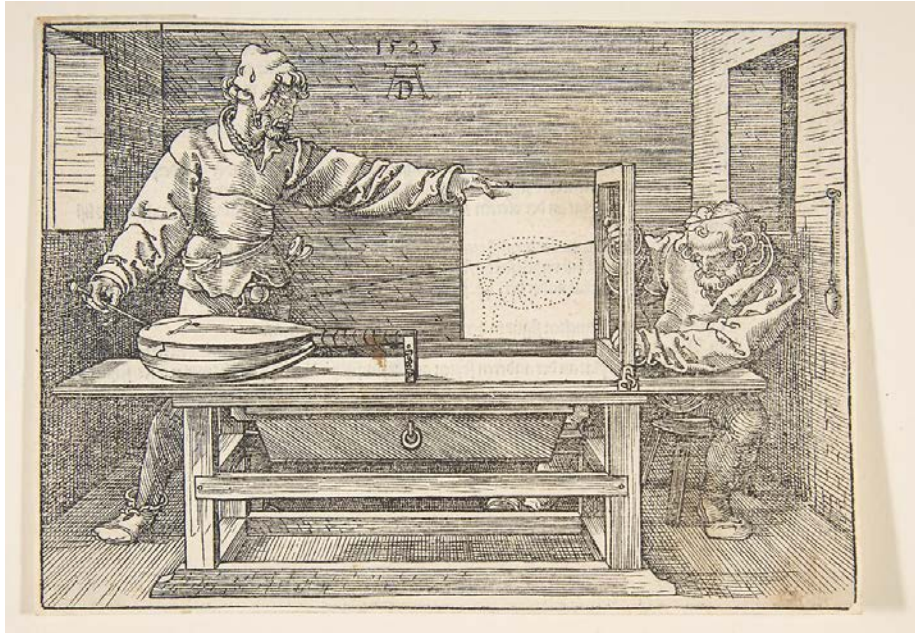
νόμους που διέπουν την πορεία των ακτινών στον χώρο και μέσα από τους φακούς των μηχανικών καθώς και στην γεωμετρία και στα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται, ώστε να υπολογιστεί η ακριβής θέση των σημείων στον χώρο (Σκαρλάτος Δημήτρης – Τοκμανίδης Κωνσταντίνος, 2015).

Με την ανάλυση πολλαπλών επικαλυπτόμενων εικόνων που λαμβάνονται από διαφορετικές γωνίες και ύψη ή αποστάσεις λήψης, μπορούν να εξαχθούν ακριβείς μετρήσεις αποστάσεων, επιφανειών και όγκων. Τα drones, εξοπλισμένα με κάμερες υψηλής ανάλυσης πλέον και δυνατότητες δορυφορικού δέκτη GNSS, ανυψώνουν τις φωτογραμμετρικές διαδικασίες σε νέα ύψη. Αυτές οι εναέριες φωτογραφικές μηχανές καταγράφουν πλήθος εικόνων κατά τη διάρκεια της πτήσης, καλύπτοντας τεράστιες περιοχές με αξιοσημείωτη λεπτομέρεια. Οι εικόνες, όταν υποβάλλονται σε φωτογραμμετρικούς αλγόριθμους, μετατρέπονται σε ακριβή και περίπλοκα τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους (DEM), των δομών και των αντικειμένων ενδιαφέροντος που υφίστανται επάνω στην επιφάνεια της γης.

Η συνεργασία μεταξύ drones και φωτογραμμετρίας διευρύνει τους ορίζοντες της χρήσης γεωχωρικών δεδομένων σε διάφορους τομείς. Η παρακολούθηση και αξιολόγηση του περιβάλλοντος, ο πολεοδομικός σχεδιασμός, η γεωργία και η διαχείριση καταστροφών είναι μεταξύ των πολλαπλών εφαρμογών που επωφελούνται από αυτή τη συνεργασία. Τα drones εξοπλισμένα με εξειδικευμένους αισθητήρες, και όχι μόνο φωτογραφικές κάμερες του ορατού φάσματος του ανθρώπινου ματιού, μπορούν να συλλέξουν υπέρογκα δεδομένα διαφόρων μορφών, όπως πολυφασματικές και θερμικές εικόνες και να διευκολύνουν την ανάλυση της υγείας της βλάστησης, να υπολογίσουν δείκτες βλάστησης, μελέτη των ιδιοτήτων του εδάφους και της κατανομής της θερμότητας σε αυτό. Αυτές οι γνώσεις δίνουν τη δυνατότητα στους αρμόδιους μηχανικούς για την λήψη αποφάσεων για την βιώσιμη διαχείριση πόρων και αντιμετώπιση καταστροφών.

Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα της συνεργασίας drones – φωτογραμμετρίας είναι η δυνατότητά της να πετύχει εξαιρετικές ακρίβειες. Η ενσωμάτωση του Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης, γνωστό και ως Global Navigation Satellite System (GNSS), διασφαλίζει την ακριβή τοποθέτηση των εικόνων που τραβήχτηκαν, ελαχιστοποιώντας τα σφάλματα και την παραμόρφωση των μεταγενέστερων αποτελεσμάτων. Ως αποτέλεσμα, τα παραγόμενα τρισδιάστατα μοντέλα παρουσιάζουν ένα πολύ καλό επίπεδο λεπτομέρειας και ακρίβειας που είναι απαραίτητο για κρίσιμες εφαρμογές. Η συγχώνευση επικαλυπτόμενων εικόνων υψηλής ανάλυσης με ακριβές στίγμα θέσης σε επίπεδο λίγων εκατοστών συνεπάγεται με χωρικά σύνολα δεδομένων που χρησιμεύουν ως αξιόπιστα θεμέλια για μηχανολογικά σχέδια, ογκομετρικές αναλύσεις και γεωμετρικές τεκμηριώσεις κατασκευών και άλλων δομών που αποτελούν την πολιτιστική κληρονομιά μας.

Συμπερασματικά, ο συνδυασμός Σ.Μη.Ε.Α. και φωτογραμμετρίας αποτελεί παράδειγμα ενός αξιοσημείωτου άλματος της τεχνολογίας στην συλλογή και καταγραφή γεωχωρικών δεδομένων. Αυτή η συνεργασία ξεπερνάει με διαφορά τις παραδοσιακές μεθόδους, προσφέροντας βελτιωμένη ακρίβεια, ολοκληρωμένη κάλυψη και ποικίλες εφαρμογές. Καθώς αυτές οι τεχνολογίες συνεχίζουν να εξελίσσονται, η συνδυασμένη τους ισχύς έχει τη δυνατότητα να ξεκαθαρίσει πολύπλοκα γεωδαιτικά ζητήματα, να ενθαρρύνει τη βιώσιμη ανάπτυξη και να ανοίγει το δρόμο για νέες διαστάσεις απόκτησης και χρήσης της γνώσης.



Εικόνα 23 Ο Σχεδιαστής του Λαούτου - Albrecht Dürer
(metmuseum.org, 1523)

Στον τομέα της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, η εξέλιξη της τεχνολογίας μας χάρισε επίσης ένα αξιοσημείωτο όργανο, τον τρισδιάστατο σαρωτή λέιζερ (3D Laser Scanner) (Εικόνα 24). Αυτή η συσκευή αποτελεί απόδειξη της ανθρώπινης ευρηματικότητας, και μας επιτρέπει να αποθανατίζουμε και να αναδημιουργούμε τον κόσμο γύρω μας με πρωτοφανή λεπτομέρεια σε ψηφιακή μορφή. Αξιοποιώντας τις αρχές της τεχνολογίας λέιζερ και της φωτογραμμετρίας, οι 3D σαρωτές λέιζερ ξεπερνούν τους περιορισμούς παραδοσιακών μεθόδων και εξοπλισμών, προσφέροντας πληθώρα εφαρμογών σε διάφορα πεδία, είτε με εφαρμογή στη διατήρηση της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς, τον βιομηχανικό έλεγχο ή ακόμη και την εγκληματολογική ανάλυση.



*Εικόνα 24 3Δ Σαρωτής Λείζερ - Leica ScanStation P50
(g2survey.com)*

Η ιστορία της τρισδιάστατης σάρωσης με λέιζερ ξεκίνησε περίπου από την δεκαετία του 1960, όταν εφευρέθηκε ο πρώτος σαρωτής λέιζερ. Ωστόσο, ήταν μόλις τη δεκαετία του 1990 όταν η τεχνολογία σάρωσης λέιζερ 3D έγινε ευρύτερα διαθέσιμη και προσιτή στον ευρύ κοινό και στην κοινότητα των μηχανικών. Η εισαγωγή νέου υλικού και λογισμικού έχει κάνει την τεχνολογία ταχύτερη, ακριβέστερη και πιο φιλική προς το χρήστη. Ως αποτέλεσμα, η τρισδιάστατη σάρωση λέιζερ γίνεται ένα όλο και πιο δημοφιλές εργαλείο σε ένα ευρύ φάσμα πεδίων και επαγγελματιών. Οι τρισδιάστατοι (3D) σαρωτές λέιζερ είναι ένα όλο και πιο δημοφιλές εργαλείο σε τομείς όπως η αρχιτεκτονική, η μηχανική, η αρχαιολογία έως και η εγκληματολογία. (scantech-international.com)

Αυτή η τεχνολογία λειτουργεί εκπέμποντας ακτίνες λέιζερ οι οποίες αναπηδούν από τις

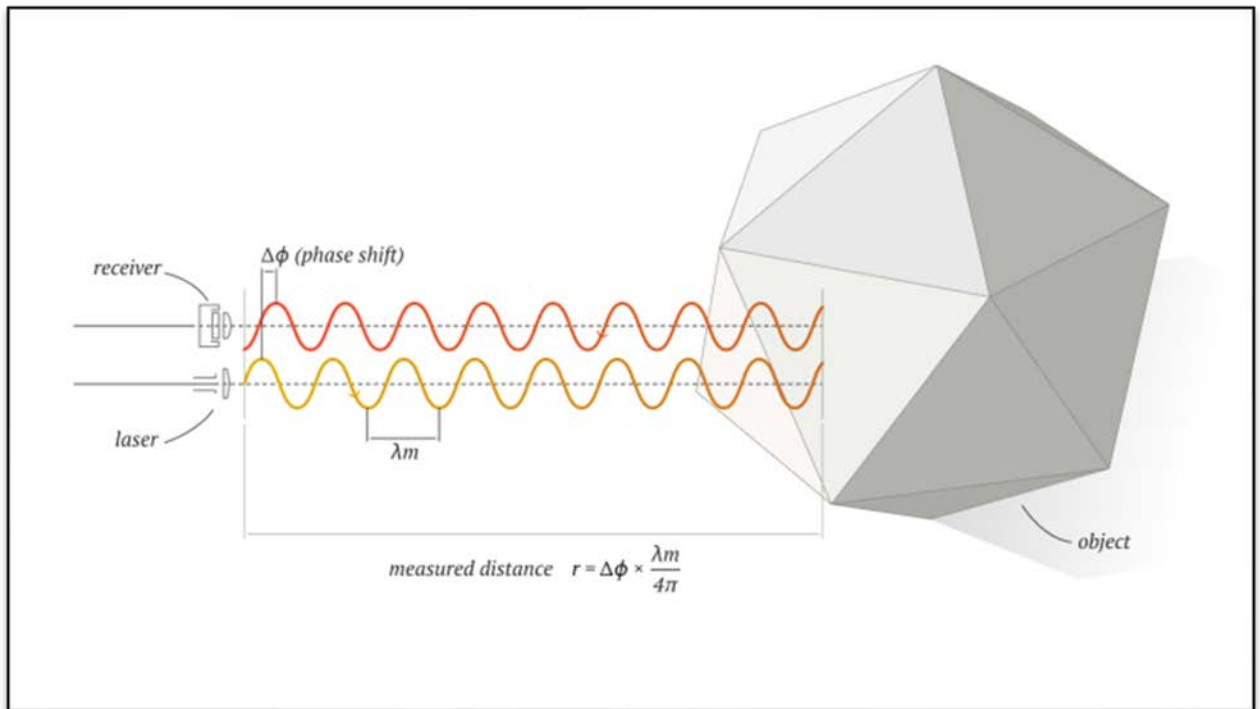
επιφάνειες και επιστρέφουν στον σαρωτή, επιτρέποντάς του να δημιουργήσει ένα λεπτομερές ψηφιακό μοντέλο του περιβάλλοντος προς μελέτη. Τα δεδομένα νέφους σημείων που σαρώνονται με λέιζερ, και περιλαμβάνουν εκατομμύρια μεμονωμένα σημεία δεδομένων, αποτελούν τη βάση για εξαιρετικά ακριβείς και περιεκτικές χωρικές αναπαραστάσεις. Αυτά τα δεδομένα όχι μόνο διατηρούν τις οπτικές όψεις των αντικειμένων, αλλά περικλείουν επίσης τις γεωμετρικές περιπλοκές και τις ιδιότητες του υλικού τους. Αυτό το επίπεδο λεπτομέρειας δίνει τη δυνατότητα σε επαγγελματίες και ερευνητές από όλους τους κλάδους να εμβαθύνουν σε λεπτομερείς αναλύσεις, ογκομετρικές αξιολογήσεις, ακόμη και σε εμπειρίες εικονικής πραγματικότητας με την τεχνολογία μασκών Virtual Reality (VR).

Ο συνδυασμός τρισδιάστατων σαρωτών λέιζερ με την γεωμετρική τεκμηρίωση υπόσχεται απaráμιλλη ακρίβεια και είναι μια συμβιωτική σχέση που ενισχύει την ικανότητα αποτύπωσης και αναπαράστασης της γύρω μας πραγματικότητας. Τα αρχιτεκτονικά θαύματα όπως μνημεία ανά τον κόσμο, για παράδειγμα, μπορούν να ψηφιοποιηθούν σε ακριβή και διαδραστικά τρισδιάστατα μοντέλα, προστατεύοντας την κληρονομιά τους, ενώ παράλληλα επιτρέπουν εικονικές, και όχι μόνο, προσομοιώσεις εξερεύνησης και μελέτες αποκατάστασης χωρίς να χρειαστεί η επαφή ανθρώπινου χεριού.

Γενικότερα, η έλευση των σαρωτών λέιζερ σηματοδοτεί ένα μεταβατικό κεφάλαιο στη γεωμετρική τεκμηρίωση. Η ικανότητά τους αυτή μας ωθεί σε μια εποχή επαυξημένης ακρίβειας αποτυπώσεων. Καθώς συνεχίζουμε να αξιοποιούμε τις δυνατότητες των τρισδιάστατων σαρωτών λέιζερ, ξεκλειδώνουμε νέες διαστάσεις κατανόησης, καινοτομίας και διατήρησης, αναδιαμορφώνοντας τον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε και τεκμηριώνουμε τον κόσμο γύρω μας.

Η τεχνολογία πίσω από τους σαρωτές λέιζερ 3D βασίζεται στην αρχή της μέτρησης του χρόνου πτήσης. Είναι μια απλή αλλά και συγχρόνως έξυπνη μέθοδος λειτουργίας όπου εκμεταλλεύεται τις τεχνολογίες που έχουμε στα χέρια μας πλέον. Ο σαρωτής ουσιαστικά, εκπέμπει μια ακτίνα λέιζερ και μετράται ο χρόνος που χρειάζεται για να αναπηδήσει η δέσμη από τον 3D σαρωτή λέιζερ, στην ζητούμενη επιφάνεια, και πίσω (existingconditions.com)

Ο σαρωτής, έχοντας ως γνωστό την ταχύτητα με την οποία μπορεί να ταξιδέψει μια ακτίνα λέιζερ στην ατμόσφαιρα της γης, μπορεί στη συνέχεια να υπολογίσει την απόσταση από το αντικείμενο που σαρώνεται με βάση αυτή τη μέτρηση (Εικόνα 25). Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία πολλές φορές ανά δευτερόλεπτο, ο σαρωτής μπορεί να συλλάβει εκατομμύρια σημεία δεδομένων, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου του αντικειμένου ή του περιβάλλοντος που σαρώνεται. Το σύνολο αυτών των σημείων ονομάζεται στη φωτογραμμετρία ένα νέφος σημείων (point cloud, dense cloud)(Εικόνα 26).



Εικόνα 25 Τρόπος λειτουργίας καταγραφής σημείων 3D σαρωτή λέιζερ

(artec3d.com)

Για να το απλοποιήσουμε, η σάρωση με λέιζερ είναι μια διαδικασία λήψης τρισδιάστατων πληροφοριών ακρίβειας από ένα αντικείμενο, μια ομάδα αντικειμένων ή ένα περιβάλλον, χρησιμοποιώντας ένα λέιζερ ως πηγή φωτός (Svetlana Golubeva, artec3d.com)

Οι παραδοσιακές μέθοδοι μέτρησης και τεκμηρίωσης φυσικών δομών ή τοπίων, όπως μεζούρες ή ακόμη και γεωδαιτικοί σταθμοί, μπορεί να είναι ανακριβείς και χρονοβόρες σε αντίθεση με την τρισδιάστατη σάρωση λέιζερ. Η τρισδιάστατη σάρωση με λέιζερ, από την άλλη πλευρά, μπορεί να συλλάβει εκατομμύρια σημεία δεδομένων μέσα σε λίγα λεπτά, με αποτέλεσμα ένα εξαιρετικά ακριβές και λεπτομερές μοντέλο. Αυτό το επίπεδο ακρίβειας είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές όπως οι μελέτες κατασκευών και ευρημάτων μικρής και μεγάλης κλίμακας, στην αρχιτεκτονική και στην αρχαιολογία, όπου οι ακριβείς μετρήσεις και η τεκμηρίωση είναι ζωτικής σημασίας.

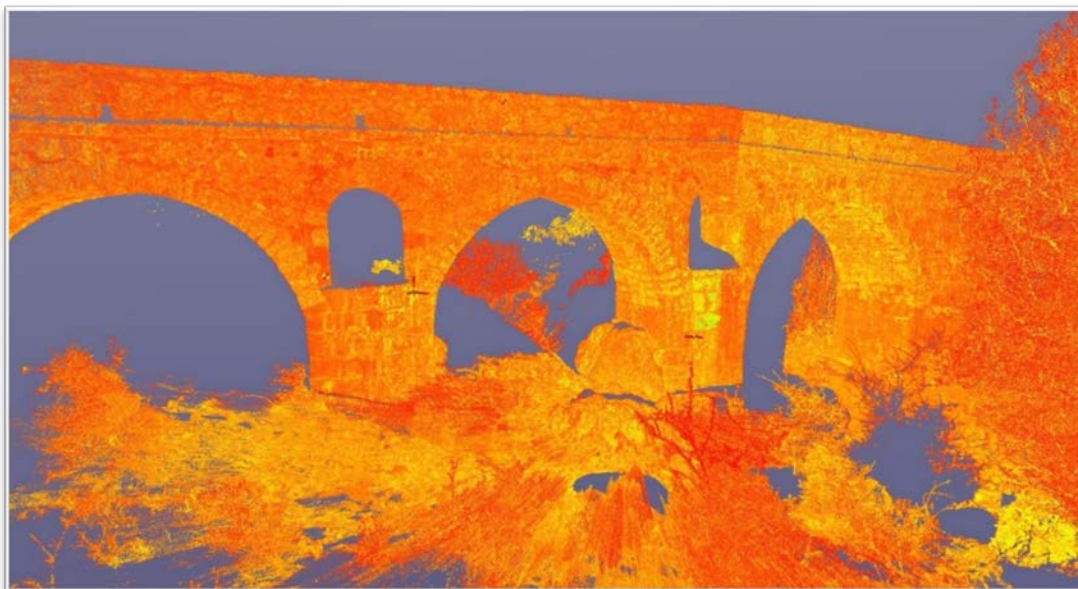
Η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία μοντέλων μηχανικών και βιομηχανικών κατασκευών υψηλής ακρίβειας, όπως σωληνώσεις, γέφυρες και σταθμοί παραγωγής ενέργειας. Ένα έργο μεγάλης κλίμακας που πιθανόν να χρειάζεται να αποτυπωθεί και να μελετηθεί θα μπορούσε να είναι ένα τούνελ. Με αυτόν τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα στους μηχανικούς να μελετήσουν τον τρόπο, που δημιουργήθηκε το έργο, την ορθότητα του, βελτιστοποιήσεις που πιθανόν να επιδέχεται η κατασκευή και πιθανές φθορές που μπορεί να προέκυψαν με την πάροδο του χρόνου οι οποίες και θα χρήζουν επισκευή εφόσον κριθούν χαρακτηριστούν ως κρίσιμες οι

εργασίες αποκατάστασης.

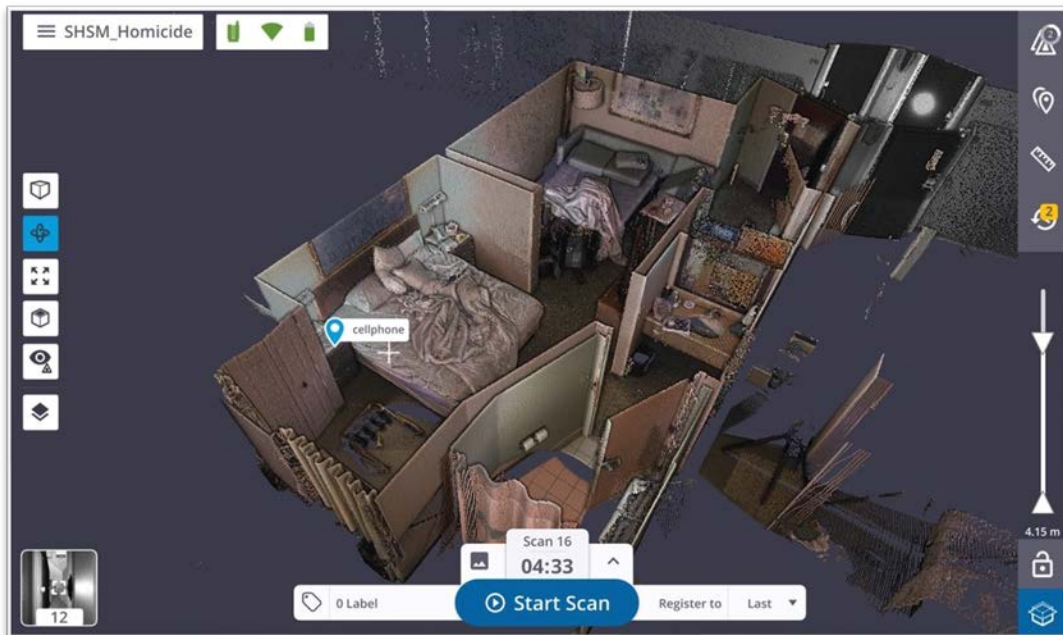
Στον τομέα της αρχιτεκτονικής, η τρισδιάστατη σάρωση με λέιζερ έχει γίνει ένα πολύτιμο εργαλείο για τη δημιουργία λεπτομερών ψηφιακών μοντέλων υπαρχόντων κτιρίων και τοπίων. Με τη λήψη δεδομένων υψηλής ακρίβειας, οι αρχιτέκτονες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα μοντέλα για να δημιουργήσουν πιο ακριβή και αποτελεσματικά σχέδια για ανακαινίσεις, προσθήκες ή νέες κατασκευές. Τα μοντέλα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση της επίδρασης περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως ο ήλιος και ο άνεμος, σε ένα κτίριο ή ένα τοπίο.

Στον τομέα της αρχαιολογίας, η τρισδιάστατη σάρωση με λέιζερ έχει χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία λεπτομερών ψηφιακών μοντέλων αρχαίων μνημείων και αντικειμένων ή και μοντέλα εδάφους. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει στους αρχαιολόγους να συλλέξουν δεδομένα υψηλής ακρίβειας χωρίς να αγγίζουν ή να ενοχλούν σωματικά τα αντικείμενα. Αναλύοντας τα μοντέλα, οι αρχαιολόγοι μπορούν να αποκτήσουν νέες γνώσεις για την ιστορία και την κατασκευή αρχαίων κατασκευών και αντικειμένων.

Στον τομέα της εγκληματολογίας, έχουν χρησιμοποιηθεί τρισδιάστατοι σαρωτές λέιζερ για την τεκμηρίωση σκηνών εγκλήματος και τοποθεσιών ατυχημάτων, επιτρέποντας στους ερευνητές να ανασυνθέσουν με ακρίβεια τα γεγονότα που συνέβησαν. Με τη λήψη δεδομένων υψηλής ακρίβειας, οι ερευνητές μπορούν να δημιουργήσουν ένα λεπτομερές τρισδιάστατο μοντέλο της σκηνής, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση αποδεικτικών στοιχείων και την υποστήριξη νομικών υποθέσεων (Εικόνα 27).



*Εικόνα 26 Νέφος Σημείων - Γέφυρα Μοστάνιτσα
(Προσωπικό Αρχείο, 2023)*



Εικόνα 27 3Δ απεικόνιση τόπου εγκλήματος για δικαστική χρήση
(gim-international.com, 2020)

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματά της, η σάρωση με λέιζερ δεν είναι χωρίς περιορισμούς. Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι το κόστος και η πολυπλοκότητα του εξοπλισμού και του λογισμικού που απαιτείται. Οι σαρωτές λέιζερ 3D μπορεί να είναι ακριβοί και το λογισμικό που απαιτείται για την επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων μπορεί να είναι πολύπλοκο και χρονοβόρο στην εκμάθηση και εξοικείωση του. Επιπλέον, η τρισδιάστατη σάρωση απαιτεί υψηλό βαθμό τεχνογνωσίας από τους εκάστοτε μηχανικούς για αποτελεσματική χρήση, κάτι που μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο για ορισμένους οργανισμούς και ανθρώπους.

