



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**Διπλωματική Εργασία**

«Τρισδιάστατη αποτύπωση πέτρινων γεφυριών. Η περίπτωση της Νήσου Άνδρου.»



**Συγγραφέας**

Καραπαναγιώτη Φωτεινή

ΑΜ: 18391107

**Επιβλέπων**

Παγούνης Βασίλειος, Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

**Αθήνα, Σεπτέμβριος 2022**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF SURVEYING AND GEOINFORMATICS ENGINEERING**

**Diploma Thesis**

**«3D GEOMETRIC DOCUMENTATION OF STONE BRIDGES. A CASE STUDY IN ANDROS ISLAND»**

Student name:

**Karapanagioti Foteini**

R.N.: 18391107

Supervisor name:

**Pagounis Vasilios, Professor of University of West Attica**

**Athens, September 2022**



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Διπλωματική Εργασία**

«Τρισδιάστατη αποτύπωση πέτρινων γεφυριών. Η περίπτωση της Νήσου Άνδρου.»

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

**Παγούνης Βασίλειος**

**Αναστασίου Δημήτριος**

**Πέππα Ευαγγελία**



## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Καραπαναγιώτη Φωτεινή του Άγγελου, με αριθμό μητρώου 18391107 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

Η δηλούσα

Καραπαναγιώτη Φωτεινή





*Η παρούσα σελίδα αφήνεται σκοπίμως κενή.*

---

© **Copyright** Φωτεινή Καραπαναγιώτη, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Περίληψη

Η τρισδιάστατη αποτύπωση των στοιχείων και κατασκευών της πολιτιστικής μας κληρονομιάς, κυρίως αυτών με ιδιαίτερα ακανόνιστο σχήμα ή περίτεχνη αρχιτεκτονική, παλαιών πέτρινων κατασκευών, ενδεχομένως με φθορές λόγω παλαιότητας, έχει μεγάλη αξία. Μπορούν να δοθούν περιεκτικές πληροφορίες για τον τρόπο κατασκευής, την ιστορία γύρω από την κατασκευή, καθώς και μία ιδιαίτερη απόδοση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη, αποκατάσταση και συντήρησή τους. Πολλές φορές η τρισδιάστατη αποτύπωση είναι μονόδρομος για την καλύτερη και ακριβέστερη αξιοποίηση των πληροφοριών που αναζητούνται.

Το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας είναι η τρισδιάστατη αποτύπωση πέτρινων γεφυριών και συγκεκριμένα δύο γεφυριών της Άνδρου, το γεφύρι των Διποταμάτων και το γεφύρι της Στοιχειωμένης. Η διαδικασία της αποτύπωσης ξεκίνησε με γεωδαιτικές εργασίες στο πεδίο, συγκεκριμένα με σάρωση του γεφυριού. Για αυτό το σκοπό, χρησιμοποιήθηκε ο επίγειος σαρωτής Leica BLK360. Κατά τη σάρωση, συλλέγεται πληροφορία με τη μορφή νέφους σημείων και κατά 360° γύρω από τη στάση του σαρωτή. Για την πλήρη αποτύπωση, έγιναν αρκετές στάσεις γύρω από το γεφύρι. Η επεξεργασία δεδομένων έγινε με το λογισμικό Cyclone Register της Leica, όπου έγιναν οι συνενώσεις των νεφών σημείων και ο καθαρισμός, έτσι ώστε να προκύψει το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο του γεφυριού. Με τη διαδικασία αυτή, αποκτήθηκε εμπειρία για τη συλλογή τέτοιου είδους αρχείων νέφους σημείων και για την επεξεργασία τους. Το τελικό τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε μας δίνει όλες τις γεωμετρικές πληροφορίες του γεφυριού, καθώς και πληροφορίες για το άμεσο περιβάλλον του, όπως το βάθος και το άνοιγμα του ποταμού που διέρχεται κάτω από αυτό. Από το τρισδιάστατο μοντέλο δημιουργήθηκαν η κάτοψη, μία διαμήκη και μία εγκάρσια τομή. Στο τέλος, επισημάνθηκαν τα προβλήματα που προέκυψαν κατά την εξέλιξη της μελέτης αυτής.



## Abstract

The 3D documentation of the elements and constructions of our cultural heritage, especially those with a particularly irregular shape or elaborate architecture, old stone structures, possibly damaged due to age, is of great value. Comprehensive information can be given on how they were built, the history surrounding the construction, as well as a special attribution that can be used for their study, restoration and conservation. Many times, 3D mapping is the only way to get the best and most accurate use of the information sought.

The object of study of the present paper is the 3D mapping of stone bridges, specifically two bridges of Andros, the bridge of Dipotamata and the bridge of Stoichiomeni. The mapping process began with geodetic work in the field, specifically scanning the bridge. For this purpose, the Leica BLK360 ground scanner was used. During scanning, information is collected in the form of a point cloud and 360° around the scanner's position. For complete coverage, several stops were made around the bridge. Data processing was done with Leica's Cyclone Register software, where point clouds were merged and cleaned, so that the final 3D model of the bridge was obtained. Through this process, experience was gained in collecting such point cloud files and processing them.