Σε μια τοπογραφική μελέτη, κατά την εκπόνηση της, τα σφάλματα που πάντα υπάρχουν μπορούν μόνο να κινηθούν προς μια κατεύθυνση και αυτή δυστυχώς είναι προς τα επάνω, δηλαδή να πολλαπλασιαστούν. Για αυτόν τον λόγο, το καλύτερο που μπορεί να κάνει ο κάθε μηχανικός είναι να δίνει την μέγιστη προσοχή καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης προκειμένου να αποφευχθούν όσο το δυνατόν περισσότερα σφάλματα.

Τα σφάλματα που μπορεί να επιφέρει μια αποτύπωση ποικίλουν ανάλογα με το από που προέρχονται. Είναι πάντα σχετικά με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, τον χειριστή του οργάνου, το αντικείμενο της αποτύπωσης, και την πολυπλοκότητα του έως και τις καιρικές συνθήκες. Το αποτέλεσμα είναι μερικές φορές οι ακρίβειες των μετρήσεων να μην φθάνουν τις ακρίβειες που υπόσχεται ο κάθε κατασκευαστής τοπογραφικού εξοπλισμού στο αντίστοιχο εγχειρίδιο του κάθε οργάνου που διαθέτει. Όλα τα σφάλματα σε αυτές τις μεθόδους τεκμηρίωσης, αλλά και γενικότερα στις τοπογραφικές αποτυπώσεις υπάγονται σε 3 βασικές κατηγορίες:

- τα χονδροειδή σφάλματα
- τα συστηματικά σφάλματα και
- τα τυχαία σφάλματα.

Χονδροειδή σφάλματα ονομάζονται αυτά που οφείλονται στον χειριστή του οργάνου, που ονομάζεται και παρατηρητής. Ένα χονδροειδές σφάλμα, τις περισσότερες φορές, δεν θα είναι δύσκολο να εντοπιστεί όπως ούτε να διορθωθεί. Η συχνότητα που προκύπτουν χονδροειδή σφάλματα μπορεί δραστικά να μειωθεί κατά την πάροδο του χρόνου, εφόσον ο χειριστής αποκτά σταδιακά εμπειρία στο αντικείμενο. Ένας πιο έμπειρος παρατηρητής θα τα περιμένει και θα τα αποφύγει πριν ακόμη αποτυπωθούν. Παρόλα αυτά, τα χονδροειδή σφάλματα εντοπίζονται και διορθώνονται εύκολα τις περισσότερες φορές.

Τα χονδροειδή σφάλματα συμπεριλαμβάνουν ακραίες περιπτώσεις, είτε πρόκειται για μεγάλο βαθμό αντανάκλασης από το αντικείμενο αποτύπωσης, για παράδειγμα μάρμαρο ή μερικά μέταλλα, είτε πρόκειται για πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές αποστάσεις, έως και κοντά στα συνιστάμενα όρια του οργάνου, είτε πρόκειται για ακραίες θερμοκρασίες, υψηλές και χαμηλές.

Κατά την κατασκευή ενός τοπογραφικού οργάνου ακολουθούνται πολλές διαδικασίες προκειμένου τα όργανα να έχουν την καλύτερη δυνατή ακρίβεια και αξιοπιστία, ωστόσο αυτό δεν γίνεται να είναι πάντα η περίπτωση. Βγαίνουν στην αγορά μερικές φορές τοπογραφικά όργανα τα οποία είναι ελλατωματικά. Τα σφάλματα που προκύπτουν κατά την χρήση τους ονομάζονται συστηματικά. Όπως λέει και η λέξη είναι σφάλματα τα οποία εμφανίζονται επανειλημμένα σε κάθε καταγραφή του οργάνου και μπορούν να εντοπιστούν εύκολα όταν συγκριθούν τα αποτελέσματα που παραδίδουν με αυτά ενός αντίστοιχου οργάνου ή ενός ίδιου οργάνου το οποίο δεν είναι ελλατωματικό. Υπάρχει πιθανότητα τα συστηματικά σφάλματα να μην δημιουργούν προβλήματα με αποτέλεσμα τα όργανα που τα επιφέρουν και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν κανονικά εφόσον αυτά τα σφάλματα εκμηδενίζονται ή είναι αμελητέας σημασίας.

Η κατηγορία των τυχαίων σφαλμάτων είναι η δυσμενέστερη για έναν μελετητή γιατί είναι δύσκολος ο εντοπισμός τους άρα και η διόρθωση τους. Η χειρότερη κατηγορία σφαλμάτων είναι τα τυχαία και αυτό επειδή είναι δύσκολο να εντοπίσεις από που προέκυψαν και εν συνεχεία να τα διορθώσεις. Ένα τυχαίο σφάλμα μπορεί να προκύψει από μια στιγμή που θα υπολειτουργήσει το όργανο αποτύπωσης. Καταλαβαίνουμε πως είναι ιδιαίτερα δύσκολο, ειδικότερα εάν πρόκειται για σφάλμα μικρού μεγέθους, να εντοπιστεί εγκαίρως και να διορθωθεί.

Για παράδειγμα στην περίπτωση που ένας γεωδαιτικός σταθμός ή ένα σαρωτής λείξερ αποτυπώσουν μια λάθος απόσταση λόγω πολυπλοκότητας ή λόγω μεγάλου βαθμού αντανάκλασης του αντικείμενου αποτύπωσης, λίγες θα είναι οι περιπτώσεις όπου ο παρατηρητής θα το εντοπίσει αρκετά σύντομα για να κάνει κάτι για αυτό. Στην περίπτωση του επίγειου σαρωτή είναι

δυσμενέστερη η κατάσταση διότι οι σαρωτές λέιζερ λειτουργούν αυτοματοποιημένα. Αφού τοποθετηθεί ο τρίποδας και το όργανο οριζοντιωθεί, δηλώνονται οι ζητούμενες μεταβλητές του οργάνου και ύστερα ολοκληρώνει την διαδικασία αποτύπωσης μόνος του ο σαρωτής. Εξισορροπείται η κατάσταση ανάμεσα στους γεωδαιτικούς σταθμούς με τους σαρωτές λέιζερ επειδή παρόλο που στους σαρωτές μπορούν να προκύψουν τυχαία σφάλματα, έχεις πληθώρα σημείων με αποτέλεσμα το ένα σημείο να μην παίζει τόσο μείζων ρόλο. Στον γεωδαιτικό σταθμό, όπου το πλήθος σημείων που αποτυπώνεται σε κάθε μελέτη είναι πιο περιορισμένο, σε ενδιαφέρει αυτές οι καταγραφές να έχουν και την υποσχόμενη ακρίβεια, ωστόσο σου δίνεται η δυνατότητα να ελέγχεις τις μετρήσεις λόγω της χειροκίνητης και συνεπώς πιο αργής λειτουργίας του σε σχέση με έναν σαρωτή λέιζερ.

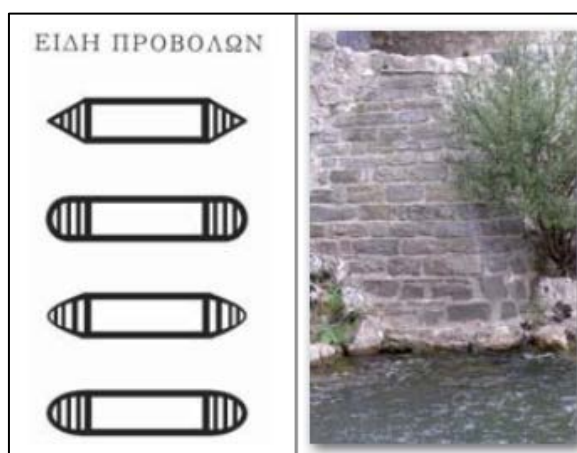
4. Μορφολογία και Στοιχεία Παραδοσιακής Γεφυροποιίας

Μια γέφυρα φέρει πληθώρα χαρακτηριστικών και το καθένα από αυτά έχει ένα όνομα και ένα σκοπό, μια χρησιμότητα. Μια πέτρινη τοξωτή γέφυρα έχει αντίστοιχα τα δικά της χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες της. Τα στοιχεία μιας γέφυρας είναι σχεδιασμένα με σκοπό τον απόλυτο συνδυασμό της λειτουργικότητας με την καλή αισθητική. Η ονοματολογία αυτών βοηθάει στην συνεννόηση των μελετητών, κατασκευαστών και εργοδηγών και την ομαλή διεκπεραίωση των εργασιών που χρειάζονται για την κατασκευή μιας πέτρινης τοξωτής γέφυρας.

Με μεράκι έχουν μελετήσει και γράψει για τα στοιχεία μιας γέφυρας μερικοί μηχανικοί, με πρώτα παραδείγματα ο καθηγητής Γκράσος Γεώργιος στο εγχειρίδιο που εκδόθηκε με τίτλο «Τα Πέτρινα Τοξωτά Γεφύρια της Ελλάδας» (Γκράσος, 2007) , όπως επίσης και ο αρχιτέκτων μηχανικός μαστρ Αργύρης Π.Π. Πετρονώτης στο εγχειρίδιο «Νεοελληνική Παραδοσιακή Γεφυροποιία» (Πετρονώτης, 2012) .

Οι λεπτομέρειες των γεφυριών είναι οι παρακάτω, περισσότερες από τις οποίες περιέχονται και στην γέφυρα Μοδτανίκα που αποτελεί το αντικείμενο μελέτης μας σε αυτή την διπλωματική εργασία.

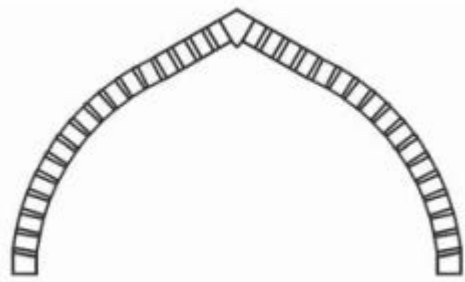
1. **Βάθρα** ονομάζονται οι βάσεις στήριξης των τόξων της γέφυρας που αποτελούν και τα θεμέλια επάνω στα οποία βασίζεται το μεγαλύτερο μέρος της γέφυρας. Χτίζονται στο έδαφος, επάνω σε βράχους ή σε ξύλινους πασσάλους στα πολύτοξα πεδινά γεφύρια.
2. **Πρόβολος ή έμβολο** ονομάζεται το σχήμα που δίνεται στα μεσόβαθρα της γέφυρας προκειμένου να διαμοιράζουν τις δυνάμεις των νερών του ποταμού που δέχεται η γέφυρα.



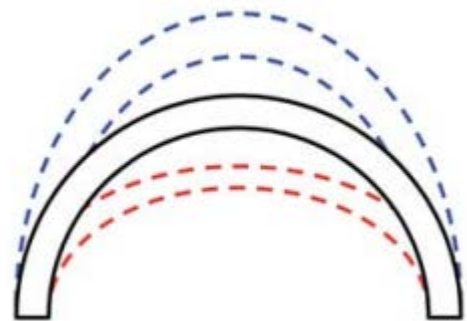
Εικόνα 28 Είδη Πρόβολων - Τριγωνικός, Ημικυκλικός, Σφηνοειδής, Ελλειπτικός
(Γκράσος, 2007)

3. **Καμάρα** ονομάζεται το τοξωτό σχήμα που δίνεται κατά την κατασκευή μιας γέφυρας, όταν δεν υπάρχει εκφορική δόμηση, και ενώνει το κάθε βάθρο με το επόμενο. Μια καμάρα μπορεί να είναι οξυκόρυφη, να διαγράφει ένα ημικυκλικό τόξο, ένα αναβιβασμένο τόξο ή

ένα καταβιβασμένο τόξο.



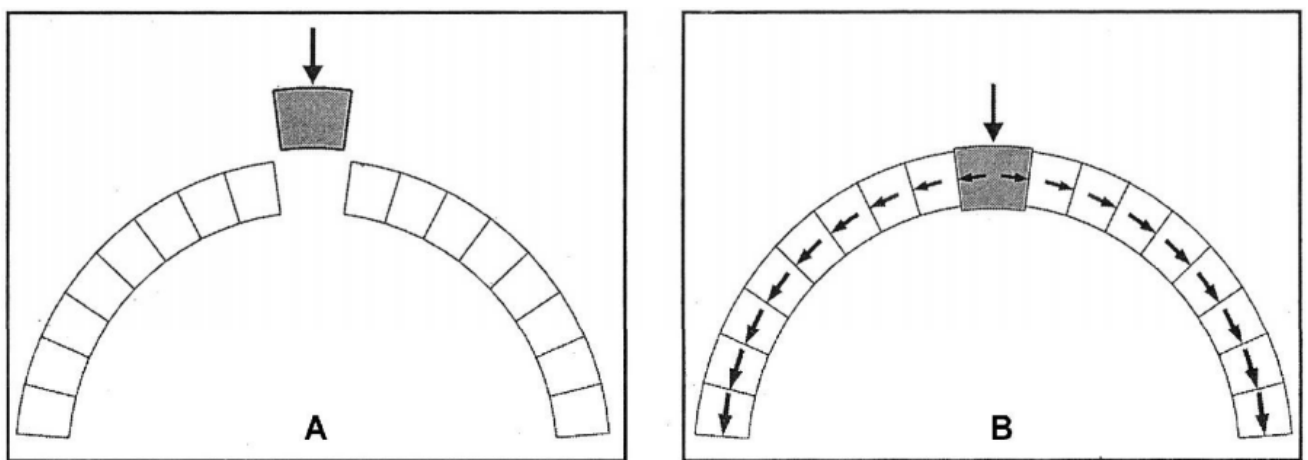
Εικόνα 29 Παράδειγμα Οξυκόρυφης Καμάρας
(Γκράσσο, 2007)



Εικόνα 30 Παράδειγμα Αναβιβασμένου,
Ημικυκλικού και Καταβιβασμένου Τόξου
(Γκράσσο, 2007)

4. **Θολίτες** ονομάζονται οι λαξευμένες πέτρες που αποτελούν το σώμα του τόξου της καμάρας. Αναφέρονται μερικές φορές και ως **καμαρολίθια**.

5. **Κλειδί** είναι ο κορυφαίος θολίτης του τόξου που έχει σχήμα ανάποδου τραπεζίου και με αυτή την πέτρα ολοκληρώνεται και πλέον στέκεται ένα τόξο .



Εικόνα 31 Τοποθέτηση Κλειδιού - Κεντρικού Θολίτη στο Τόξο Καμάρας
(Πετρονάτης, 2012)

6. **Ανακουφιστικά τόξα** ή **ψευδοκάμαρες** ονομάζονται τα μικρότερα τόξα από αυτά των καμαρών τα οποία δημιουργούνται επάνω στα μεσόβαθρα και έχουν σκοπό να δίνουν μια παραπάνω δίοδο στα νερά της πλημμύρας να περνούν έτσι ώστε να μειώνουν και τις δυνάμεις που δέχονται τα βάθρα στα υψηλότερα σημεία, δηλαδή εκεί που δεν υπάρχει πρόβολος.

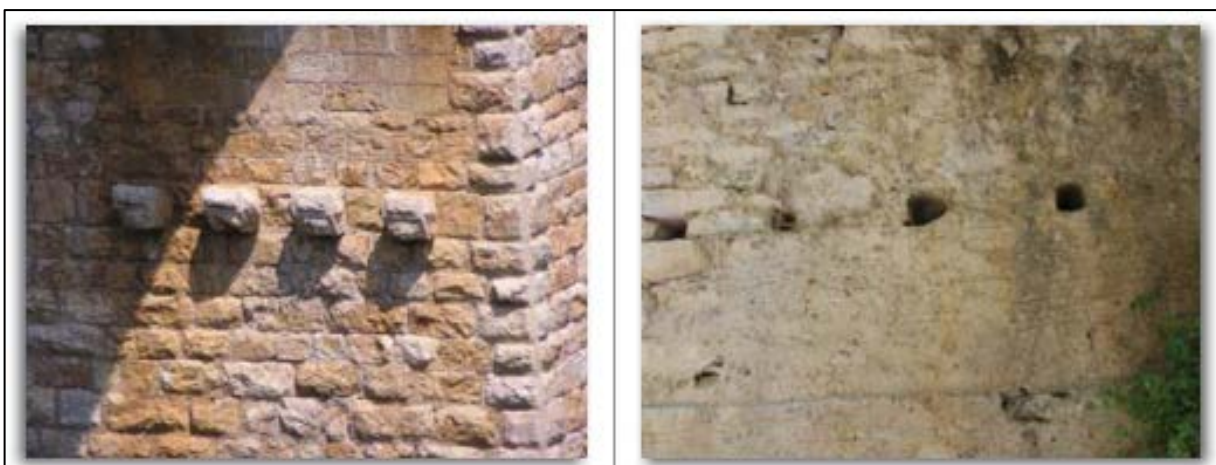
7. **Γένεση** του τόξου ονομάζεται η πέτρα που συνήθως είναι τοποθετημένη οριζόντια και λειτουργεί ως βάση έδρασης των τόξων επάνω στα βάθρα της γέφυρας.

8. **Αρπιζα** ή **τζινέτι** είναι σιδερένιος ελκυστήρας που τοποθετείται στα μέτωπα των

τόξων με τα διάτρητα άκρα του να διαπερνούν και στερεώνουν κάθετες λάμες αγκύρωσης.

9. **Ξυλότυπος** είναι η ξύλινη κατασκευή επάνω στην οποία ξεκινάει η κατασκευή μιας δομής και την στηρίζει έως ότου κατασκευαστεί και στερεωθεί η κατασκευή όπου και αφαιρείται ο ξυλότυπος.

10. **Δοκοθήκες**, όπως εξηγεί και η ετυμολογία της λέξεως, είναι οι θέσεις στις οποίες τοποθετούνταν τα οριζόντια ξύλινα μέρη ή δοκοί για την αρχική στήριξη του καλουπιού των τόξων. Βρίσκονται στις γενέσεις των τόξων και μπορεί να εμφανίζονται με την μορφή εσοχών (τρύπες) ή με την μορφή προεξοχών σαν βάσεις δοκού ξυλότυπου.



*Εικόνα 32 Παραδείγματα Δοκοθηκών, Προεξοχή και Εσοχή
(Πετρονώτης, 2012)*

11. **Ράχη** ή **εξωράχιο** ονομάζεται το επάνω μέρος του τόξου της καμάρας. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ράχη δεν είναι εμφανής, ωστόσο υπάρχουν γέφυρες στις οποίες οι διάβαση τους γίνεται αποκλειστικά επάνω από την ράχη της καμάρας ή των καμαρών.

12. **Εσωράχιο** ή **άντυγα** ονομάζεται η κάτω επιφάνεια του τόξου η οποία αποτελεί πάντα ένα ορατό στοιχείο της γέφυρας. Είναι το αντίθετο της ράχης ή εξωράχιου του τόξου.

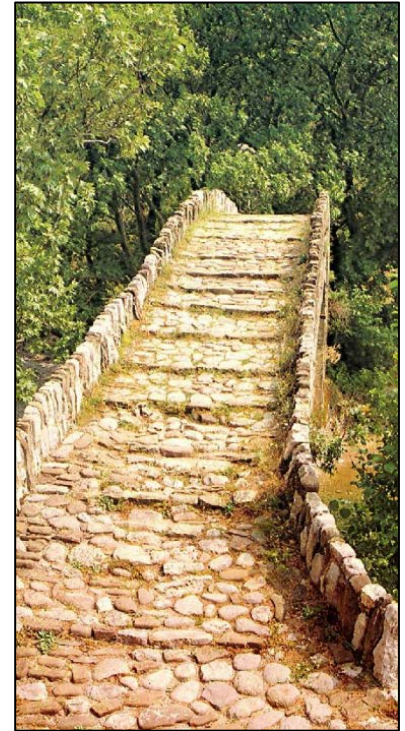
13. Η μετωπική επιφάνεια ενός τόξου καμάρας αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως το **στεφάνι** ή **διάζωμα** του τόξου. Δημιουργείται από καλολαξευμένες πέτρες αφού είναι και στις ανάντη και κατάντη όψεις της γέφυρας και αποτελούν τα πιο χαρακτηριστικά σημεία μια γέφυρας.

14. Οι **περυγότοιχοι**, αναφερόμενοι και ως **τύμπανα**, είναι οι συστάδες λαξευμένων συνήθως πετρών που δημιουργούν τον τοίχο ανάμεσα στις καμάρες και συμπληρώνουν την υπόλοιπη πλευρά της γέφυρας.

15. **Κατάστρωμα** ονομάζεται η επιφάνεια επάνω στην οποία βαδίζει ένας διαβάτης της γέφυρας. Δημιουργείται από λαξευμένες ή ακανόνιστες πέτρες και είναι αυτό που καλύπτει την ράχη των τόξων από το να είναι εμφανής. Στην περίπτωση που είναι εμφανής η εξωράχη, τότε αυτό σημαίνει πως η ράχη αποτελεί και το κατάστρωμα της γέφυρας.



Εικόνα 33 Η «Αιωρούμενη» Ράχη Γέφυρας Τριζώλου
(Πετρονώτης, 2012)



Εικόνα 34 Γεφύρι Βοϊδομάτη –
Κατάστρωμα
(Πετρονώτης, 2012)

16. Ως **στηθαίο** της γέφυρας αναφέρεται πάντα ο μικρός τοίχος που χτίζεται στα άκρα του καταστρώματος και εξυπηρετεί τον σκοπό του προστατεύοντας τους διαβάτες της από ενδεχόμενες πτώσεις.

17. Σε μερικές τοξωτές γέφυρες τοποθετούνταν ένα κρεμασμένο **καμπανάκι** στο εσωράχιο της καμάρας της, κρεμασμένο από μια αλυσίδα. Αυτό βοηθούσε τους ντόπιους και τους επισκεπτόμενους να προετοιμαστούν σε περίπτωση ισχυρών ανέμων και τους προειδοποιούσε για την πιθανόν επικίνδυνη διάβαση της γέφυρας από το κατάστρωμα της.

18. Στα παλαιότερα χρόνια όπου οι πόλεμοι ήταν πιο συχνοί, στις πέτρινες γέφυρες που κατασκεύαζε κάθε λαός συχνά τοποθετούσαν μια **κτητορική πλάκα**. Ως κτητορική πλάκα αναφέρεται μια πλάκα συνήθως κατασκευασμένη από μάρμαρο, επάνω στην οποία αναγράφονταν στοιχεία όπως χρονολογίες, επιγραφές και διάφορα διακοσμητικά στοιχεία. Τοποθετούνταν στον περυγότοιχο της γέφυρας, συνήθως επάνω από το κλειδί ενός τόξου.

19. **Αγκωνάρι** είναι ο γωνιακός ορθογώνιος παραλληλεπίπεδος λίθος που τοποθετούνταν στη τοιχοποιία της γέφυρας και στις γωνίες της.

5. Η Γέφυρα Μοστάνιτσα του Νίκσιτς

Το Νίκσιτς ή Nikšić, η συμπρωτεύουσα του Μαυροβουνίου, είναι ένας θησαυρός ιστορίας, πολιτισμού και φυσικής ομορφιάς. Με ένα ιστορικό παρελθόν που εκτείνεται αιώνες πίσω, το Νίκσιτς έχει δει την άνοδο και την πτώση αυτοκρατοριών, αφήνοντας πίσω του μια συναρπαστική κληρονομιά. Συνάμα με την ιστορική του σημασία, το Νίκσιτς είναι γνωστό για τις εντυπωσιακές γέφυρες που εκτείνονται στα ποτάμια του, συνδέοντας κοινότητες και συμβολίζουν την ανάπτυξη της πόλης.



Εικόνα 35 Nikšić – Μαυροβούνιο – Χάρτης Θέσης
(wikipedia.org)

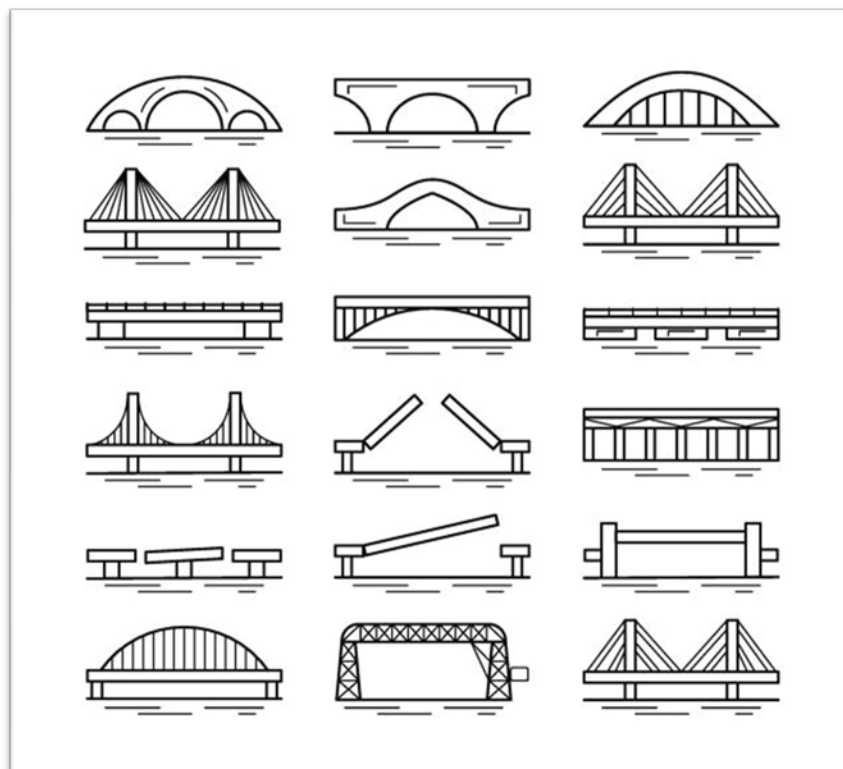
Η ιστορία του Νίκσιτς ξεκινάει από την αρχαιότητα, με ίχνη ανθρώπινης κατοίκησης να βρίσκονται ήδη από τη νεολιθική περίοδο. Κατά τη διάρκεια των αιώνων, η πόλη γνώρισε την επιρροή διαφόρων πολιτισμών, συμπεριλαμβανομένων των Ιλλυριών, των Ρωμαίων, των Βυζαντινών, των Οθωμανών και άλλων. Αυτές οι πολιτιστικές επιρροές έχουν διαμορφώσει την αρχιτεκτονική, τις παραδόσεις και την κληρονομιά της πόλης. Το Νίκσιτς έπαιξε σημαντικό ρόλο στο μεσαιωνικό κράτος της Βοσνίας και αργότερα έγινε τμήμα της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας.

Η οθωμανική περίοδος άφησε διαρκή αντίκτυπο στο Νίκσιτς, με τζαμιά και κτίρια τουρκικού στυλ να διασκορπίζονται στο αστικό τοπίο. Μια αξιοσημείωτη ιστορική τοποθεσία είναι το Φρούριο Bedem, μια αμυντική κατασκευή που χτίστηκε κατά την Οθωμανική εποχή για να προστατεύσει την πόλη. Σήμερα, στέκεται ως υπενθύμιση του εμπόλεμου παρελθόντος του Νίκσιτς και προσφέρει στους επισκέπτες μια ματιά στην πλούσια ιστορία του.



Εικόνα 36 Πανοραμική Φωτογραφία του Nikšić
(drone-studio.me)

Οι γέφυρες του Νίκσιτς δεν είναι μόνο λειτουργικές δομές, αλλά μαρτυρούν επίσης την ανάπτυξη της πόλης και τη σχέση του παρελθόντος με το παρόν. Κάθε γέφυρα διηγείται μια ιστορία, αντικατοπτρίζοντας διαφορετικά αρχιτεκτονικά στυλ και ιστορικές περιόδους.



Εικόνα 37 Διάφορα Είδη Γεφυρών
(istockphoto.com)

Μέσα στην καρδιά του Νίκσιτς, η Emperor's Bridge, γνωστή και ως Tsar's Bridge ή γέφυρα του Αυτοκράτορα, έχει σημαντική ιστορική αξία. Κατασκευάστηκε κατά τη διάρκεια της βασιλείας του αυτοκράτορα Νικολάου Α', του πρώτου και τελευταίου βασιλεία του Μαυροβουνίου, με τα θεμέλια της να δημιουργούνται στα τέλη του 19ου αιώνα και πήρε το όνομα της από τον αυτοκράτορα Αλέξανδρο τον 3^ο για την συνεισφορά του στην χρηματοδότηση της. Αυτή η γέφυρα χρησίμευσε ως ζωτικής σημασίας σύνδεσμος των επιμέρους τμημάτων της πόλης. Ο κομψός σχεδιασμός της με τα διακοσμητικά στοιχεία της, αποτελεί παράδειγμα του χαρακτηριστικού αρχιτεκτονικού στυλ της εποχής. Πρόκειται για μια γέφυρα μήκους 269 μέτρων και ύψους περίπου 13 μέτρων στο κέντρο της, φτιαγμένη από πελεκητή πέτρα ([BookAWeb](#)).

Στην συνέχεια, και διασχίζοντας τον ποταμό Ζέτα, η ομώνυμη γέφυρα του ποταμού αυτού είναι μια μοντέρνα κατασκευή που συνδυάζει τη λειτουργικότητα με το σύγχρονο σχεδιασμό. Αυτή η γέφυρα έπαιξε κρίσιμο ρόλο στη σύνδεση διαφόρων τμημάτων του Νίκσιτς και στη διευκόλυνση των μεταφορών όπως του εμπορίου. Φαίνεται πως είναι μια γέφυρα η οποία δημιουργήθηκε από το 1937 με πρωταρχικό σκοπό την ενσωμάτωση της στις διαδρομές των σιδηροδρομικών μεταφορών. Ωστόσο σήμερα δείχνει να είναι μια συμβατική γέφυρα του κυκλοφοριακού συστήματος του Νίκσιτς, εξυπηρετώντας πεζούς και οχήματα. Οι γραμμές αυτής της γέφυρας και η βελτιωμένη αισθητική του αποτελούν απόδειξη της ανάπτυξης όπως επίσης και του εκσυγχρονισμού της πόλης, αφού μετατράπηκε από σιδηροδρομική σε συνηθισμένη γέφυρα.

Παρατηρείται πως η πόλη του Νίκσιτς έχει αρκετά παλιές γέφυρες να δεσπόζουν ακόμη και σήμερα. Παρομοίως, στα Δυτικά του Νίκσιτς και δίπλα στην εκκλησία Stedim, βρίσκεται η γέφυρα Μοστάνιτσα (Moštanica) (*Εικόνα 38*). Εκτείνεται στον ποταμό Μοστάνιτσα, από όπου αντλεί και το όνομα της. Αυτή η γέφυρα της ρωμαϊκής εποχής αποτελεί απόδειξη της μηχανικής ικανότητας των αρχαίων Ρωμαίων δημιουργών της ακόμη και συγκριτικά με τις προαναφερθέντες γέφυρες οι οποίες ωστόσο είναι πολύ πιο μοντέρνες. Με τις στιβαρές πέτρινες καμάρες και την περίπλοκη τοιχοποιία, έχει αντέξει στη δοκιμασία του χρόνου και παραμένει έμβλημα της ρωμαϊκής κληρονομιάς του Νίκσιτς. Πρόκειται για την παλαιότερη γέφυρα σε ολόκληρη την χώρα του Μαυροβούνιου ή οποία ακόμη χρησιμοποιείται.

Η θέση της γέφυρας Moštanica βρίσκεται προσεγγιστικά στις παρακάτω γεωγραφικές συντεταγμένες του Παγκόσμιου Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (WGS84):

Γεωγραφικό Πλάτος (Lat): 42.769136° | **Γεωγραφικό Μήκος (Long): 18.911657°**

Αυτή η γέφυρα είναι και το αντικείμενο μελέτης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Το Νίκσιτς, με την πλούσια ιστορία και την ποικίλη πολιτιστική και αρχιτεκτονική κληρονομιά, είναι μια πόλη που προσκαλεί, με τον τρόπο του, τους εξερευνητές και τους λάτρεις της ιστορίας. Από τα απομεινάρια των αρχαίων πολιτισμών μέχρι τις εντυπωσιακές γέφυρες που εκτείνονται στα ποτάμια του, το Νίκσιτς είναι από μόνο του, ένα μαγευτικό ταξίδι στο χρόνο. Καθώς οι επισκέπτες που διασχίζουν τις γέφυρες της, γίνονται μέρος της αφήγησης της πόλης, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ παρελθόντος και παρόντος και βιώνοντας το ζωντανό πνεύμα της συμπρωτεύουσας του Μαυροβούνιου.



*Εικόνα 38 Η γέφυρα Μοστάνιτσα (Moštanica Bridge)
([tripadvisor.com](https://www.tripadvisor.com))*

Το τελικό προϊόν της ομάδας που μελέτησε και κατασκεύασε την γέφυρα Moštanica είναι μια ζωντανή απόδειξη πως εκμεταλλεύτηκαν την τεχνογνωσία και τα υλικά που τους παρείχε η εποχή που ζούσανε στο έπακρο, δημιουργώντας κάτι αξιοσημείωτο με μεγάλη διάρκεια ζωής.

Δεν υπάρχουν πολλά γνωστά δεδομένα για την δημιουργία της γέφυρας, όπως είναι λογικό, εξαιτίας της μεγάλης ηλικίας της. Επιστήμονες υπολογίζουν πως η γέφυρα πρώτο-χτίστηκε τον 3^ο αιώνα μ.Χ.. Εικάζεται πως κατεδαφίστηκε και ξαναχτίστηκε επανειλημμένα αρκετές φορές ανά τα χρόνια. Μια από τις καταγεγραμμένες φορές που έπρεπε να γκρεμιστεί η γέφυρα ήταν κατά την διάρκεια του 2^{ου} παγκόσμιου πολέμου, διότι χρησιμοποιούνταν σαν δίοδος από τους Ιταλούς πολιορκητές. Κατασκευάστηκε ξανά, σύμφωνα με το Ινστιτούτο Προστασίας Πολιτιστικών Μνημείων ([Institute for the Protection of Cultural Monuments](#)), το έτος 1957, δηλαδή περισσότερο από μια δεκαετία μετά το τέλος του παγκοσμίου πολέμου.

Εκτιμάται πως είναι Ρωμαϊκής εποχής γέφυρα, και υπάρχουν μερικά στοιχεία να το αποδείξουν αυτό. Το πιο προφανές είναι πως η γέφυρα κατέχει πολλά αρχιτεκτονικά στοιχεία της Ρωμαϊκής εποχής και του στυλ της. Ειδικότερα, το σχήμα της με τις καμάρες από λαξευμένους ασβεστόλιθους. Χαρακτηριστικό των γεφυρών της Ρωμαϊκής εποχής, είναι επίσης και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή αυτής, όπως ασβεστόλιθοι και κονίαμα από θρυμματισμένα τούβλα της εποχής. Συνάμα, μελέτες εντόπισαν εντός του κονιάματος που συνέδεε τους λαξευμένους ασβεστόλιθους, στοιχεία τριχών κατσίκας που, το πιο πιθανόν, είναι να χρησιμοποιούνταν για λόγους ενίσχυσης του. Στο γειτονικό περιβάλλον της γέφυρας επίσης έχουν βρεθεί αρχαία κέρματα της Ρωμαϊκής εποχής, γεγονός που αποδεικνύει πως Ρωμαίοι έζησαν εκείνη την εποχή στην περιοχή αυτή.

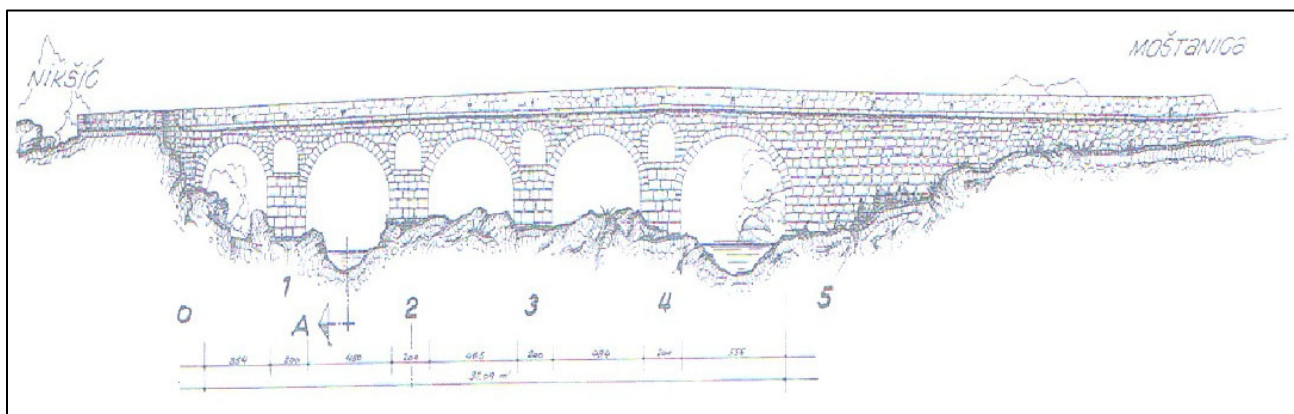
Αποδεικτικό στοιχείο της επανειλημμένης κατεδάφισης και του χτισίματος της γέφυρας είναι και τα Stećci (Stećak στον ενικό), δηλαδή ένα είδος μεσαιωνικής επιτύμβιας στήλης που χρησιμοποιούνταν και ως οικοδομικό υλικό από του Τούρκους, τα οποία εντοπίζονται τοποθετημένα στις βάσεις των κιόνων της.

Ύστερα από την τελευταία κατεδάφιση της γέφυρας Moštanica, χρησιμοποιήθηκε το ελάχιστο φωτογραφικό υλικό που υπήρχε από τον αρχιτέκτονα υπεύθυνο της αναστήλωσης της Đorđe Minjević το 1957, προκειμένου να διατηρηθεί η αρχιτεκτονική της αρχαίας γέφυρας. Μια φωτογραφία της είχε καταγράψει ο φωτογράφος Petr Šobajić το έτος 1904, στο βιβλίο του «Το Νίκσιτς και τα πέριξ του» (Nikšić sa okolinom koja).

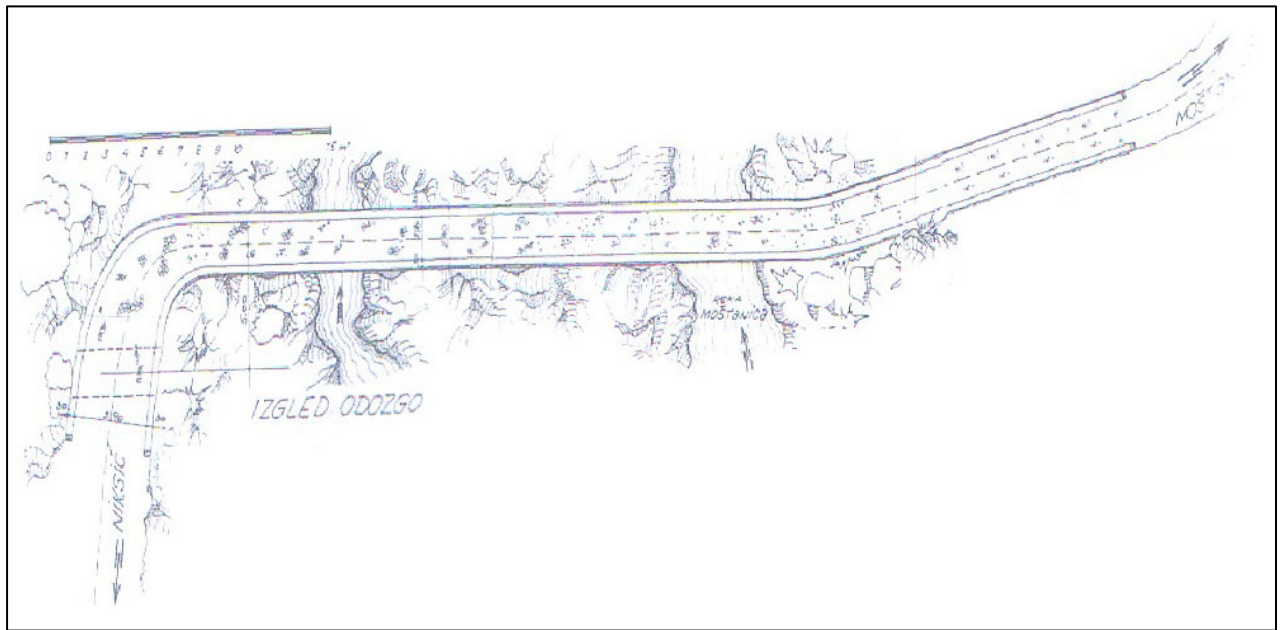


Εικόνα 39 Η Αρχαία Γέφυρα Moštanica πριν την Τελευταία Κατεδάφιση της
 (onogost.me)

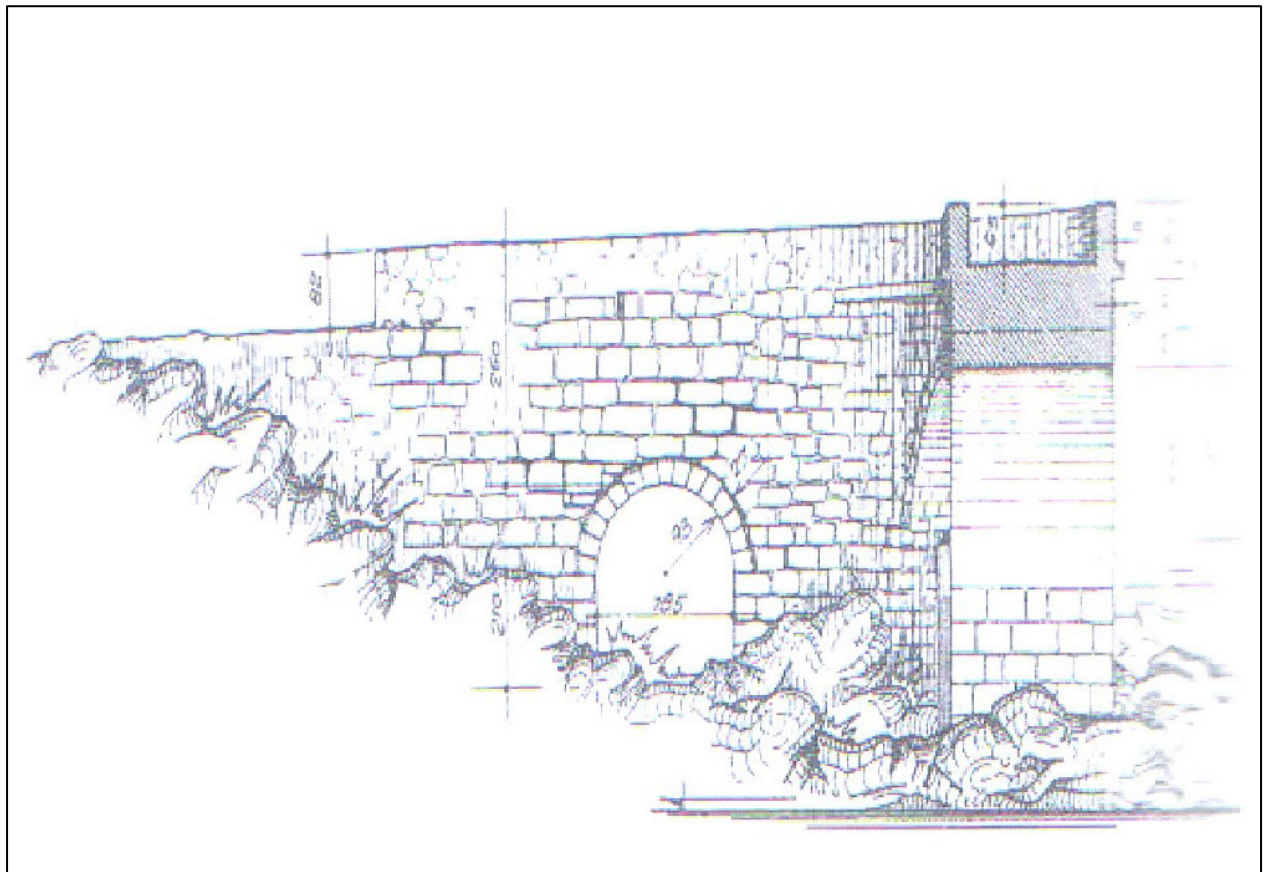
Παρακάτω παρατίθενται μερικά σχέδια της γέφυρας Moštanica που γενναιόδωρα μας χορηγήθηκαν από συνάδελφους μηχανικούς του Νίκσιτς.



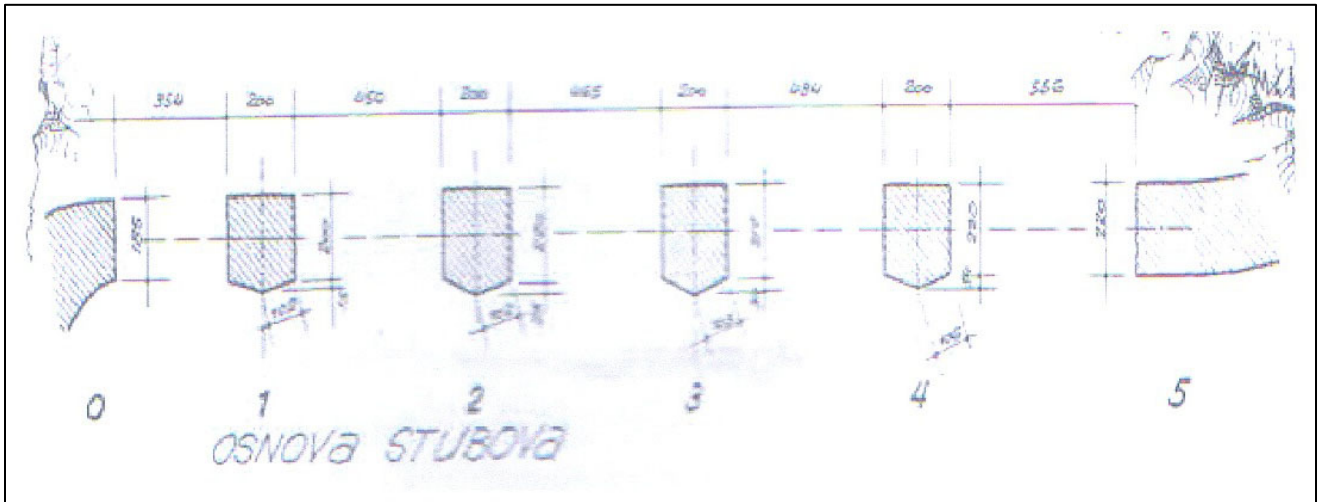
Εικόνα 40 Ανάντη Όψη της Γέφυρας Moštanica
 (Επιστημονικοί Συνεργάτες του Νίκσιτς)



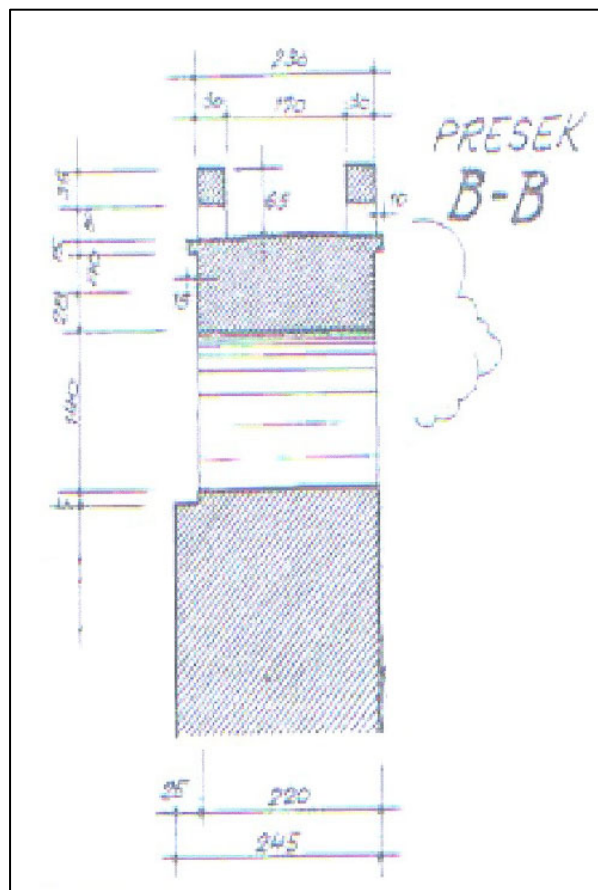
*Εικόνα 41 Κάτοψη της Γέφυρας Μοζτανίκα
(Επιστημονικοί Συνεργάτες του Νίκσιτς)*



*Εικόνα 42 Βόρεια Όψη της Γέφυρας Μοζτανίκα
(Επιστημονικοί Συνεργάτες του Νίκσιτς)*



Εικόνα 43 Οριζόντια Διατομή Βάθρων της Γέφυρας Μοϊτανικά
(Επιστημονικοί Συνεργάτες του Νίκαιτς)



Εικόνα 44 Κατακόρυφη Διατομή Βάθρου της Γέφυρας Μοϊτανικά
(Επιστημονικοί Συνεργάτες του Νίκαιτς)

Η γέφυρα Moštanica, στο Μαυροβούνιο συνεχίζει έως και σήμερα να είναι μια εμβληματική κατασκευή και ένα δημοφιλές τουριστικό αξιοθέατο και συγχρόνως εξακολουθεί να λειτουργεί ως πεζογέφυρα και μπορεί να υποστηρίξει την διέλευση πεζών και ελαφρών οχημάτων.

Η εντυπωσιακή τοξωτή αυτή γέφυρα διαθέτει έναν μοναδικό σχεδιασμό με καμάρες ανάμεσα στις κολώνες της. Ακόμη και σήμερα, παρά την ηλικία της, προσφέρει εκπληκτική θέα στα γύρω τοπία. Η γέφυρα Moštanica έχει γίνει ένα σημαντικό τουριστικό αξιοθέατο της χώρας του Μαυροβούνιου και της πόλης του Νίκσιτς. Η τοποθεσία της είναι ιδιαίτερα γραφική αφού περιβάλλεται από τον ποταμό Μοστάνιτσα και τα καταπράσινα βουνά της γύρω περιοχής. Αυτά προσελκύουν επισκέπτες που εκτιμούν τη φυσική ομορφιά και τα αρχιτεκτονικά θαύματα. Τουρίστες από όλο τον κόσμο που έχουν ως προορισμό το Νίκσιτς και το Μαυροβούνιο, επισκέπτονται συχνά τη γέφυρα για να θαυμάσουν την ιστορική της αξία, να τραβήξουν φωτογραφίες και να απολαύσουν την θέα της.

Η γέφυρα Moštanica προσφέρει διάφορες ψυχαγωγικές δραστηριότητες για τους ανθρώπους που την επισκέπτονται. Μία από τις πλέον δημοφιλείς δραστηριότητες της περιοχής, είναι η πεζοπορία (hiking) στην φύση, συνδυάζοντας την διάβαση του ποταμού στην διαδρομή τους. Αξιοσημείωτο επίσης είναι το εκπληκτικό τοπίο που περιτριγυρίζει το φαράγγι. Επιπλέον, η γέφυρα είναι προσβάσιμη για τους πεζούς, δίνοντας την ευκαιρία για επισκεψιμότητα, χαλαρούς περιπάτους και περαιτέρω εξερεύνηση.

Η Γέφυρα αυτή έχει δημιουργηθεί με ένα ιδιαίτερο σχήμα. Από Βορά προς Νότο, η γέφυρα ξεκινάει με 2 μεγάλες ευθείες με την μετάβαση από την πρώτη στην δεύτερη να ακολουθεί μια ανοιχτή δεξιά στροφή με μια γωνία περίπου 160° . Εν συνεχεία η γέφυρα κάνει μια απότομη αριστερή στροφή με γωνία περίπου 95° και η γέφυρα καταλήγει. Οι τρεις ευθείες αυτές έχουν μήκη περίπου 15, 40 και 8 μέτρα αντίστοιχα.

Οι χαρακτηριστικές καμάρες της γέφυρας Moštanica είναι έξι και έχουν ανοίγματα από 3.5 έως και 5.5 μέτρα με εξαίρεση την έκτη, Νότια καμάρα η οποία βρίσκεται μετά από την στροφή που εμφανίζει η γέφυρα. Η Νότια καμάρα είναι αρκετά μικρότερη από όλες τις υπόλοιπες με καμάρες ανοίγματος 1.80 και 2.30 μέτρων. Επίσης εμφανίζει ένα μοναδικό σχήμα αφού μετά την μέση της καμάρας μειώνεται απότομα το μέγεθος της, και αυτό δεν οφείλεται σε κατολισθήσεις, αλλά είναι ο τρόπος που δημιουργήθηκε η γέφυρα. Το ύψος της καμάρας από το έδαφος μειώνεται από την Νότια μεριά της προς την Βόρεια.

Ο Βορειότερος κίονας της γέφυρας, έχει τέσσερις ογκόλιθους τοποθετημένους για διακοσμητικούς λόγους. Η Νοτιότερη καμάρα από τις έξι της γέφυρας, εμφανίζει μερικές ευθείες γραμμές, χαραγμένες στην βάση της, πιθανόν για διακοσμητικούς λόγους. Συγχρόνως, επάνω από την καμάρα της γέφυρας και στο Νοτιοανατολικό άκρο της, υπάρχει ένα ιδιαίτερο σχέδιο. Φαίνεται

πως είναι λυγισμένη και χάρη στην καμπύλη που δημιουργείται, φέρει ένα σχήμα σαν πίπα καπνού. Αυτό, σύμφωνα με αστικούς μύθους της περιοχής, αποτέλεσε παράγοντα στον να ονομαστεί από τους Οθωμανούς ως «Lula ćuprija» ([*Life at the Border BiH / CG - The Old Tract of Timeless Heritage and Tradition*](#)), το οποίο σημαίνει η γέφυρα του λουλά. Αυτό λογικά πηγάζει από την τούρκικη λέξη lüle, γνωστός στα Ελληνικά και ως λουλάς, που είναι η εστία του ναργιλέ στην οποία επάνω τοποθετείται ο καπνός και τα κάρβουνα.

6. Εργασίες Πεδίου

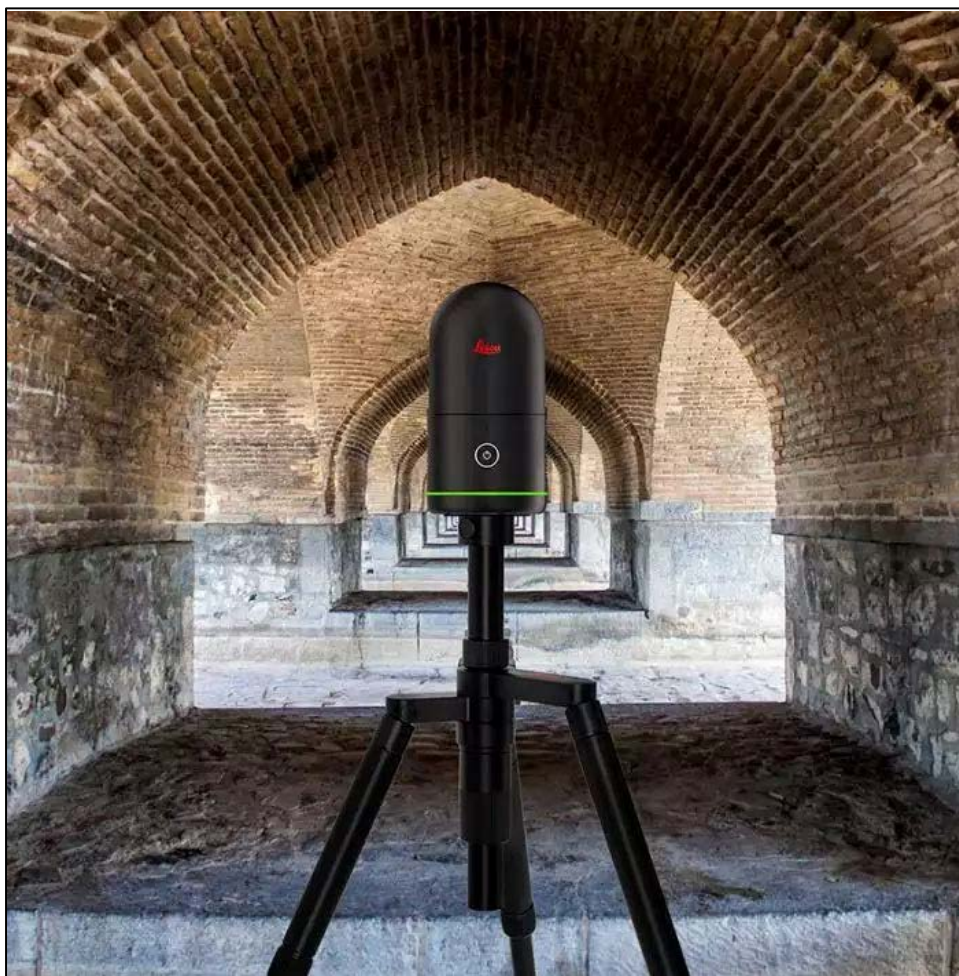
Η Τεκμηρίωση της γέφυρας Moštanica έγινε με σύγχρονες μεθόδους προκειμένου να διεκπεραιωθούν με την μέγιστη οικονομία χρόνου και ακρίβεια, επιτρέποντας μας συγχρόνως να αναδείξουμε αυτές τις μεθοδολογίες με την ευκαιρία αυτή που δόθηκε. Για την αποτύπωση ή σάρωση της γέφυρας χρησιμοποιήθηκε ο πολυσυζητημένος επίγειος τρισδιάστατος σαρωτής λέιζερ.

Επιλέχθηκαν στρατηγικά οι θέσεις στις οποίες επρόκειτο να στηθεί ο 3Δ σαρωτής λέιζερ, έτσι ώστε στο σύνολο τους οι στάσεις αυτές να καλύπτουν και να έχουν την δυνατότητα να αποτυπώσουν όλες τις πλευρές τις γέφυρας και όλα τα χαρακτηριστικά σημεία της. Επίσης ζητούμενο πάντα είναι αυτές οι θέσεις να έχουν ικανοποιητική ορατότητα με τουλάχιστον άλλες δύο, κάτι το οποίο πρέπει να υπάρχει για την επίλυση του νέφους και την μείωση του σφάλματος κλεισίματος. Εάν μια στάση στησίματος του σαρωτή λέιζερ έχει ορατότητα και με περισσότερες από δύο άλλες στάσεις, βελτιώνει την ακρίβεια της θέσης της ως προς το υπόλοιπο νέφος του αντικειμένου αλλά και μειώνει το συνολικό σφάλμα επίλυσης του νέφους σημείων της γέφυρας.

Επιβάλλεται να σημειωθεί πως οι σαρώσεις της γέφυρας με τον 3Δ σαρωτή λέιζερ έγιναν από τον καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, Κύριο Παγούνη Βασίλειο, και μου τις παρείχε για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, για το οποίο και τον ευχαριστώ.

Το μοντέλο 3d laser scanner που χρησιμοποιήθηκε ήταν το BLK360 της εταιρείας Leica τον οποίο διαθέτει το εργαστήριο Τοπογραφίας – Γεωδαισίας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Είναι ένας αρκετά σύγχρονος και εύχρηστος επίγειος σαρωτής λέιζερ και για αυτό προτιμάται πλέον από μεγάλο πλήθος μηχανικών.

Πρόκειται για ένα όργανο σάρωσης κατασκευασμένο από μαύρο ανοξείδωτο αλουμίνιο με το ελάχιστο βάρος του 1 κιλού και διαστάσεις 165χιλιοστά ύψος και 100 χιλιοστά διάμετρο κυλίνδρου. Συγκριτικά με τους παλαιότερους σαρωτές που είχαν τον όγκο δύο γεωδαιτικών σταθμών και βάρος άνω των 40 κιλών, το νεότερο όργανο της Leica μοιάζει να είναι παιχνίδι μπροστά τους. (leica-geosystems.com)



*Εικόνα 45 3D Laser Scanner – Leica BLK360
(sccsurvey.co.uk)*

Παρόλο το συμπαγές μέγεθος του, ο BLK360 επιφέρει ακρίβειες της τάξεως των 4mm στα 10m και 7mm στα 20m απόστασης σάρωσης από το αντικείμενο προς μελέτη. Η Leica υπόσχεται πως το όργανο της αυτό μπορεί να σαρώσει έως 360° στον οριζόντιο και έως 300° στον κατακόρυφο άξονα, και όλα αυτά σε λιγότερο από 3 λεπτά λειτουργίας.

Επίσης, μην ξεχνάμε πως ο σαρωτής αυτός περιέχει και έναν φωτογραφικό φακό εντός της κατασκευής του, προκειμένου να καταγράφει φωτογραφίες μορφής σφαίρας 360°, ύστερα από κάθε σάρωση του, από τις οποίες προκύπτει και η υφή του μοντέλου. Αυτό μας διευκολύνει στην επίλυση ομαλών κατασκευών οι οποίες όμως έχουν χαρακτηριστικά χρώματα και φυσικά αποδίδει την βέλτιστη υφή στο τελικό νέφος σημείων μας.

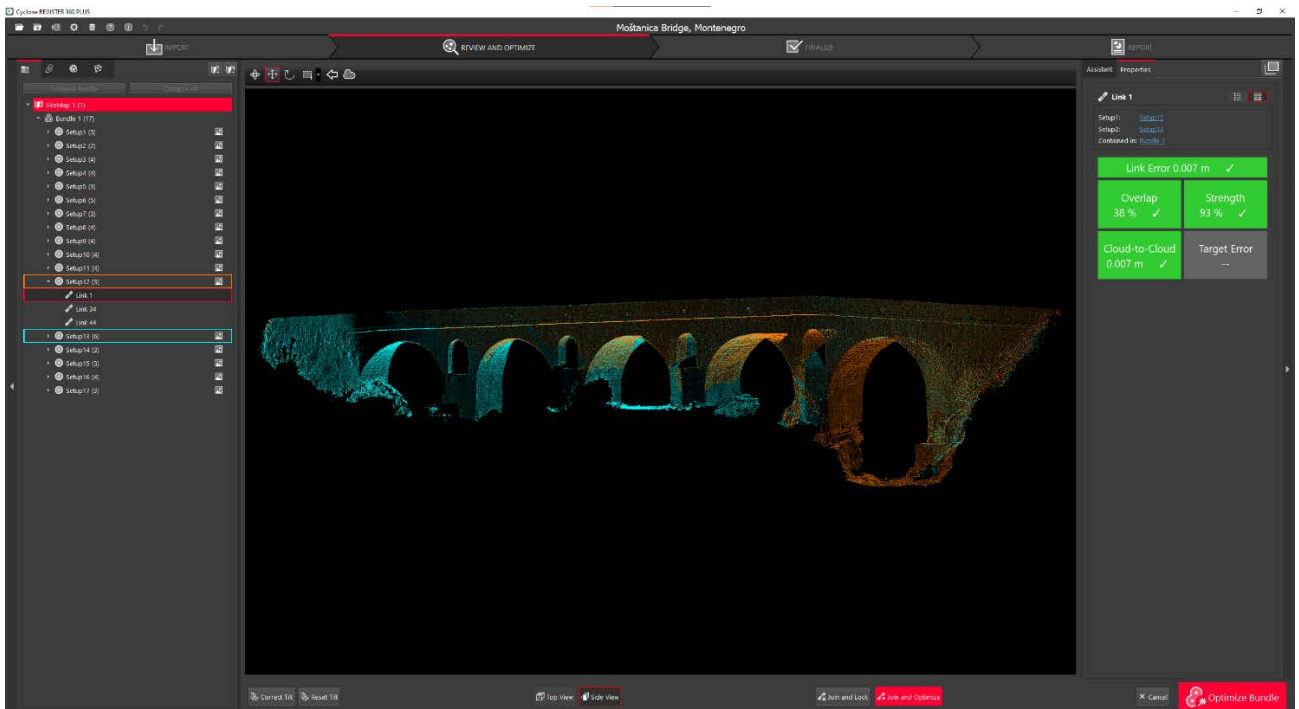
7. Επεξεργασία Δεδομένων

Ο συγκεκριμένος σαρωτής της Leica συνεργάζεται βέλτιστα με το ειδικό πρόγραμμα που έχει σχεδιαστεί για την ιδιαίτερα εύκολη επίλυση των σαρωμένων νεφών του, το Cyclone Register360. Το Software αυτό είναι ένα ισχυρό πρόγραμμα επίλυσης και συνεργάζεται βέλτιστα με τις νεότερες

προσθήκες και στο τμήμα hardware της ίδιας εταιρείας, της Leica.

Κατά την εισαγωγή των σαρώσεων δηλώνουμε στο πρόγραμμα το μοντέλο του σαρωτή με τον οποίο σαρώθηκαν τα νέφη της γέφυρας. Το Cyclone Register 360 συνεργάζεται τόσο καλά με τις σαρώσεις που έχει την δυνατότητα να προσπαθήσει να επιλύσει μόνο του και να συνδέσει τα νέφη σε ένα ενιαίο μοντέλο. Μπορεί επίσης να εντοπίσει αυτόματα τους τοποθετημένους στόχους επάνω στα νέφη, εφόσον υπάρχουν, για να βοηθηθεί στην επίλυση.

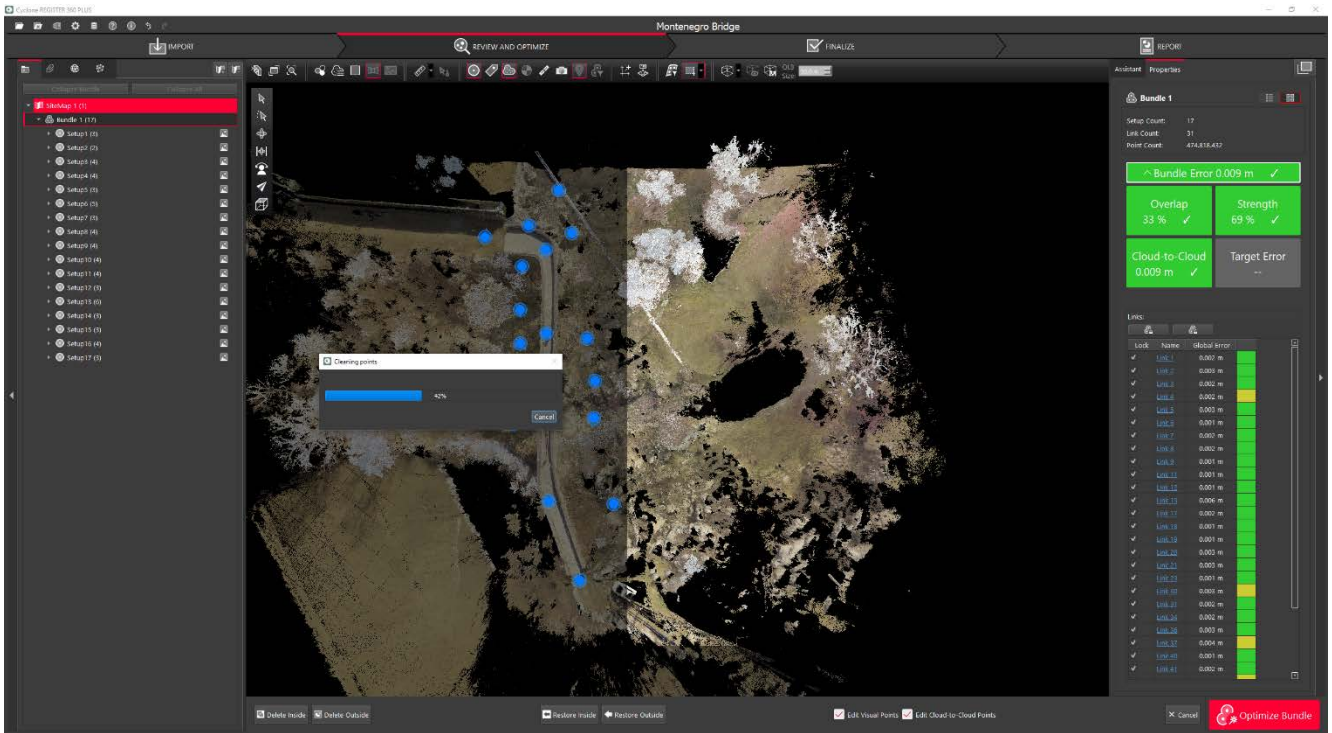
Στην δική μας περίπτωση, το πρόγραμμα πέτυχε αρκετές συνδέσεις μεταξύ των νεφών, ωστόσο δεν κατάφερε την τελική ένωση, καταλήγοντας έτσι με 2 διαφορετικές ομάδες νεφών, δύο bundles όπως τα ονομάζει. Οι επιλογές που έχει ο κάθε χειριστής σε εκείνο το σημείο είναι είτε να επανεκκινήσει το πρόγραμμα χωρίς να αποθηκεύει κάτι και να του δώσει άλλη μια ευκαιρία να επιλύσει εισάγοντας ξανά από την αρχή τα νέφη, είτε να συνεχίσει από εκεί που άφησε τα νέφη το πρόγραμμα, χειροκίνητα. Αποφασίστηκε η χειροκίνητη ευθυγράμμιση των νεφών όπου το πρόγραμμα σου επιτρέπει να ελέγξεις γραφικώς τα νέφη σε ένα ειδικό περιβάλλον στο οποίο απομονώνει μόνο τα 2 επιλεγμένα νέφη εμφανίζοντας τα με διαφορετικά χρώματα και σου επιτρέπει να τα μετακινήσεις σε έναν άξονα την κάθε φορά προκειμένου να υποδείξεις στο πρόγραμμα την χοδρική ευθυγράμμιση των νεφών έτσι ώστε να το κατευθύνεις στην επίλυση του νέφους. Αυτή η διαδικασία μπορεί να πετύχει την ένωση 2 νεφών ή και την βελτιστοποίηση της και την μείωση του σφάλματος μεταξύ τους.



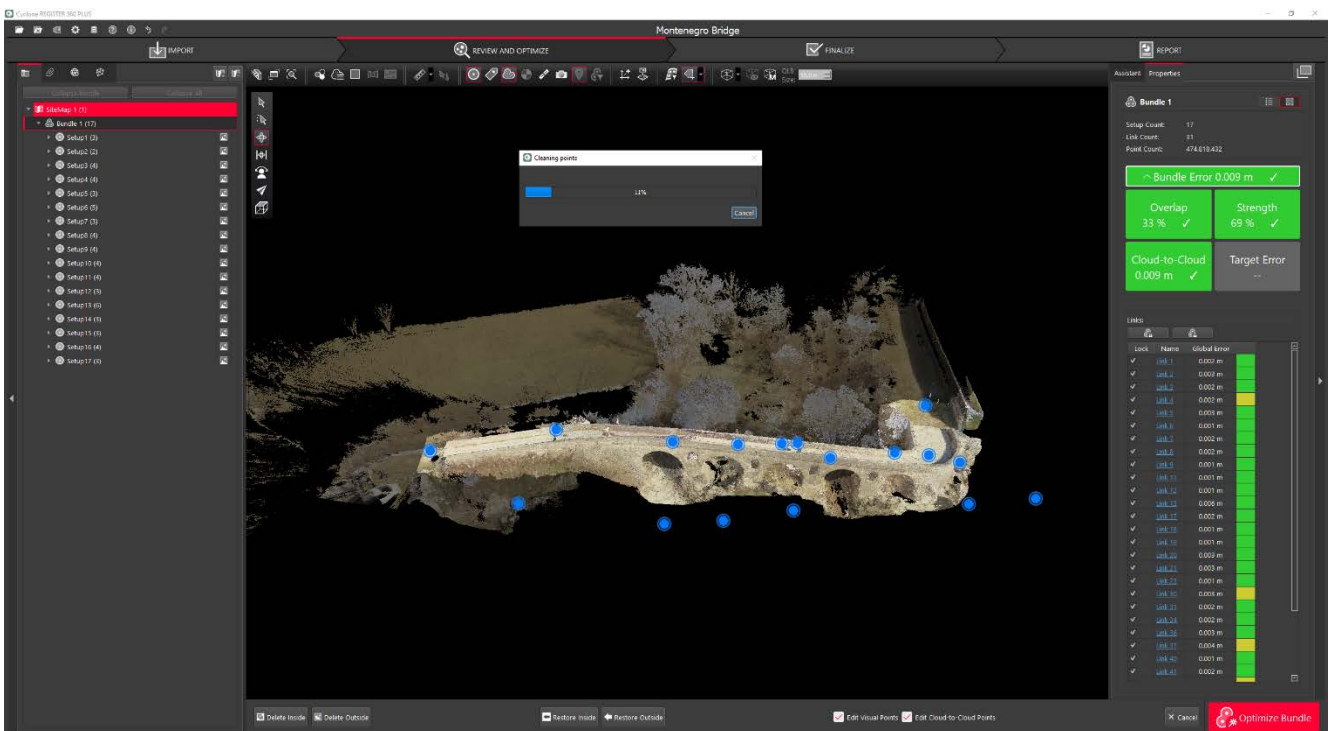
Εικόνα 46 Ευθυγράμμιση Νεφών σε Περιβάλλον Cyclone Register 360 Plus

Εν συνεχεία καθαρίστηκε το νέφος από αχρείαστα σαρωμένα σημεία και θόρυβο. Αυτά υπάρχουν σε κάθε μελέτη αυτού του είδους και διευκολύνει την επίλυση και την επεξεργασία των

νεφών ο καθαρισμός τους, αφού μειώνει δραματικά το μέγεθος των αρχείων που καλείται να επεξεργαστεί ο υπολογιστής κάθε φορά. Πέραν από την εξοικονόμηση χώρου και χρόνου, είναι με διαφορά πιο ευδιάκριτα όλα τα σημεία ενδιαφέροντος και στο ανθρώπινο μάτι ύστερα από έναν σωστό καθαρισμό νέφους.

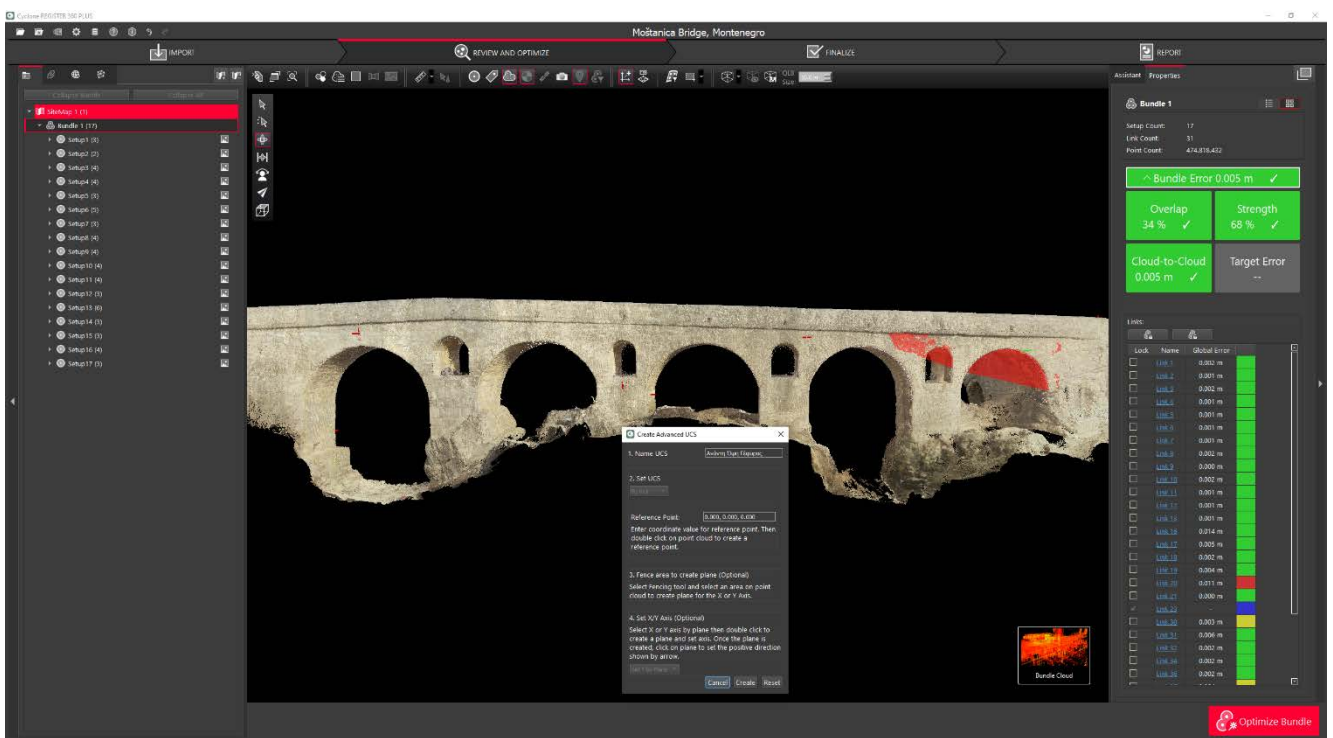


Εικόνα 47 Καθαρισμός Νέφους από Θόρυβο σε Περιβάλλον Cyclone Register 360 Plus



Εικόνα 48 Καθαρισμός Νέφους από Θόρυβο 2 σε Περιβάλλον Cyclone Register 360 Plus

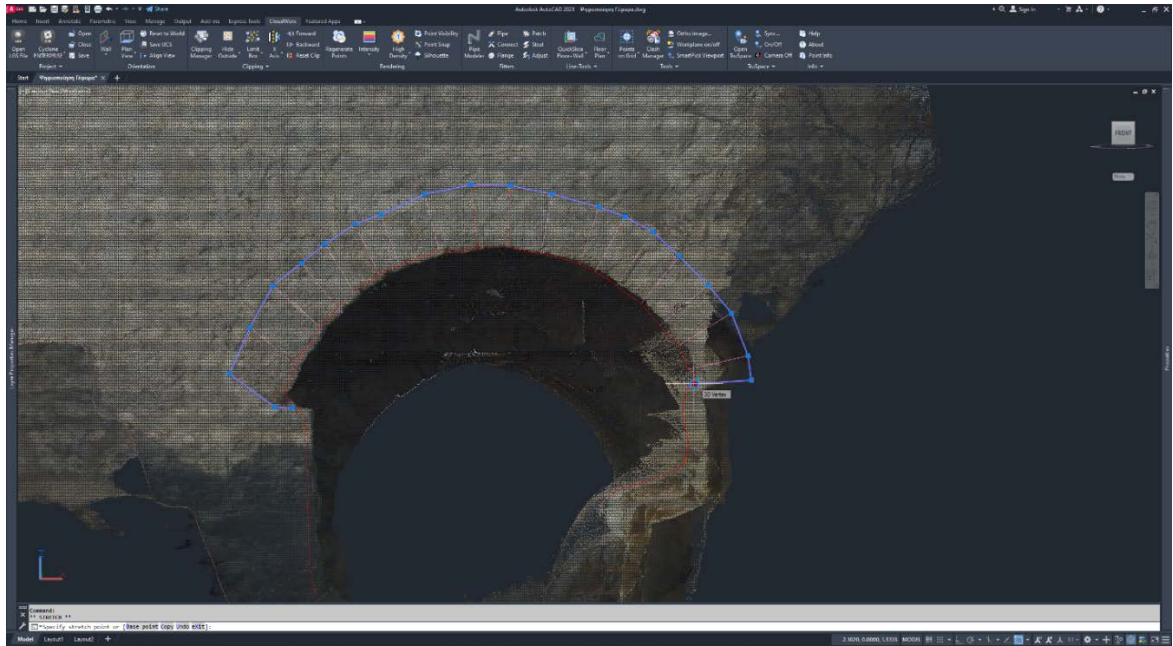
Το επόμενο βήμα που ακολουθήθηκε, αφότου ελαχιστοποιήθηκε το σφάλμα και προέκυψε το τελικό ενιαίο νέφος σημείων της γέφυρας, ήταν η ίδρυση των συστημάτων συντεταγμένων με σκοπό την ψηφιοποίηση και την τελική δημιουργία των σχεδίων. Δημιουργήθηκε αρχικά ένα σύστημα συντεταγμένων παράλληλα με την μεγαλύτερη διάσταση και ευθεία της γέφυρας, για την δημιουργία των κατάντη και ανάντη όψεων της. Το πρώτο σύστημα συντεταγμένων δημιουργήθηκε εντός του περιβάλλοντος του Cyclone Register 360 Plus, με την βοήθεια της εντολής του προγράμματος όπου δηλώνεις 2 σημεία και το πρόγραμμα δημιουργεί μια επιφάνεια, και συνεπώς δημιουργεί το σύστημα συντεταγμένων.



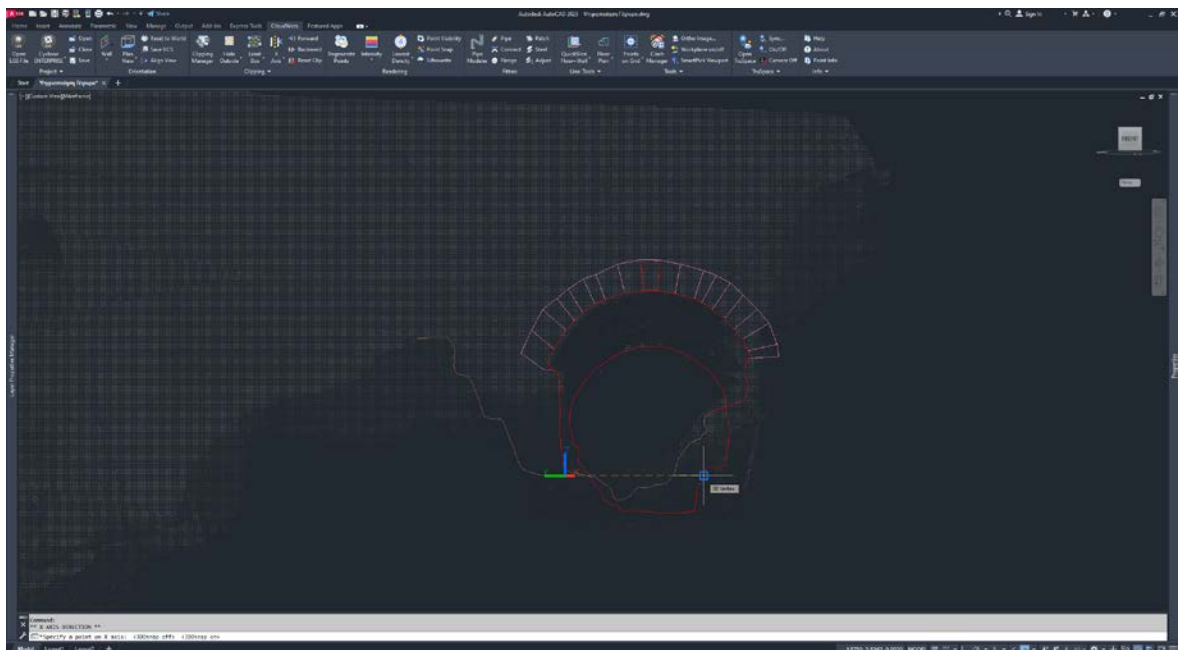
Εικόνα 49 Ίδρυση Συστήματος Αναφοράς σε Περιβάλλον Cyclone Register 360 Plus

Φεύγοντας από το περιβάλλον του Cyclone Register 360 Plus και αφότου έγινε η εξαγωγή της τελικής αναφοράς του προγράμματος που αναλύει τις ακρίβειες της επίλυσης, η τεκμηρίωση της γέφυρας Μοδτανίκα συνεχίστηκε μέσω του πολύ δημοφιλούς σχεδιαστικού προγράμματος Autocad της εταιρείας Autodesk το οποίο συνεργάζεται με μια εργαλειοθήκη της εταιρείας Leica από όπου προέρχεται και το προηγούμενο πρόγραμμα όπως και ο επίγειος σαρωτής λέιζερ που χρησιμοποιήθηκε. Η εργαλειοθήκη ονομάζεται Leica Cloudworx και λύνει τα χέρια του μηχανικό όταν πρόκειται για τρισδιάστατη μελέτη και τεκμηρίωση μιας κατασκευής. Παρέχει πληθώρα επιλογών και διευκολύνει την επεξεργασία και την ψηφιοποίηση ενός νέφους σημείων. Επιλογές όπως: το χρώμα εμφάνισης του νέφους, η πυκνότητα του, η δημιουργία συστήματος αναφοράς, κοπή λωρίδας του νέφους, snap του κέρσορα στα σημεία του νέφους και πολλά άλλα, κάνουν την εργασία πιο γρήγορη και ανώδυνη για τον ερευνητή και τον εξοπλισμό του.

Νέα συστήματα συντεταγμένων επίσης ιδρύθηκαν εντός του περιβάλλοντος Autocad διότι ήταν πιο εύκολο σε μερικές περιπτώσεις. Μια από αυτές ήταν το σύστημα συντεταγμένων για την Νότια όψη η οποία εμφάνιζε μια στροφή σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων των ανάντη και κατόντη όψεων, η οποία δεν ήταν ορθή ούτε κάποια άλλη στρογγυλοποιημένη τιμή. Το σύστημα συντεταγμένων αυτής της όψης δημιουργήθηκε με σκοπό την ευθυγράμμιση της καμάρας με το στένεμα που εμφανίζει μετά την μέση της.



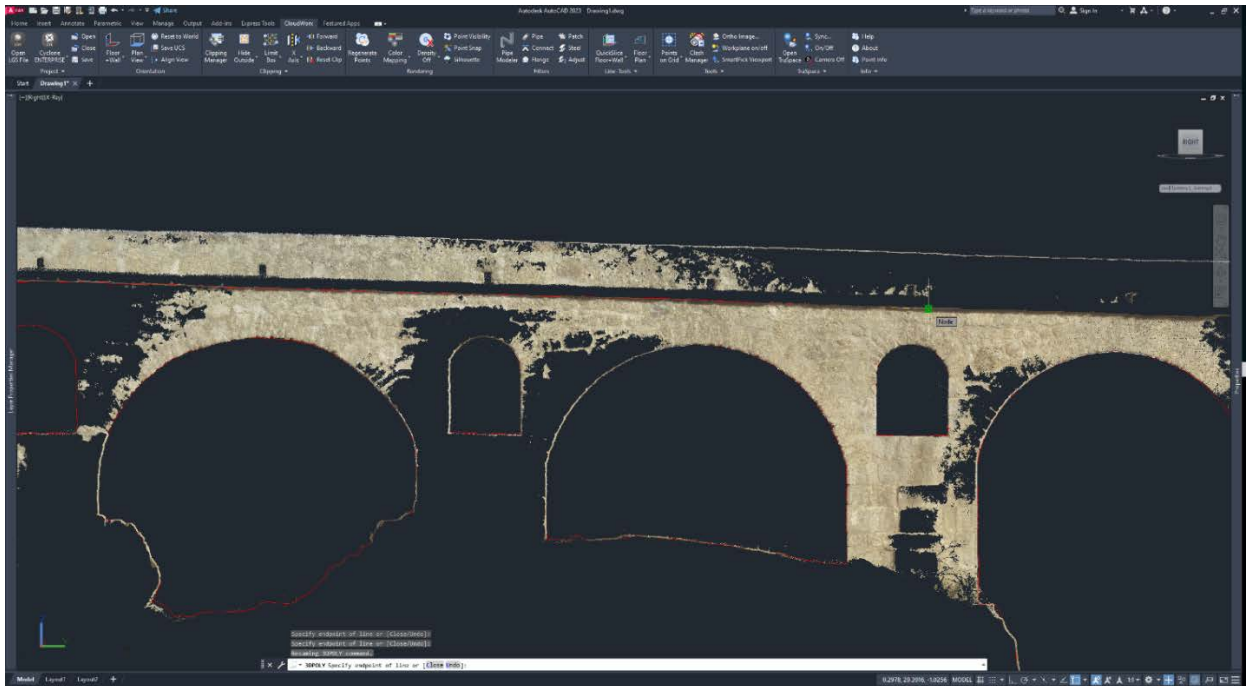
Εικόνα 50 Ψηφιοποίηση Νότιας Καμάρας σε περιβάλλον Autocad και Cloudworx



Εικόνα 51 Ορισμός Συστήματος Αναφοράς Νότιας Όψης σε περιβάλλον Autocad και Cloudworx

Με την χρήση των εντολών του προγράμματος Autocad και της εργαλειοθήκης Cloudworx, συνεχίστηκε η ψηφιοποίηση της γέφυρας και η οργάνωση των δεδομένων. Όπως είναι λογικό, ο

μεγάλος όγκος δεδομένων που υπάρχει χωρίς μια καλή οργάνωση θα κατέληγε σε ένα χάος το οποίο δεν καταλήγει σε μια εύχρηστη πηγή δεδομένων. Κατά την ψηφιοποίηση της γέφυρας, τα δεδομένα χωρίζονταν στα αντίστοιχα επίπεδα τους (layers). Ψηφιοποιήθηκαν και ομαδοποιήθηκαν στοιχεία της γέφυρας όπως: βάθρα, καμάρες, τόξα, κλειδιά τόξων, κατάστρωμα, γραμμή εδάφους και στηθαία.



Εικόνα 52 Ψηφιοποίησης της Γέφυρας σε περιβάλλον Autocad και Cloudworx

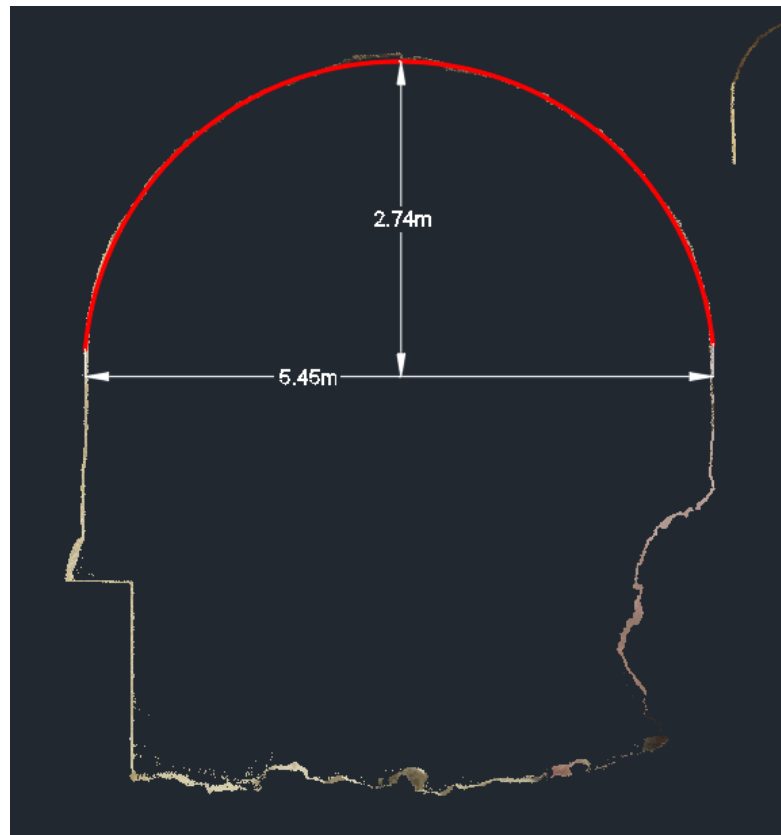
Προτού καταλήξουμε στα τελικά δεδομένα όπου είναι τα δημιουργημένα σχέδια της γέφυρας, έγινε έλεγχος των τόξων της γέφυρας, του ύψους και του πλάτους τους. Όπως αναλύεται στο [Κεφάλαιο 13](#), ένα τόξο μπορεί να υπάγει σε μια από 3 κατηγορίες. Αυτό κρίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Ύψος Τόξου} = \frac{\text{Άνοιγμα Τόξου}}{2}$$

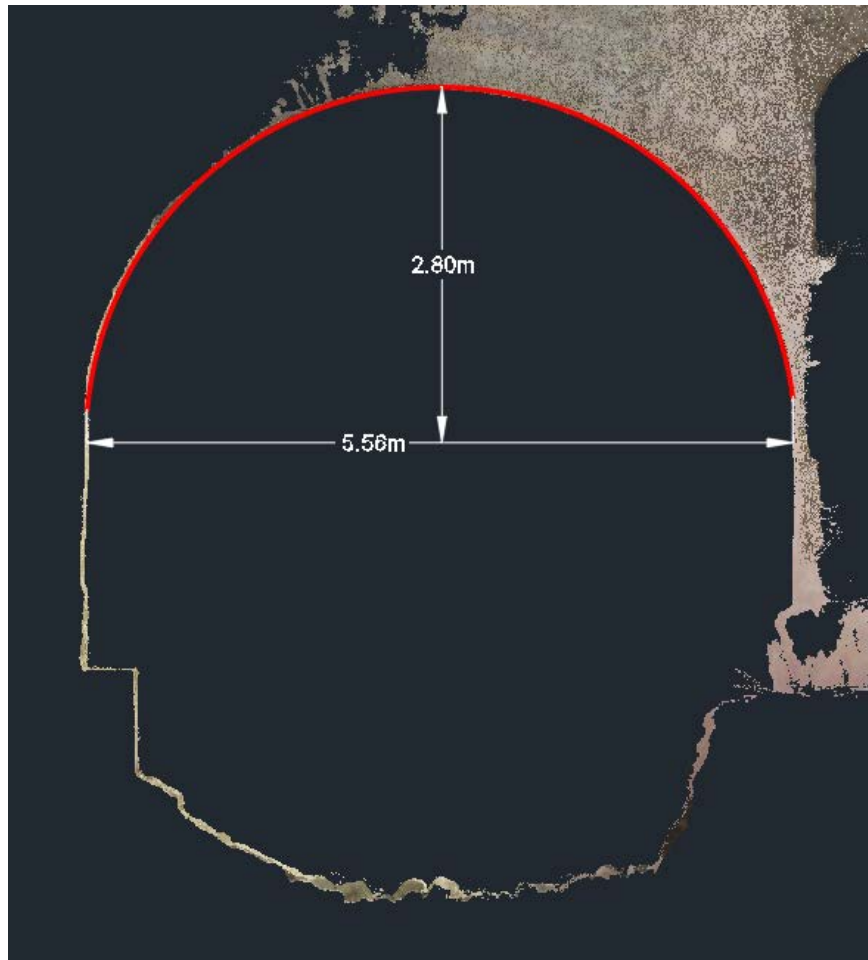
Εφαρμόστηκαν σχεδιαστικά κυκλικά τόξα στα τόξα των καμαρών και μετρήθηκαν οι δύο διαστάσεις τους που χρειάζονται για τον έλεγχο του τύπου τους, το άνοιγμα του κάθε τόξου και το ύψος του. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιήθηκε η εργαλειοθήκη Cloudworx στον πρόγραμμα Autocad όπου και κόπηκε το νέφος σε 3 λωρίδες για την κάθε καμάρα προκειμένου να μπορεί να μετρηθούν οι προαναφερθέντες διαστάσεις. Τα τόξα αριθμούνται από Βόρεια προς Νότια και από το 1 έως το 6.



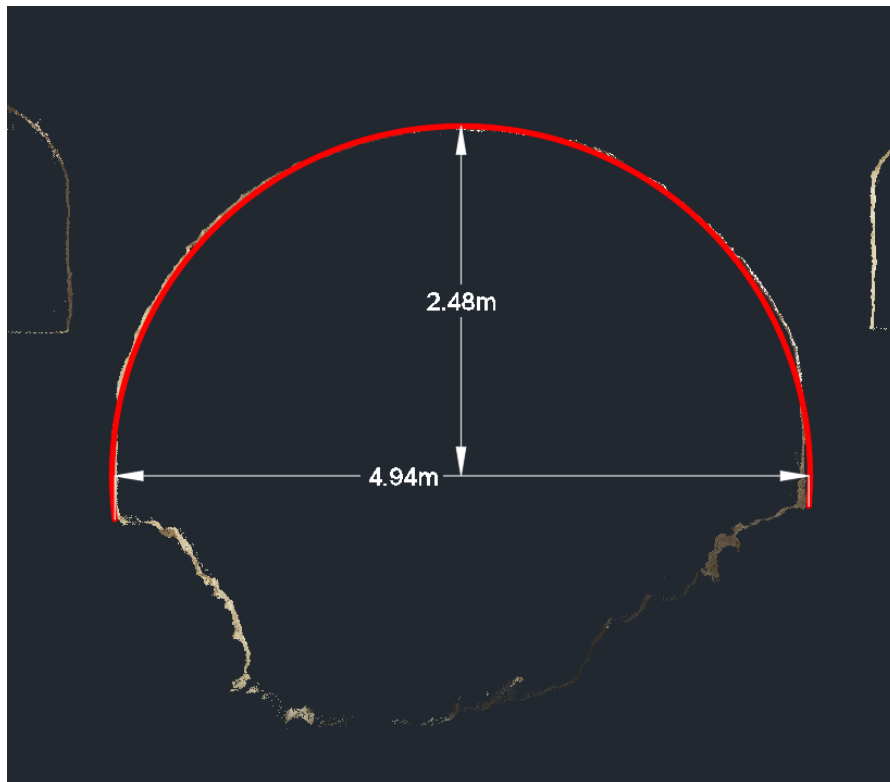
Εικόνα 53 Τόξο 1 Διατομή 1



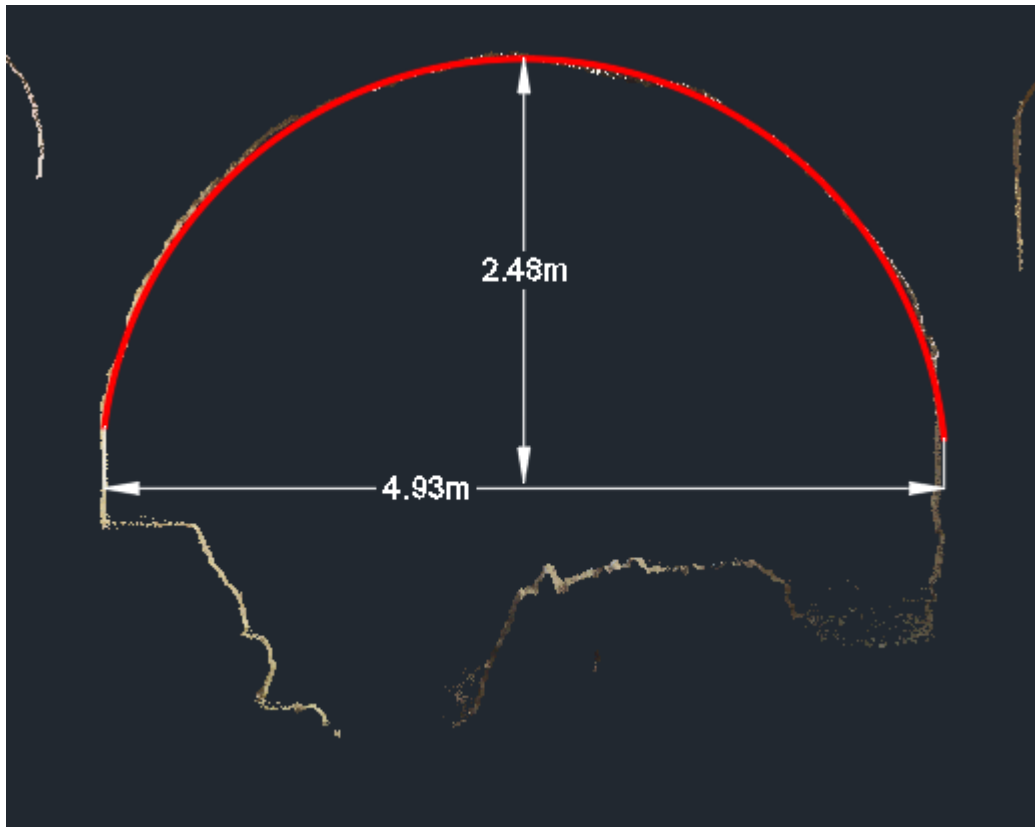
Εικόνα 54 Τόξο 1 Διατομή 2



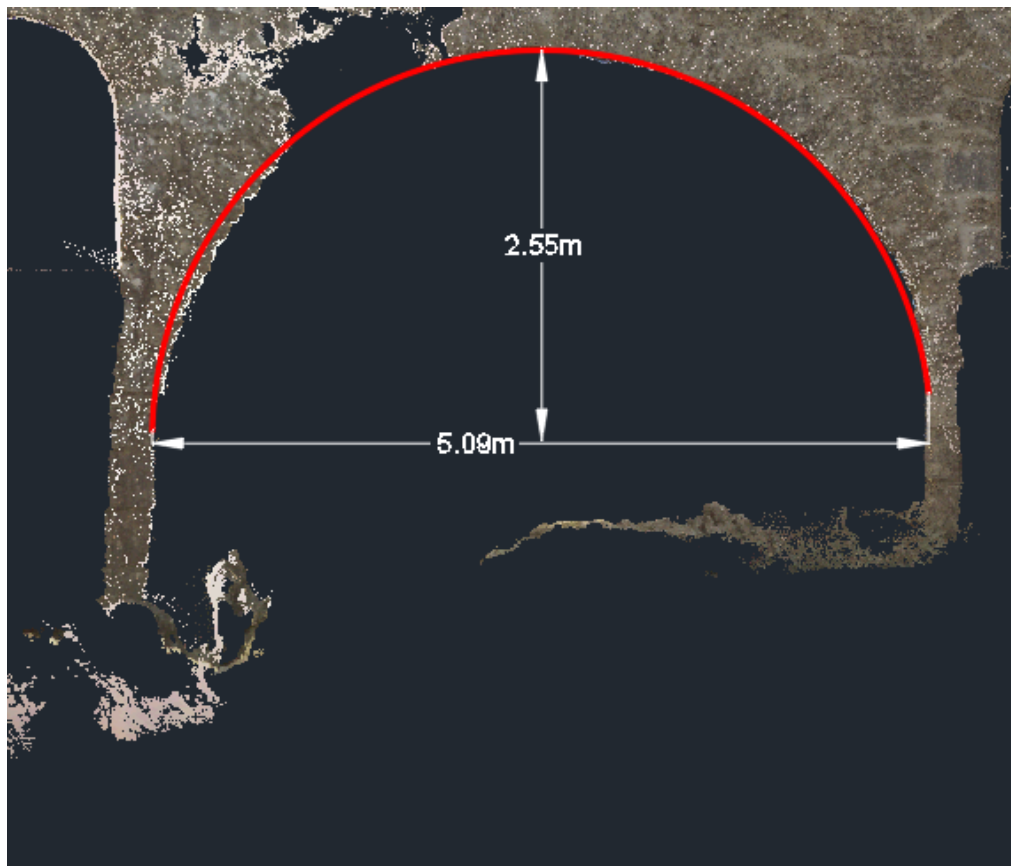
Εικόνα 55 Τόξο 1 Διατομή 3



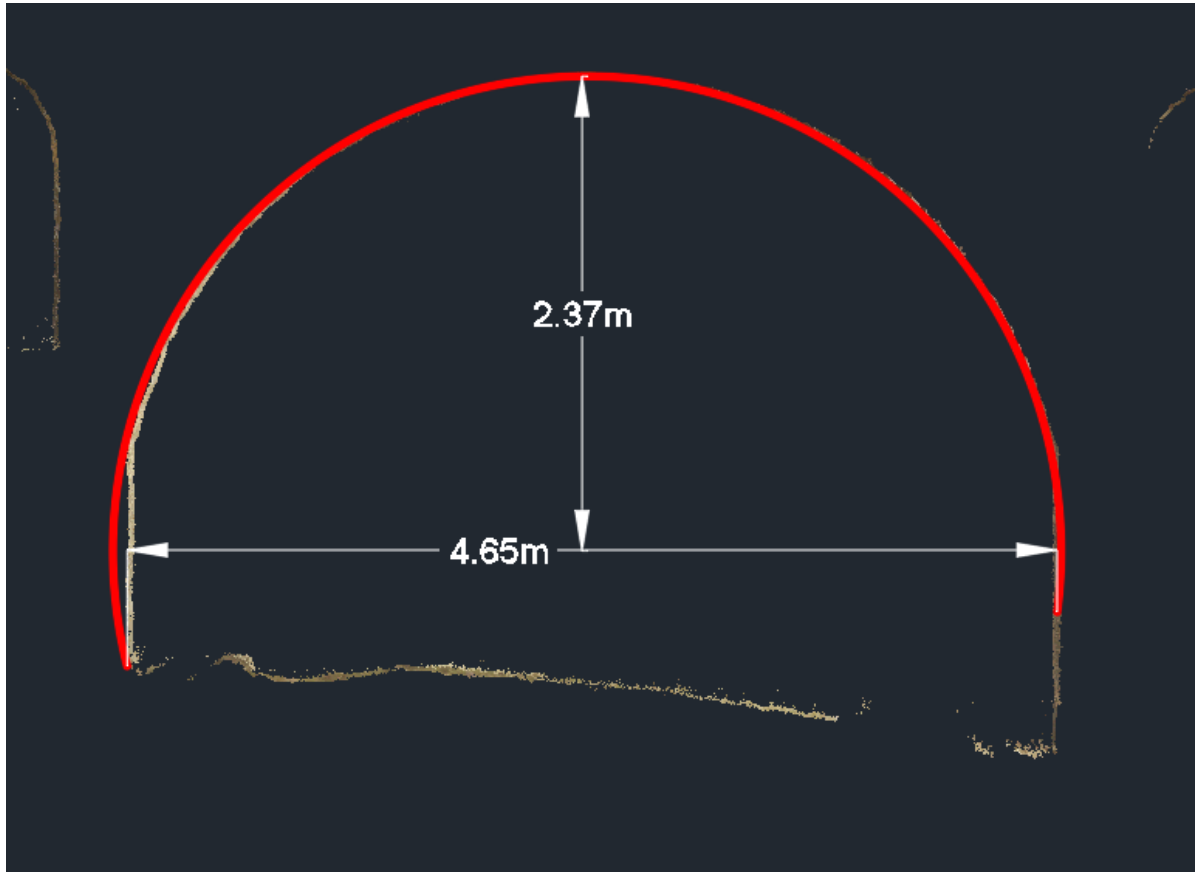
Εικόνα 56 Τόξο 2 Διατομή 1



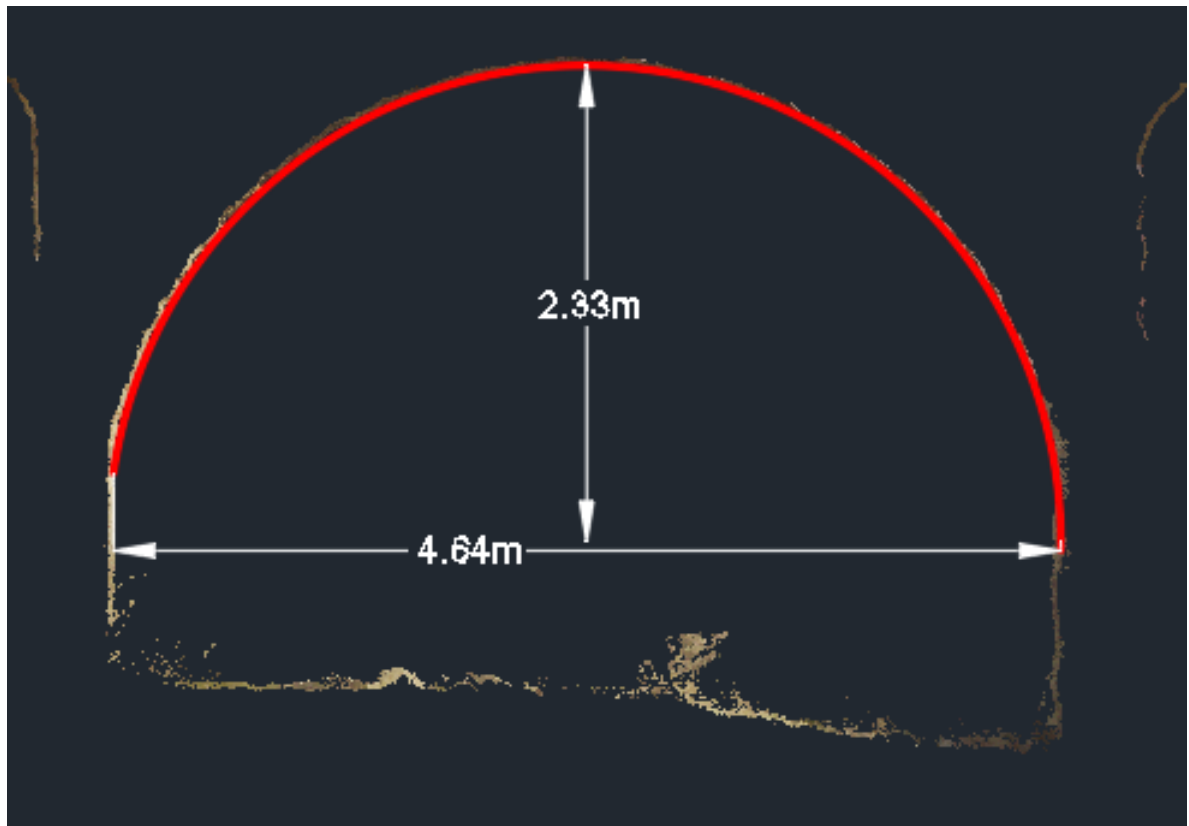
Εικόνα 57 Τόξο 2 Διατομή 2



Εικόνα 58 Τόξο 2 Διατομή 3



Εικόνα 59 Τόξο 3 Διατομή 1



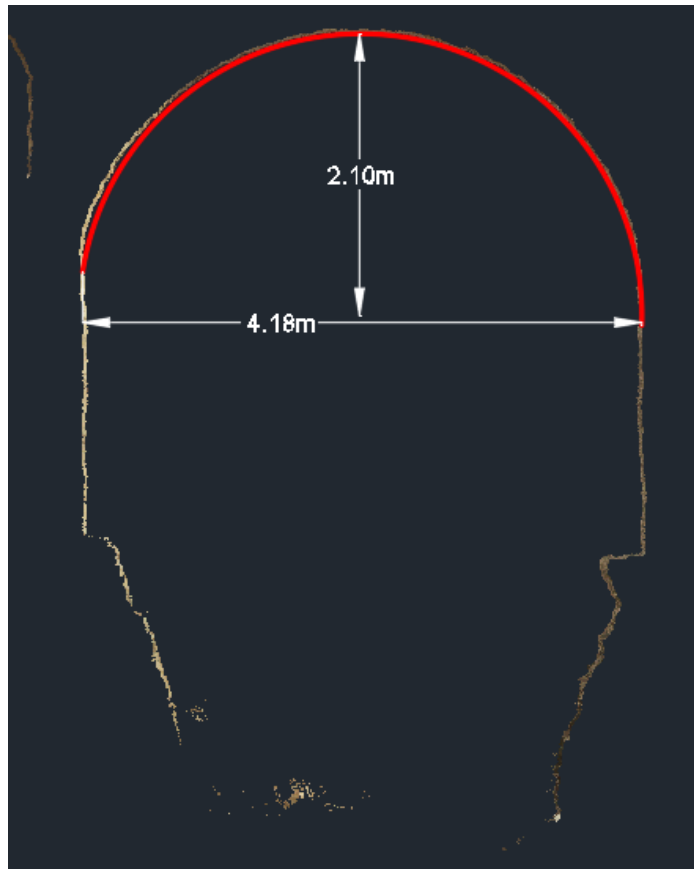
Εικόνα 60 Τόξο 3 Διατομή 2



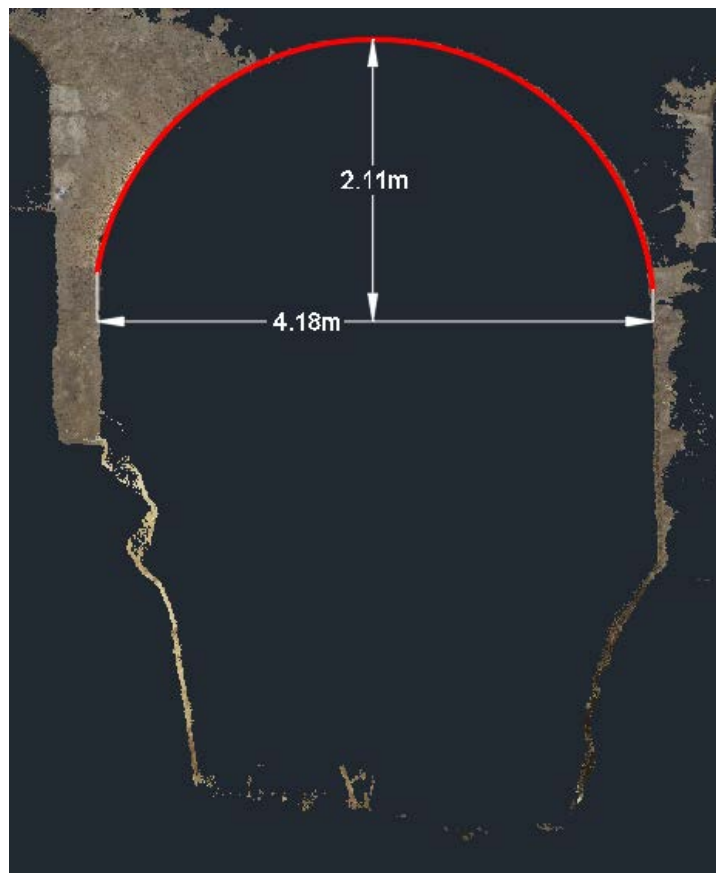
Εικόνα 61 Τόξο 3 Διατομή 3



Εικόνα 62 Τόξο 4 Διατομή 1



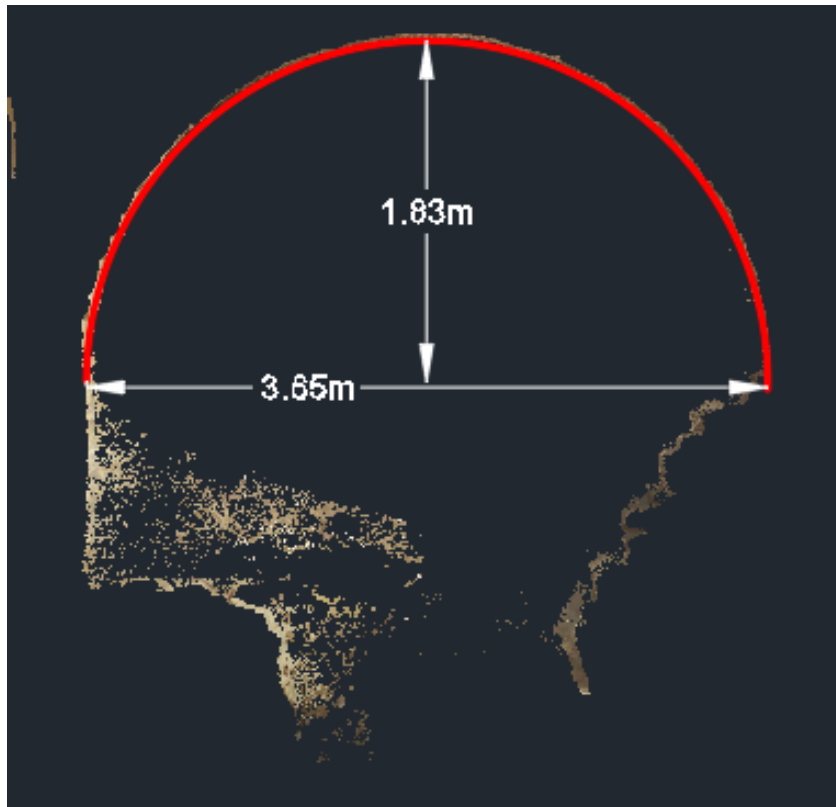
Εικόνα 63 Τόξο 4 Διατομή 2



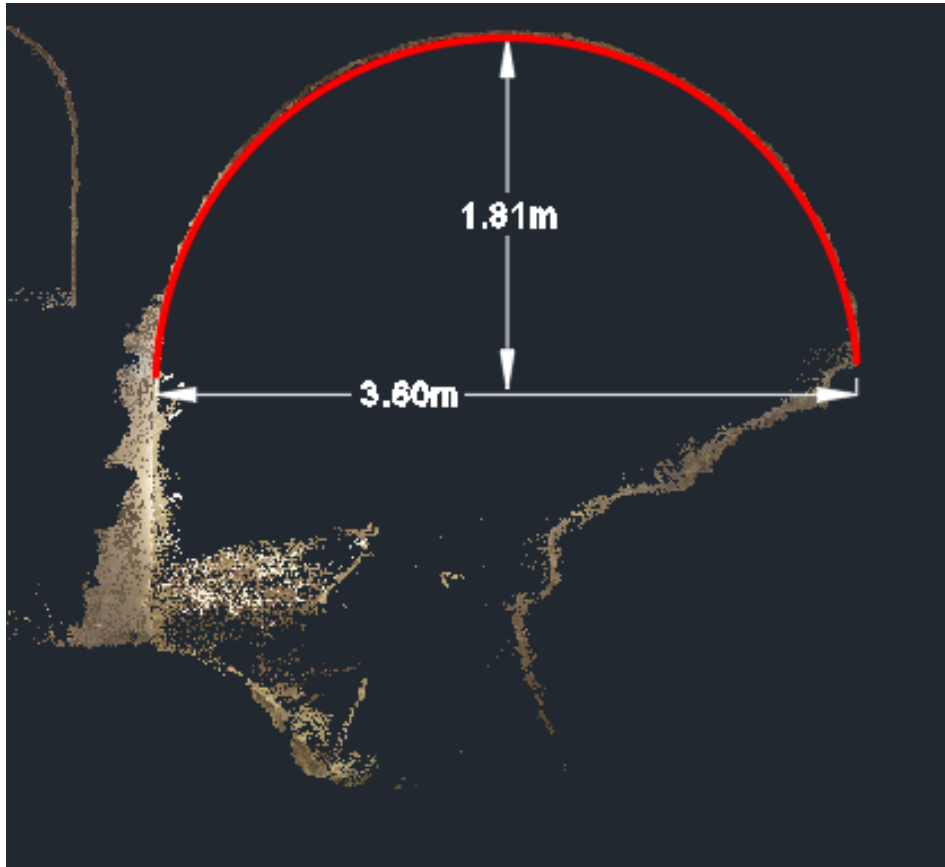
Εικόνα 64 Τόξο 4 Διατομή 3



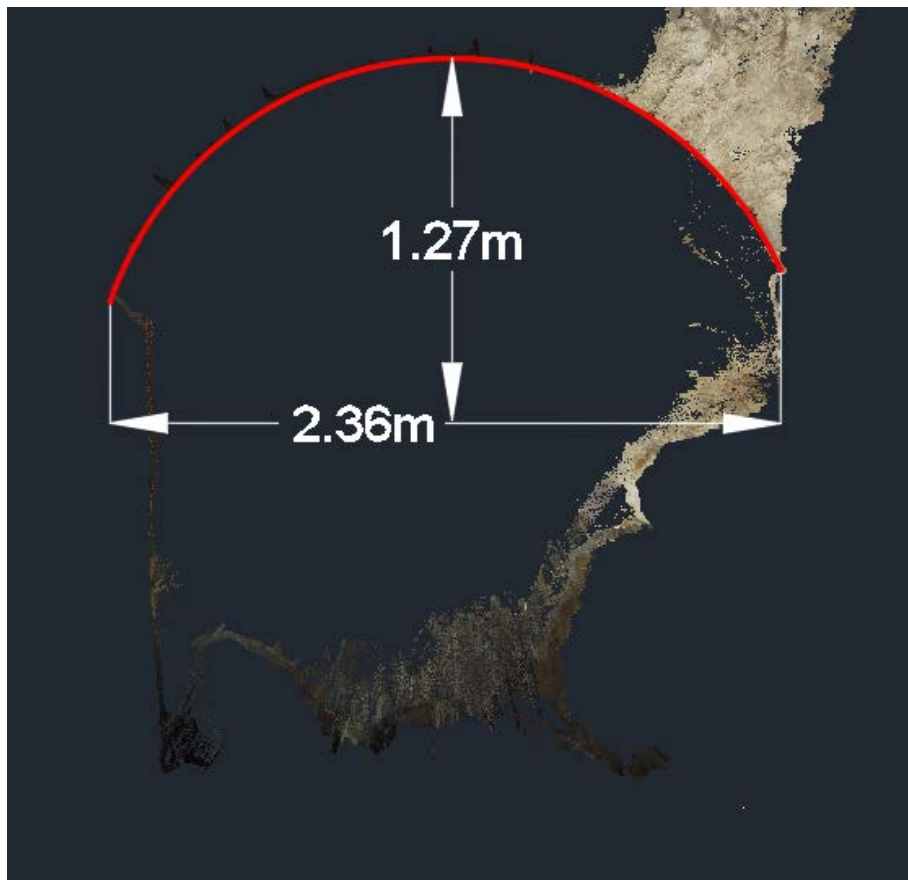
Εικόνα 65 Τόξο 5 Διατομή 1



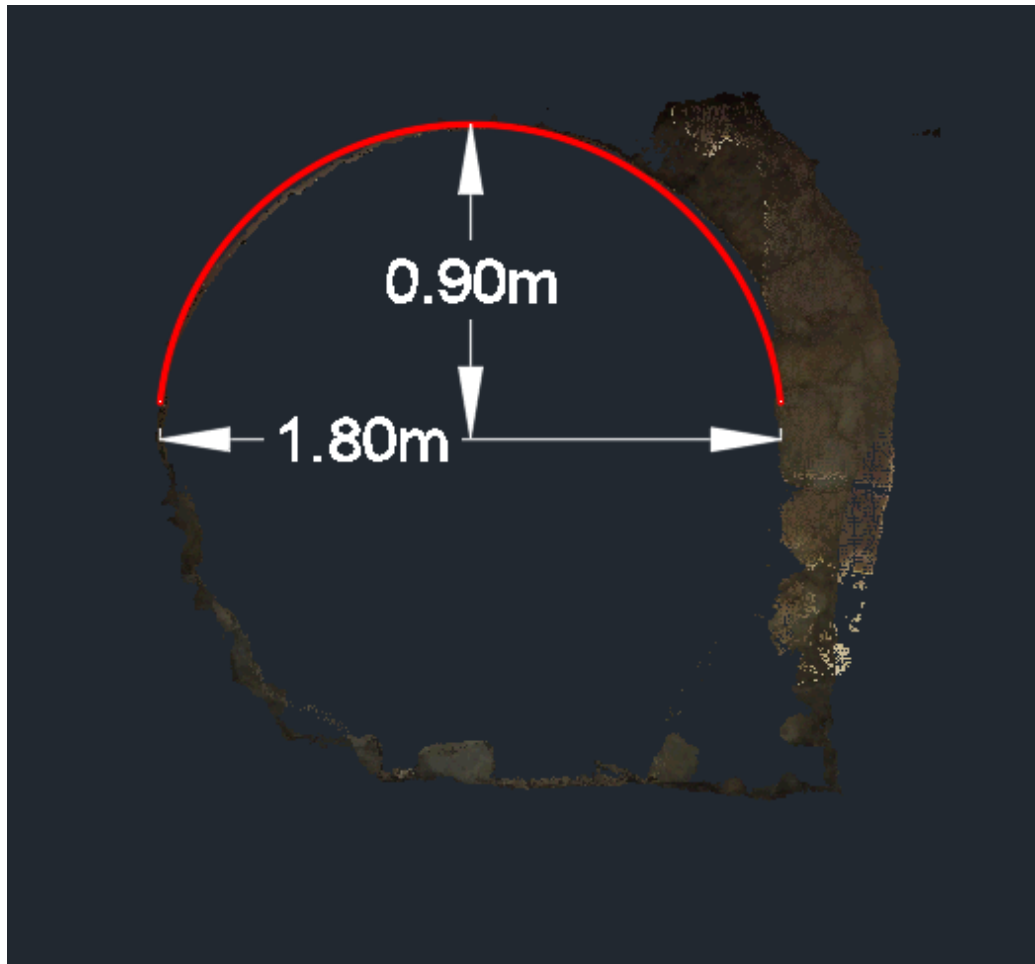
Εικόνα 66 Τόξο 5 Διατομή 2



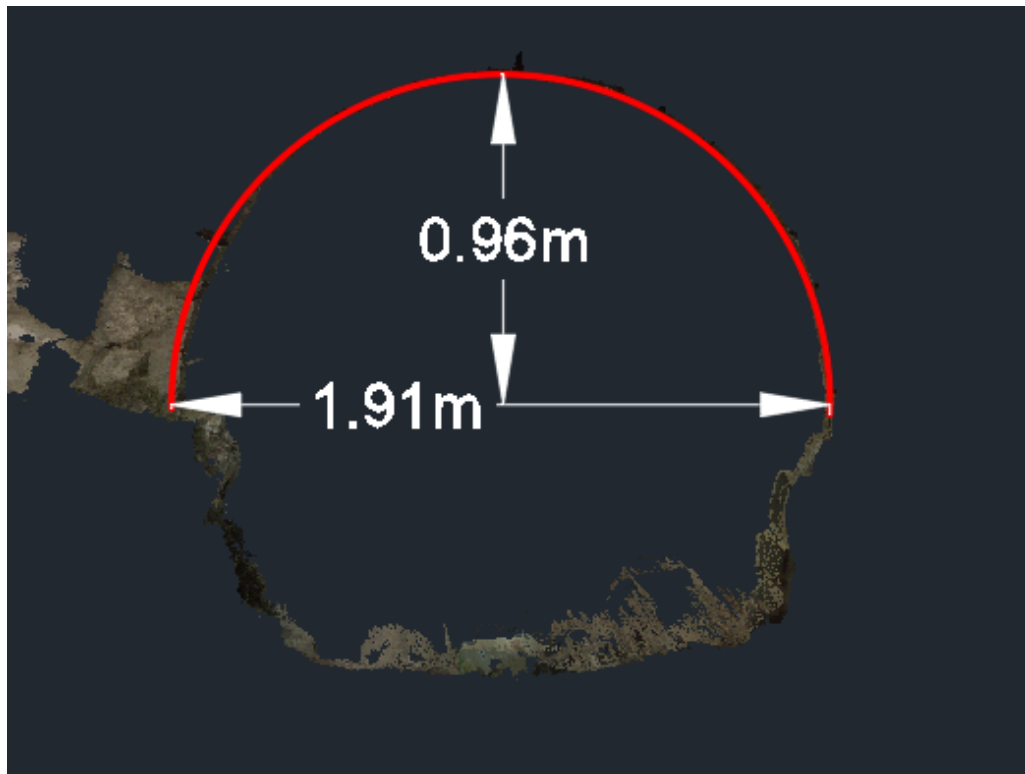
Εικόνα 67 Τόξο 5 Διατομή 3



Εικόνα 68 Τόξο 6 Διατομή 1



Εικόνα 69 Τόξο 6 Διατομή 2



Εικόνα 70 Τόξο 6 Διατομή 3

Οι μετρήσεις των τόξων έχουν ως εξής:

- Τόξο 1 Διατομή 1 $\rightarrow \frac{5.28}{2} - 2.39 = 0.25m$
- Τόξο 1 Διατομή 2 $\rightarrow \frac{5.45}{2} - 2.74 = -0.015m$
- Τόξο 1 Διατομή 3 $\rightarrow \frac{5.56}{2} - 2.80 = -0.02m$
- Τόξο 2 Διατομή 1 $\rightarrow \frac{4.94}{2} - 2.48 = -0.01m$
- Τόξο 2 Διατομή 2 $\rightarrow \frac{4.93}{2} - 2.48 = -0.015m$
- Τόξο 2 Διατομή 3 $\rightarrow \frac{5.09}{2} - 2.55 = -0.005m$
- Τόξο 3 Διατομή 1 $\rightarrow \frac{4.65}{2} - 2.37 = -0.045m$
- Τόξο 3 Διατομή 2 $\rightarrow \frac{4.64}{2} - 2.33 = -0.01m$
- Τόξο 3 Διατομή 3 $\rightarrow \frac{4.70}{2} - 2.35 = 0.00m$
- Τόξο 4 Διατομή 1 $\rightarrow \frac{4.23}{2} - 2.13 = -0.015m$
- Τόξο 4 Διατομή 2 $\rightarrow \frac{4.18}{2} - 2.10 = -0.01m$
- Τόξο 4 Διατομή 3 $\rightarrow \frac{4.18}{2} - 2.11 = -0.02m$
- Τόξο 5 Διατομή 1 $\rightarrow \frac{3.70}{2} - 1.85 = 0.00m$
- Τόξο 5 Διατομή 2 $\rightarrow \frac{3.65}{2} - 1.83 = -0.005m$
- Τόξο 5 Διατομή 3 $\rightarrow \frac{3.60}{2} - 1.81 = -0.01m$
- Τόξο 6 Διατομή 1 $\rightarrow \frac{2.36}{2} - 1.27 = -0.09m$
- Τόξο 6 Διατομή 2 $\rightarrow \frac{1.80}{2} - 0.90 = 0.00m$
- Τόξο 6 Διατομή 3 $\rightarrow \frac{1.91}{2} - 0.96 = -0.005m$

Οι παρατηρήσεις για τα τόξα της γέφυρας Moštanica που προκύπτουν είναι πως όσο κινούμαστε προς τις Νοτιότερες καμάρες της μειώνεται δραματικά το ύψος τους ενώ όλα τα τόξα υπάγονται στην κατηγορία των ημικυκλικών τόξων.

Οι εντονότερες αλλαγές παρουσιάζονται στις διατομές του πρώτου τόξου, όπου από μια μέτρηση αναβιβασμένου τόξου, συνεχίζει με μετρήσεις ημικυκλικού τόξου όπως και τα υπόλοιπα. Όλα τα τόξα υπάγονται στην κατηγορία του ημικυκλικού τόξου διότι τα λιγοστά εκατοστά διαφορών που προέκυψαν από τις μετρήσεις τους και τον υπολογισμό του τύπου, θεωρούνται μηδαμινά, λαμβάνοντας πάντα υπόψιν και τα κατασκευαστικά σφάλματα που υπάρχουν, ιδιαίτερα σε δομές αυτού του τύπου και αυτής της ηλικίας.

8. Σχέδια Γέφυρας Moštanica

Τελειώνοντας, παρουσιάζονται τα σχέδια που δημιουργήθηκαν από την σάρωση, μελέτη και ψηφιοποίηση της γέφυρας Moštanica. Συντάχθηκαν οχτώ σχέδια με σκοπό την κάλυψη όσο το δυνατόν περισσότερων λεπτομερειών της γέφυρας γίνεται.

Όπως είναι φυσικό σχεδιάστηκε η κάτοψη της γέφυρας επάνω στο οποίο σχέδιο εμφανίζονται και οριζόντιες τομές των βάθρων της, μια στα 2 μέτρα και μια στα 4 μέτρα κάτω από το κατάστρωμα. Επάνω στο σχέδιο της κάτοψης εμφανίζονται και οι θέσεις των 3 διατομών της γέφυρας, όπως και των πλάγιων όψεων της που παρουσιάζονται παρακάτω.

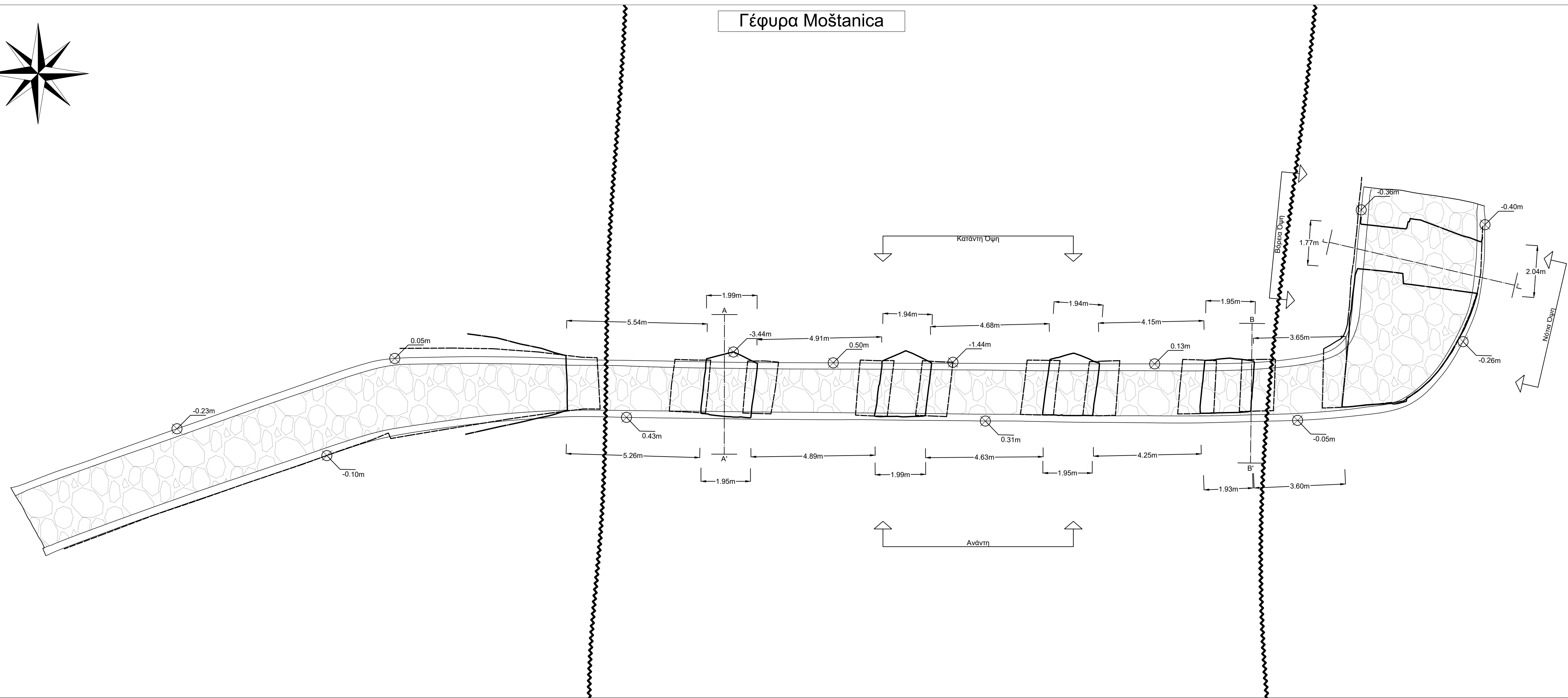
Στην συνέχεια δημιουργήθηκαν οι μεγαλύτερες όψεις της γέφυρας, η ανάντη και η κατάντη που αντιστοιχούν στην Ανατολική και Δυτική όψη της.

Ύστερα η Νότια και η Βόρεια όψη της γέφυρας με την μονή και πιο ιδιαίτερη καμάρα της κατέλος οι 3 διατομές, σε διαφορετικά σημεία της γέφυρας με διαφορετικό σκοπό η καθεμία.

Όλα τα σχέδια περιέχουν διαστάσεις και υψομετρικές στάθμες. Τα υψόμετρα στις στάθμες μετρώνται από το ψηλότερο σημείο του καταστρώματος.



Γέφυρα Mořtanica



Περιοχή: Νικσιό, Montenegro

Τίτλος Σχεδίου: Κάτοψη & Ορ. Τομές

Κλίμακα: 1:100

Περίοδος Μελέτης: Σεπτέμβριος 2023

Μελετητής:
Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος
Φοιτητής Τμήματος Τοπογραφίας
ΠΑ.Δ.Α.

Υπόμνημα

-  = Στηθαίο - Parapet
-  = Κατάστρωμα - Deck
-  = Διατομή - Cross Section 1
-  = Διατομή - Cross Section 2
-  = Όχθη - Riverside
-  = Στάθμη - Elevation

Γέφυρα Moštanica



Περιοχή: Νικσιό, Montenegro

Τίτλος Σχεδίου: Καπάντη Όψη

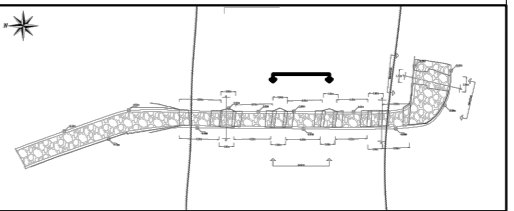
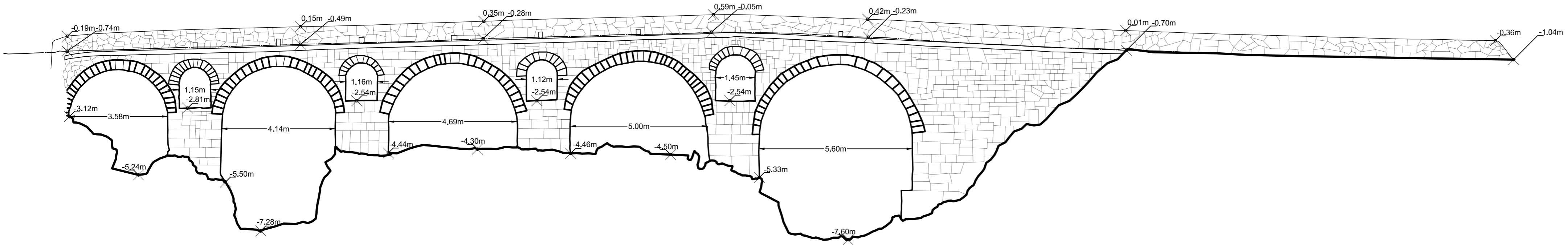
Κλίμακα: 1:100

Περίοδος Μελέτης: Σεπτέμβριος 2023

Μελετητής:
Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος
Φοιτητής Τμήματος Τοπογραφίας
ΠΑ.Δ.Α.

Υπόμνημα

- = Κατάστρωμα - Deck
- = Γραμμή Εδάφους - Earth
- = Τόξο Καμάρας - Ringstone
- = Καμάρα - Arch
- = Κλειδί - KeyStone/Crown
- = Στηθαίο - Parapet
- = Δοκοθήκη - Docket
- = Στάθμη - Elevation



Γέφυρα Moštanica



Περιοχή: Νικσιί, Montenegro

Τίτλος Σχεδίου: Ανάντη Όψη

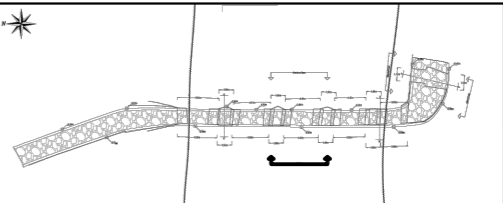
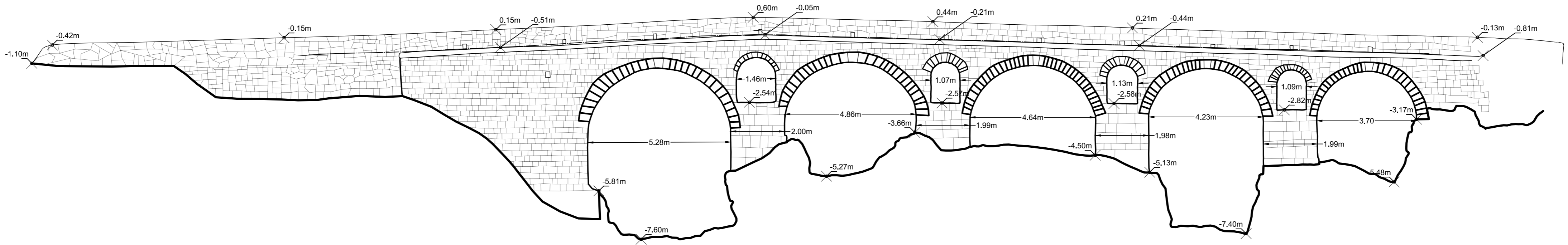
Κλίμακα: 1:100

Περίοδος Μελέτης: Σεπτέμβριος 2023

Μελετητής:
Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος
Φοιτητής Τμήματος Τοπογραφίας
ΠΑ.Δ.Α.

Υπόμνημα

- = Κατάστρωμα - Deck
- = Γραμμή Εδάφους - Earth
- = Τόξο Καμάρας - Ringstone
- = Καμάρα - Arch
- = Κλειδί - KeyStone/Crown
- = Σηθαίο - Parapet
- = Δοκοθήκη - Docket
- = Στάθμη - Elevation



Γέφυρα Moštanica



Περιοχή: Nikšić, Montenegro

Τίτλος Σχεδίου: Νότια Όψη

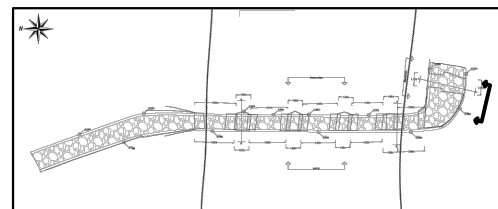
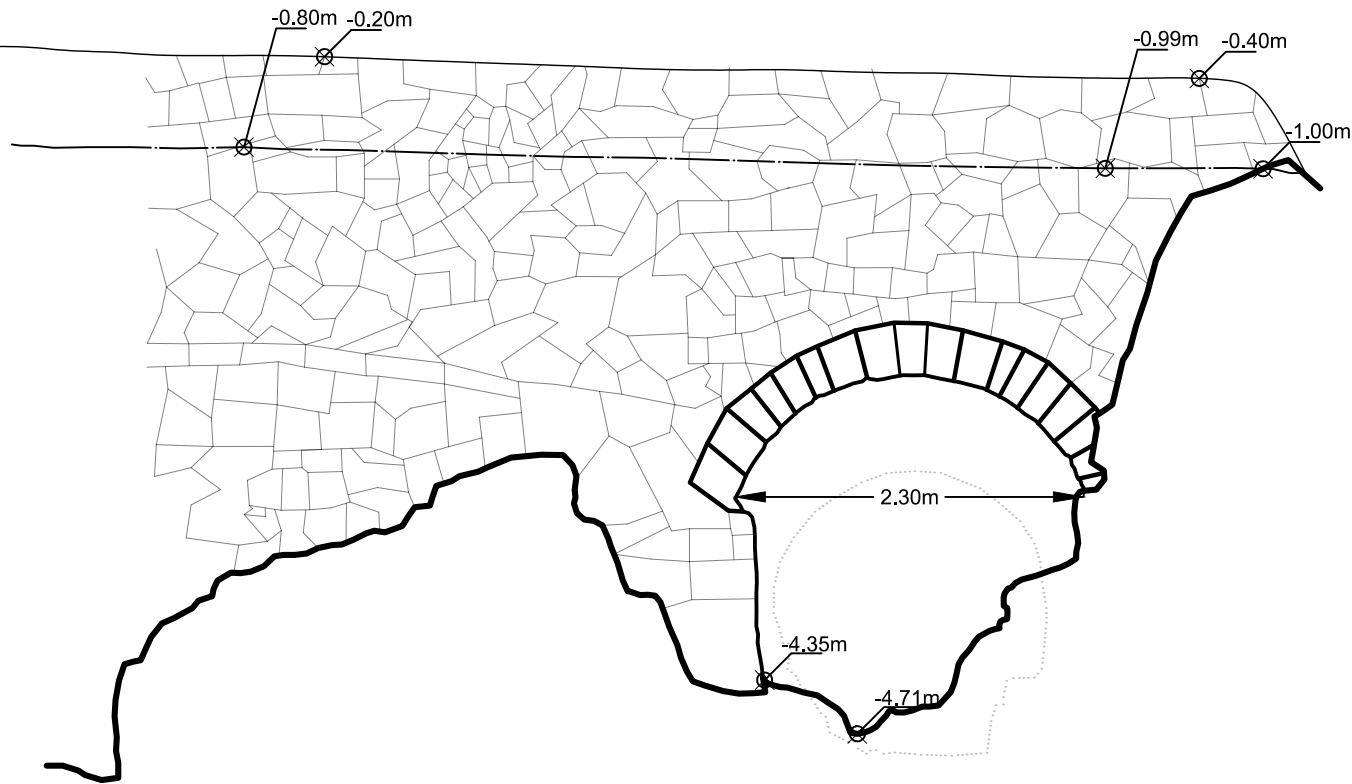
Κλίμακα: 1:50

Περίοδος Μελέτης: Σεπτέμβριος
2023

Μελετητής:
Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος
Φοιτητής Τμήματος Τοπογραφίας
ΠΑ.Δ.Α.

Υπόμνημα

- = Κατάστρωμα - Deck
- = Γραμμή Εδάφους - Earth
- = Τόξο Καμάρας - Ringstone
- = Καμάρα - Arch
- = Κλειδί - KeyStone/Crown
- = Στηθαίο - Parapet
- ⊗ = Στάθμη - Elevation



Γέφυρα Moštanica



Περιοχή: Nikšić, Montenegro

Τίτλος Σχεδίου: Βόρεια Όψη

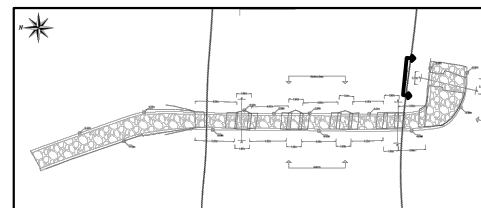
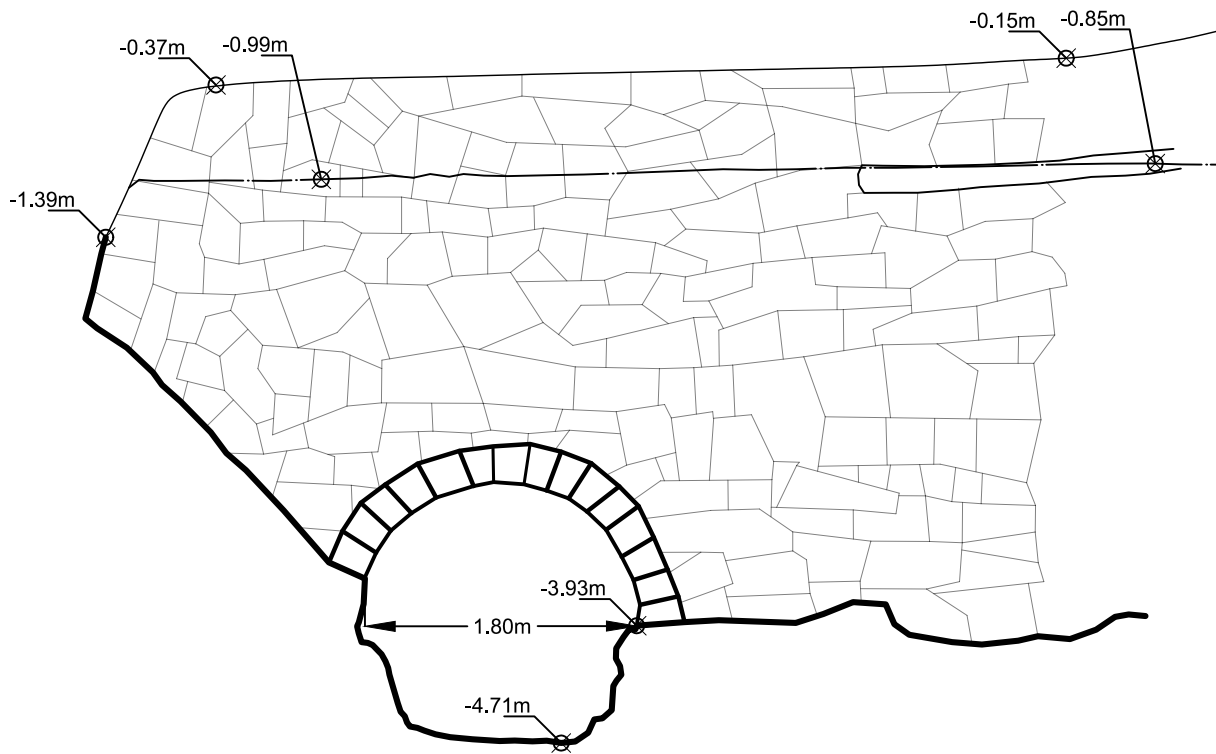
Κλίμακα: 1:50

Περίοδος Μελέτης: Σεπτέμβριος
2023

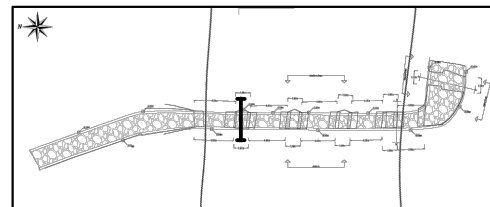
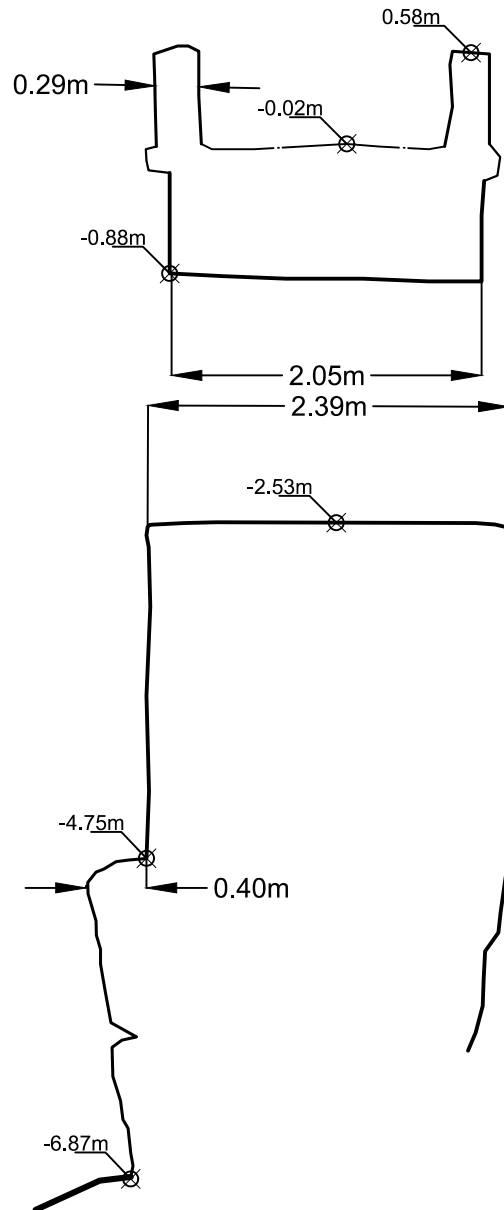
Μελετητής:
Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος
Φοιτητής Τμήματος Τοπογραφίας
ΠΑ.Δ.Α.

Υπόμνημα

- = Κατάστρωμα - Deck
- = Γραμμή Εδάφους - Earth
- = Τόξο Καμάρας - Ringstone
- = Καμάρα - Arch
- = Κλειδί - KeyStone/Crown
- = Στηθαίο - Parapet
- ⊗ = Στάθμη - Elevation



Γέφυρα Moštanica



Περιοχή: Nikšić, Montenegro

Τίτλος Σχεδίου: Διατομή Α-Α'

Κλίμακα: 1:50

Περίοδος Μελέτης: Σεπτέμβριος
2023

Μελετητής:
Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος
Φοιτητής Τμήματος Τοπογραφίας
ΠΑ.Δ.Α.

Υπόμνημα

- = Κατάστρωμα - Deck
- = Γραμμή Εδάφους - Earth
- = Στηθαίο - Parapet
- = Έμβολο - Buttress
- ⊗ = Στάθμη - Elevation

Γέφυρα Moštanica



Περιοχή: Νικšić, Montenegro

Τίτλος Σχεδίου: Διατομή Β-Β'

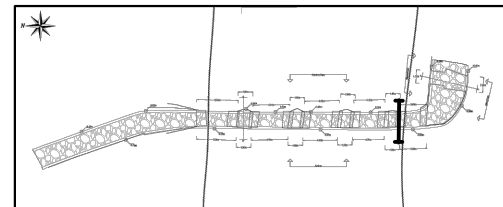
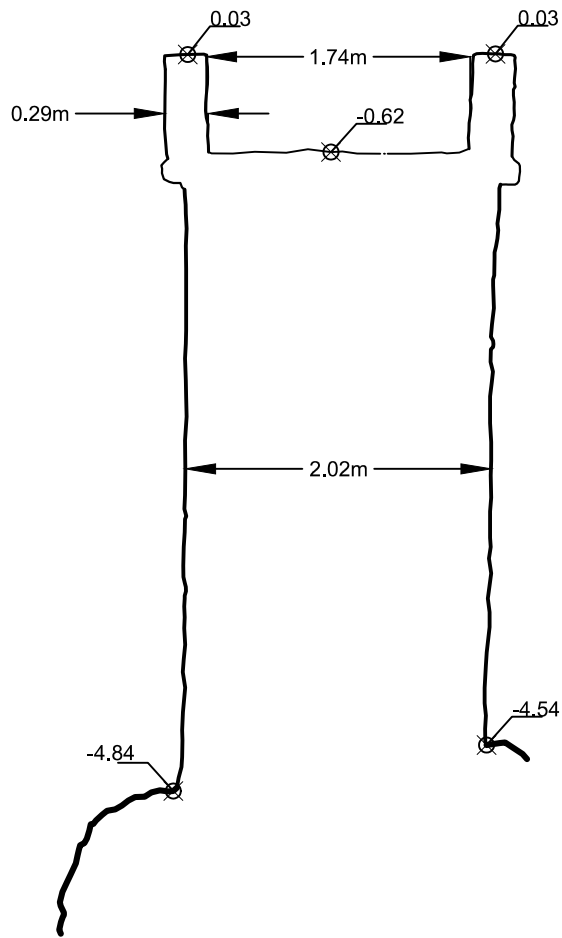
Κλίμακα: 1:50

Περίοδος Μελέτης: Σεπτέμβριος
2023

Μελετητής:
Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος
Φοιτητής Τμήματος Τοπογραφίας
ΠΑ.Δ.Α.

Υπόμνημα

- = Κατάστρωμα - Deck
- = Γραμμή Εδάφους - Earth
- = Στηθαίο - Parapet
- ⊗ = Στάθμη - Elevation



Γέφυρα Moštanica



Περιοχή: Nikšić, Montenegro

Τίτλος Σχεδίου: Διατομή Γ-Γ'

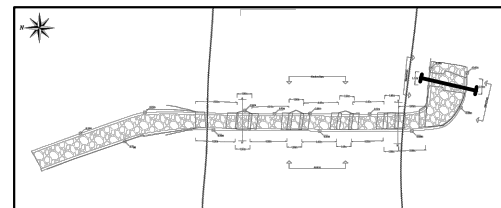
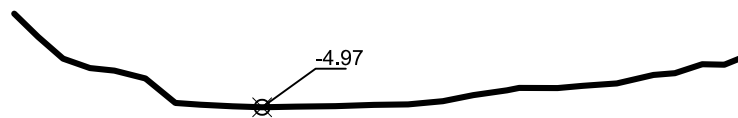
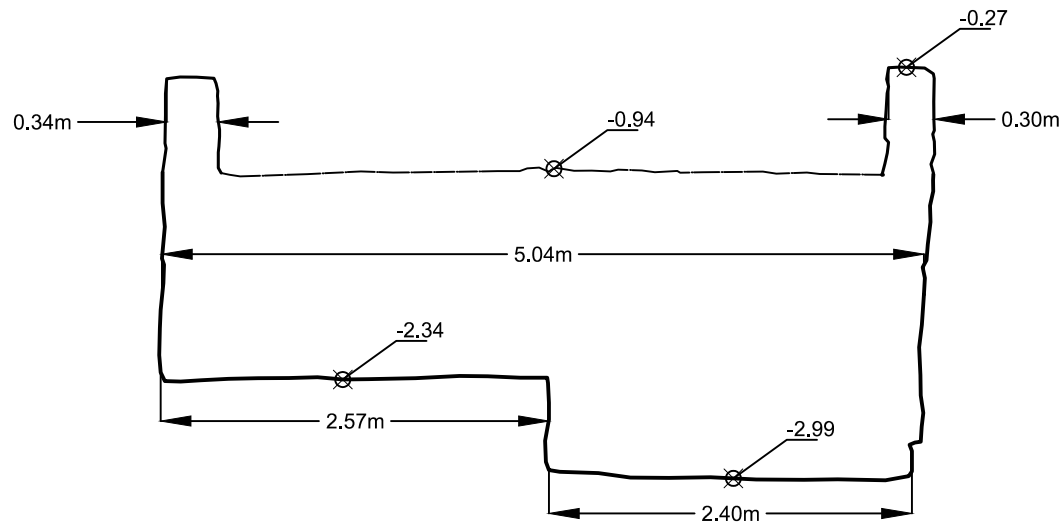
Κλίμακα: 1:50

Περίοδος Μελέτης: Σεπτέμβριος
2023

Μελετητής:
Παπαδόπουλος Κωνσταντίνος
Φοιτητής Τμήματος Τοπογραφίας
ΠΑ.Δ.Α.

Υπόμνημα

- = Κατάστρωμα - Deck
- = Γραμμή Εδάφους - Earth
- = Στηθαίο - Parapet
- ⊗ = Στάθμη - Elevation



9. Αναφορά Εφαρμογής Επίλυσης Νέφους

Cyclone REGISTER 360 PLUS

Registration Report

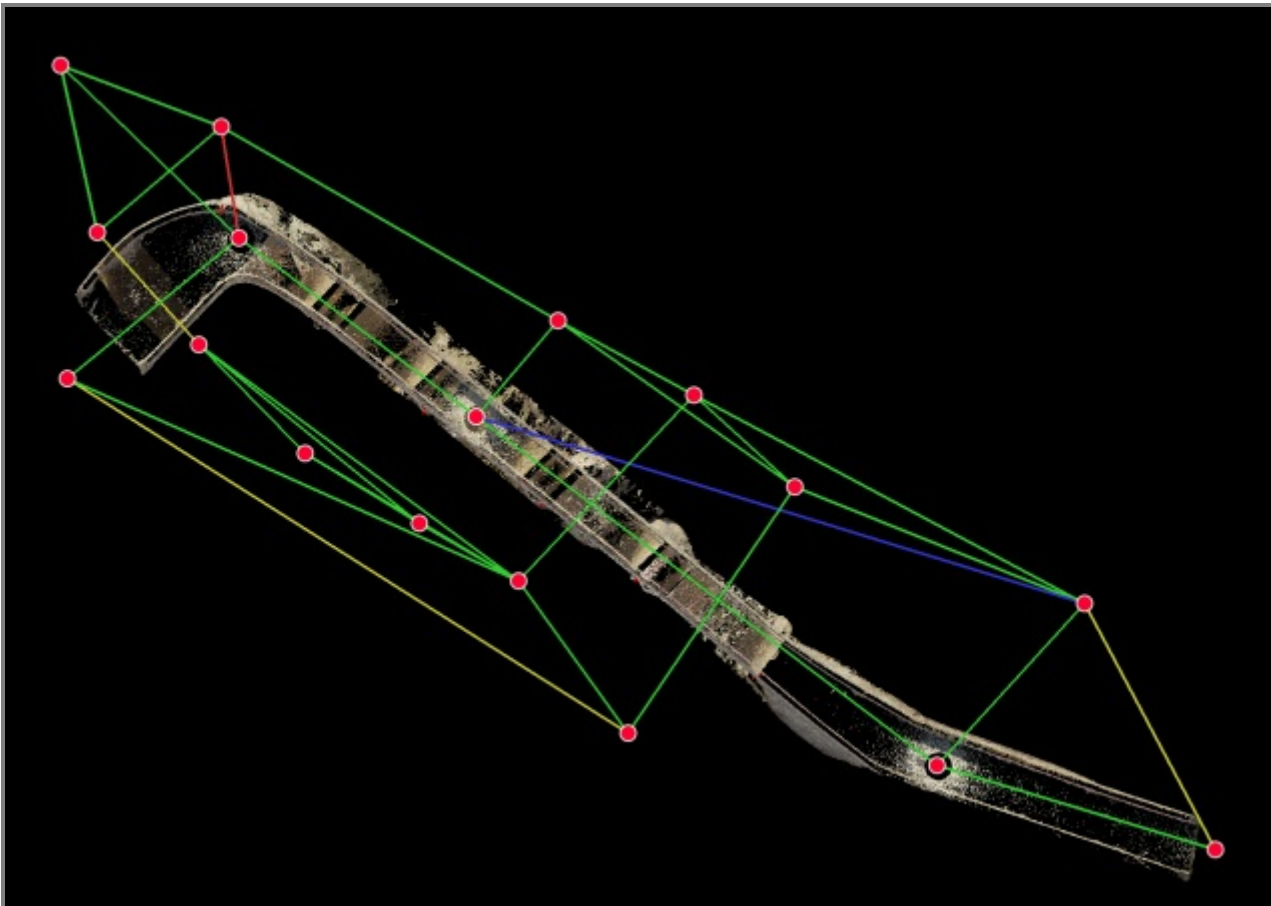


Aug 30, 2023

Certified by:

Papadopoulos Konstandinos

Moštanica Bridge, Nikšić, Montenegro



SiteMap 1

Overall Quality

Error Results for Bundle 1

Setup Count: 17
Link Count: 31
Strength: 68 %
Overlap: 34 %

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Bundle Error 0.005 m ✓ | |
| Overlap 34 % ✓ | Strength 68 % ✓ |
| Cloud-to-Cloud | Target Error |

Link Error Results

1 Overview

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|---------|---------|-----------------|
| Link 1 | Setup12 | Setup13 | 38 % | 0.007 m |
| Link 2 | Setup4 | Setup5 | 41 % | 0.004 m |
| Link 3 | Setup3 | Setup4 | 25 % | 0.004 m |
| Link 4 | Setup13 | Setup14 | 39 % | 0.005 m |
| Link 5 | Setup15 | Setup16 | 37 % | 0.006 m |
| Link 6 | Setup14 | Setup15 | 48 % | 0.003 m |
| Link 7 | Setup9 | Setup10 | 56 % | 0.003 m |
| Link 8 | Setup10 | Setup11 | 30 % | 0.004 m |
| Link 9 | Setup14 | Setup16 | 38 % | 0.005 m |
| Link 10 | Setup7 | Setup8 | 46 % | 0.003 m |
| Link 11 | Setup13 | Setup15 | 21 % | 0.003 m |
| Link 12 | Setup9 | Setup11 | 24 % | 0.004 m |
| Link 13 | Setup8 | Setup9 | 20 % | 0.007 m |
| Link 16 | Setup4 | Setup7 | 34 % | 0.010 m |
| Link 17 | Setup3 | Setup9 | 34 % | 0.013 m |
| Link 18 | Setup6 | Setup11 | 27 % | 0.006 m |
| Link 19 | Setup1 | Setup6 | 23 % | 0.014 m |
| Link 20 | Setup4 | Setup8 | 41 % | 0.032 m |
| Link 21 | Setup13 | Setup16 | 36 % | 0.004 m |
| Link 23 | Setup3 | Setup6 | 23 % | 0.000 m |
| Link 30 | Setup17 | Setup16 | 17 % | 0.007 m |
| Link 31 | Setup8 | Setup17 | 56 % | 0.004 m |
| Link 32 | Setup7 | Setup17 | 67 % | 0.004 m |
| Link 34 | Setup12 | Setup11 | 28 % | 0.006 m |
| Link 36 | Setup1 | Setup2 | 40 % | 0.003 m |
| Link 37 | Setup2 | Setup6 | 15 % | 0.005 m |
| Link 40 | Setup10 | Setup6 | 57 % | 0.006 m |
| Link 41 | Setup3 | Setup1 | 21 % | 0.006 m |
| Link 44 | Setup12 | Setup5 | 16 % | 0.005 m |
| Link 45 | Setup13 | Setup10 | 21 % | 0.004 m |
| Link 47 | Setup5 | Setup13 | 22 % | 0.005 m |

2 Details

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 1 | Setup12 | Setup13 | 38 % | 0.007 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.007 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 2 | Setup4 | Setup5 | 41 % | 0.004 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.004 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 3 | Setup3 | Setup4 | 25 % | 0.004 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.004 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 4 | Setup13 | Setup14 | 39 % | 0.005 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.005 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 5 | Setup15 | Setup16 | 37 % | 0.006 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.006 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 6 | Setup14 | Setup15 | 48 % | 0.003 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.003 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 7 | Setup9 | Setup10 | 56 % | 0.003 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.003 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 8 | Setup10 | Setup11 | 30 % | 0.004 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.004 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 9 | Setup14 | Setup16 | 38 % | 0.005 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.005 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 10 | Setup7 | Setup8 | 46 % | 0.003 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.003 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 11 | Setup13 | Setup15 | 21 % | 0.003 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.003 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 12 | Setup9 | Setup11 | 24 % | 0.004 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.004 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 13 | Setup8 | Setup9 | 20 % | 0.007 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.007 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 16 | Setup4 | Setup7 | 34 % | 0.010 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.010 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 17 | Setup3 | Setup9 | 34 % | 0.013 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.013 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 18 | Setup6 | Setup11 | 27 % | 0.006 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.006 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 19 | Setup1 | Setup6 | 23 % | 0.014 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.014 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 20 | Setup4 | Setup8 | 41 % | 0.032 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.032 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 21 | Setup13 | Setup16 | 36 % | 0.004 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.004 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Link 23 | Setup3 | Setup6 | 23 % | 0.000 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.000 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 30 | Setup17 | Setup16 | 17 % | 0.007 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.007 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 31 | Setup8 | Setup17 | 56 % | 0.004 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.004 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 32 | Setup7 | Setup17 | 67 % | 0.004 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.004 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 34 | Setup12 | Setup11 | 28 % | 0.006 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.006 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 36 | Setup1 | Setup2 | 40 % | 0.003 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.003 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 37 | Setup2 | Setup6 | 15 % | 0.005 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.005 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 40 | Setup10 | Setup6 | 57 % | 0.006 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.006 m -- |

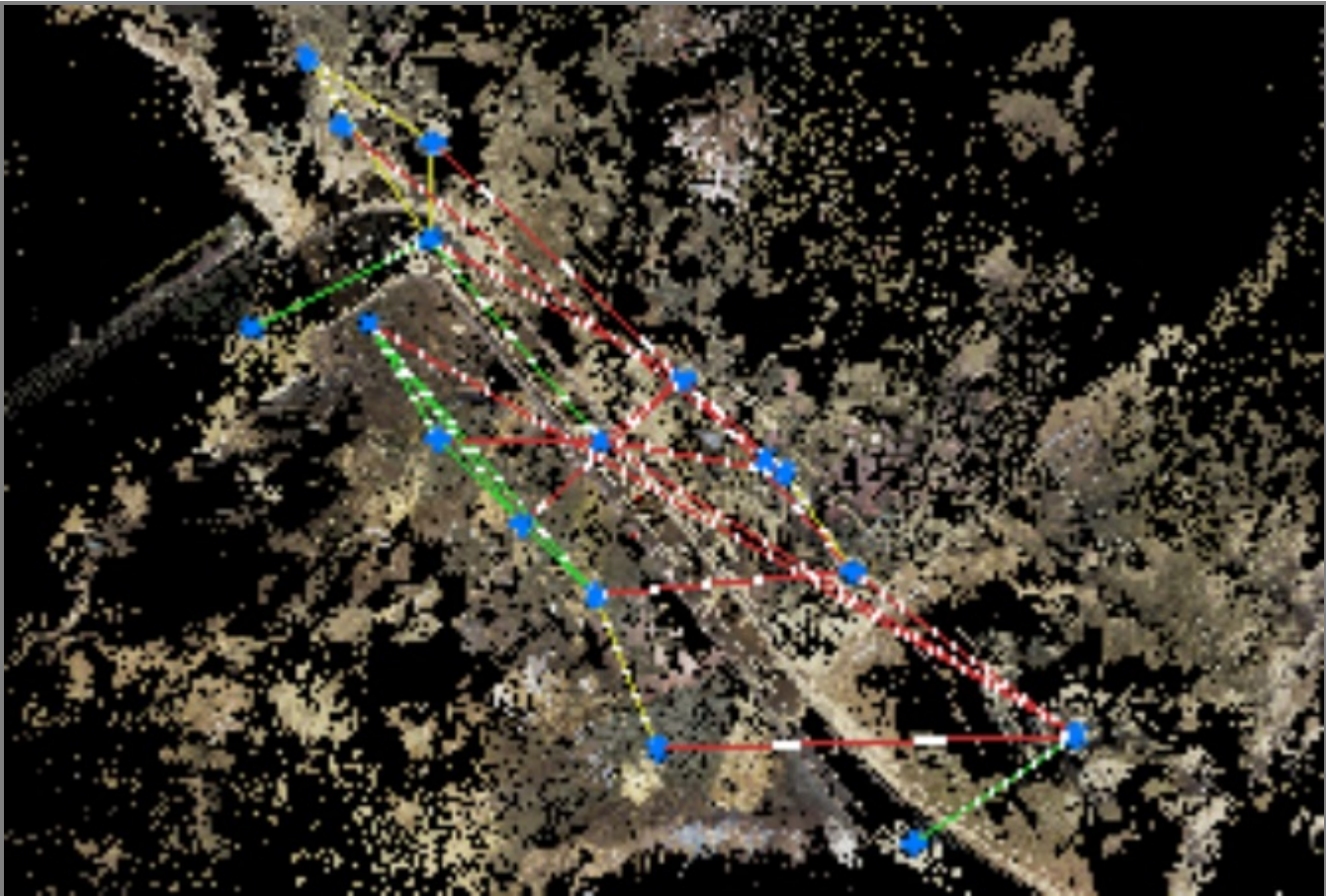
| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 41 | Setup3 | Setup1 | 21 % | 0.006 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.006 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 44 | Setup12 | Setup5 | 16 % | 0.005 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.005 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|---------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 45 | Setup13 | Setup10 | 21 % | 0.004 m |
| | | Cloud to Cloud Target | Mean Target Error: | 0.004 m -- |

| Link Name | Setup 1 | Setup 2 | Overlap | Abs. Mean Error |
|------------------|----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|
| Link 47 | Setup5 | Setup13 | 22 % | 0.005 m |
| | | Cloud to Cloud | | 0.005 m |
| | | Target | Mean Target Error: | -- |

Graphics



ProjectIcon

11. Παρατηρήσεις – Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η γέφυρα Moštanica στο Νίκσιτς του Μαυροβούνιου, αποτελεί μια εμφανίσιμη κατασκευή με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους μηχανικούς που έχουν την ευκαιρία να την μελετήσουν όπως επίσης και για τους σχετικούς λάτρεις της ιστορίας και αυτών των κατασκευών. Φαίνεται υποσχόμενη να διηγηθεί πληθώρα ιστοριών από την Ρωμαϊκή εποχή, την εποχή που πρώτο-κατασκευάστηκε.

Προφανώς έχει λιγότερα από 100 χρόνια από την τελευταία ανακατασκευή της, ωστόσο με τους αρμόδιους μηχανικούς να την δημιουργούν βάσει των προτύπων που είχε πρώτο-δημιουργηθεί, δείχνει να διατηρεί την πλειονότητα των χαρακτηριστικών της εποχής της.

Χαρακτηριστικά όπως οι λαξευμένες πέτρες από τα βάθρα έως το στηθαίο του καταστρώματος της γέφυρας είναι αξιοσημείωτες λεπτομέρειες για κάθε ενδιαφερόμενο μηχανικό. Τα μεγέθη των βάθρων και οι διαστάσεις των προβόλων της πιθανόν να διδάξουν στους μηχανικούς του σήμερα, για την σωστή κατασκευή λειτουργικών και ανθεκτικών στο πέρασμα του χρόνου γεφυρών.

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει ο τρόπος με τον οποίο φαίνεται να έχει κατασκευαστεί. Παρατηρείται πως οι λαξευμένες πέτρες της γέφυρας ξεκινάνε από ένα μεγάλο μέγεθος χαμηλά και όσο ανεβαίνουμε ψηλότερα στην γέφυρα, το μέγεθος των πετρών μειώνεται έως ότου, σε μερικά σημεία καταλήγουν να έχουν και ακανόνιστη μορφή, με πολύ πιθανόν μη λαξευμένες πέτρες που απλώς τοποθετήθηκαν για την ολοκλήρωση της κατασκευής της γέφυρας. Μικρότερες πέτρες έχουν και μικρότερη στατική σημασία για την γέφυρα και αυτό εξηγεί το ύψος που τοποθετείται η καθεμία.

Οι καμάρες έχουν όλες διαφορετικά πλάτη και ύψη και αυτό διατηρεί την ιστορική εικόνα της πέτρινης τοξωτής γέφυρας, αφού είναι κατασκευασμένη από ανθρώπινα χέρια και όχι κάποιο ρομπότ για να έχει απόλυτες αναλογίες στην μορφολογία της. Της αποδίδει επίσης μια φυσική ομορφιά, εναρμονίζοντας την με το γύρω περιβάλλον και αποτρέποντας την αποκρουστική «τέλεια» εικόνα των μοντέρνων κατασκευών.

Φαίνεται να διατηρούνται μερικές γενικότερες διαστάσεις ωστόσο, όπως οι μορφές των τόξων που είναι σχεδόν όλα ημικυκλικά, τα ύψη του στηθαίου που παρατηρούνται να είναι σχεδόν ίδια παντού και η ομαλές κλίσεις του καταστρώματος. Το κατάστρωμα της γέφυρας έχει δύο κλίσεις, με το υψόμετρο να είναι μέγιστο περίπου ανάμεσα στις 1^η και την 2^η καμάρα από Βόρεια προς Νότια και την κλίση να μειώνεται και προς τις δύο μεριές της γέφυρας. Τα ύψη των στηθαίων της γέφυρας φυσικά ακολουθούν αυτά του καταστρώματος.

Όλα τα τόξα των καμάρων ακολουθούν τους κλασσικούς κανόνες μιας γέφυρας, με

καλολαξευμένους θολίτες περίπου ίδιου μεγέθους και τοποθετημένα κλειδιά μορφής ανάποδου τραπεζίου ακόμη και στα ανακουφιστικά τόξα εξυπηρετώντας πάντα τον σκοπό τους.

Το πιο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της γέφυρας Μοστάνιτσα είναι σίγουρα η Νότια καμάρα της. Στο Νοτιότερο σημείο της γέφυρας και μετά την μεγαλύτερη στροφή που εμφανίζει, υπάρχει η χαμηλότερη καμάρα από όλες της γέφυρας αυτής. Όπως και προαναφέρεται εντός του κειμένου, η καμάρα αυτή παρόλο που έχει τις μικρότερες διαστάσεις από όλες, μετά την μέση της, κατευθύνοντας Βόρεια, μειώνεται ακόμη περισσότερο, καθιστώντας την ιδιαίτερα ενφιαδέρουσα. Αυτά τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται καλύτερα στην Διατομή Γ-Γ', όπου τοποθετήθηκε στην συγκεκριμένη θέση με ακριβώς αυτόν τον σκοπό.

Τα περισσότερα Βάθρα της γέφυρας είναι κατασκευασμένα επάνω σε μεγάλους λαξευμένους λίθους οι οποίοι με την σειρά τους εδρεύουν επάνω σε μεγάλους βράχους του ποταμού. Το αρκετά βραχώδες αλλά και ανώμαλο έδαφος, αφού πρόκειται για ποταμό, πιθανόν να έκανε την κατασκευή δυσκολότερη.

Παρόλα αυτά, η γέφυρα Μοστάνιτσα παραμένει ένα ιστορικό αξιοθέατο άξιο επίσκεψης, θαυμασμού και μελέτης.

12.Βιβλιογραφία

BorrmannAndréκαι συν. *Building Information Modeling: Why? What? How?*2018.

Gianluca Colia *Structural Health Monitoring (SHM), Heritage building information modelling (HBIM) and remote sensing for existing bridge.*2021.

GuzzettiFrancoκαι συν. *From Cloud to BIM Model of the Built The Digitized Process for Competitive Tender, Project, Construction and Management.* Μιλάνο, s.n., 2020.

PierdiccaR., ChiappiniS., MalinverniE. S. *A Geodatabase For Multisource Data Management Applied To Cultural Heritage: The Case Study Of Villa Buonaccorsi's Historical Garden.* Μιλάνο, Ιταλίας, s.n., 2019.

ΓκράσσοΓεώργιος *Τα Πέτρινα Τοξωτά Γεφύρια της Ελλάδας.* Μακρινίτσα, Πήλιου, Μαγνησία, s.n., 2007.

Καραπαναγιώτη Φωτεινή *Τρισδιάσταση Αποτύπωση Πέτρινων Γεφυριών. Η Περίπτωση της Νήσου Άνδρου.* Άνδρος, Κυκλάδες, Ελλάδα, s.n., Σεπτέμβριος 2022.

Μπέκος Βασίλειος *Γεωδαιτική Τεκμηρίωση Μνημείων. Η περίπτωση του παραδοσιακού νερόμυλου και γεφυριού στο Δολό Πωγωνίου.* Δολό, Ιωαννίνων, Ελλάδα, s.n., Μάρτιος 2023.

ΠετρονώτηςΑργύρηςΠ.Π. *Νεοελληνική Παραδοσιακή Γεφυροποιία.* Μακρινίτσα, Πήλιου, Μαγνησία, s.n., 2012.

Τσέλιος Ιούλιος - Χούσος Γεώργιος *Τεκμηρίωση και Μελέτη της Γέφυρας Κοράκου, καθώς και Διατύπωση Προτάσεων για την Αναστήλωση της.* Αχελώος Ποταμός, Άρτα - Καρδίτσα, Ελλάδα, s.n., Οκτώβριος 2018.