The resulting final 3D model gives us all the geometric information of the bridge, as well as information about its immediate surroundings, such as the depth and span of the river that passes under it. From the 3D model, the top view, one longitudinal and one cross section were created. In the end, the problems that arose during the development of this study were pointed out.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Βασίλειο Παγούνη, καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, και επιβλέποντα της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, τόσο για την ανάθεση όσο και για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τον κ. Νίκο Βασιλόπουλο, Αρχιτέκτων και Ερευνητή – Συγγραφέα για τη διάθεση των ιστορικών στοιχείων των γεφυριών καθώς και πολλών πληροφοριών γύρω από τον τρόπο κατασκευής τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τον σύζυγό μου Γιώργο και κυρίως τα παιδιά μου, Αγγελική και Γιάννη, για την υπομονή τους και την στήριξή τους στην επιλογή μου να σπουδάσω για δεύτερη φορά.

## Περιεχόμενα

|   |    |
|---|----|
| ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....                   | 4  |
| Περίληψη .....  | 8  |
| Abstract .....  | 9  |
| Ευχαριστίες.....  | 10 |
| Κατάλογος εικόνων.....  | 13 |
| Κατάλογος Σχημάτων.....                                       | 16 |
| Κατάλογος Πινάκων.....  | 16 |
| Κεφάλαιο 1ο. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....                                   | 17 |
| 1.1. Γεωγραφική θέση γεφυριών.....                            | 17 |
| 1.2. Μέθοδος αποτύπωσης.....                                  | 20 |
| 1.3. Σκοπός της εργασίας .....                                | 20 |
| 1.4. Δομή της εργασίας.....                                   | 20 |
| Κεφάλαιο 2ο. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.....            | 21 |
| Κεφάλαιο 3ο. Η ΝΗΣΟΣ ΑΝΔΡΟΣ.....                              | 24 |
| 3.1. Σύντομη ιστορική αναδρομή.....                           | 24 |
| 3.2. Γεωγραφική θέση.....                                     | 26 |
| 3.3. Μορφολογία, ανάγλυφο και κλιματολογικές συνθήκες.....    | 26 |
| Κεφάλαιο 4ο. ΤΑ ΠΕΤΡΙΝΑ ΓΕΦΥΡΙΑ ΤΗΣ ΑΝΔΡΟΥ.....               | 30 |
| 4.1. Τα λιθόστρωτα μονοπάτια και τα τοξωτά γεφύρια.....       | 30 |
| 4.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά των γεφυρών γενικότερα .....      | 32 |
| 4.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά γεφυριών της Άνδρου .....         | 40 |
| 4.4. Το γεφύρι στα Διποτάματα .....                           | 42 |
| 4.5. Το γεφύρι της Στοιχειωμένης – Κοιλάδα Λιβαδιών.....      | 44 |
| Κεφάλαιο 5ο. ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ..... | 47 |
| 5.1. Τρισδιάστατη αποτύπωση .....                             | 47 |
| 5.2. Πολιτιστικά μνημεία και αποτυπώσεις.....                 | 49 |
| 5.3. Αναπαράσταση τρισδιάστατων επιφανειών .....              | 52 |
| 5.4. Μέθοδοι τρισδιάστατης σάρωσης.....                       | 56 |
| 5.5. Οι επίγειοι σαρωτές – laser scanners.....                | 57 |
| Κεφάλαιο 6ο. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΦΥΡΙΩΝ .....        | 59 |
| 6.1. Όργανο και μέθοδος αποτύπωσης .....                      | 59 |
| 6.2. Γεφύρι Διποταμάτων – εργασίες πεδίου .....               | 60 |
| 6.3. Επεξεργασία δεδομένων.....                               | 66 |
| 6.4. Γεφύρι Στοιχειωμένης – εργασίες πεδίου .....             | 79 |
| 6.5. Επεξεργασία δεδομένων.....                               | 83 |

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Κεφάλαιο 7ο. | ΣΧΕΔΙΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ..... | 91  |
| Κεφάλαιο 8ο. | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....                         | 114 |

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1: Απόσπασμα από GOOGLE EARTH

Εικόνα 1.2: Οδοιπορικό για το γεφύρι των Διποταμάτων, Απόσπασμα από GOOGLE EARTH

Εικόνα 1.3: Το γεφύρι των Διποταμάτων από ψηλά, Απόσπασμα από GOOGLE EARTH

Εικόνα 1.4: Οδοιπορικό για το γεφύρι της Στοιχειωμένης, Απόσπασμα από GOOGLE EARTH

Εικόνα 1.5: Το γεφύρι της Στοιχειωμένης από ψηλά, Απόσπασμα από GOOGLE EARTH

Εικόνα 2.1: Νέφος σημείων μνημείου (πηγή: [openheritage3d.org](http://openheritage3d.org))

Εικόνα 2.2: Νέφος σημείων μνημείου (πηγή: [openheritage3d.org](http://openheritage3d.org))

Εικόνα 2.3: Νέφος σημείων μνημείου (πηγή: [openheritage3d.org](http://openheritage3d.org))

Εικόνα 2.4: Αρχική σελίδα αναζήτησης ψηφιοποιημένων μνημείων (πηγή: [openheritage3d.org](http://openheritage3d.org))

Εικόνα 3.1: Ναυτικός χάρτης Κόλπου Πεταλίων (πηγή: [hartis.gr](http://hartis.gr))

Εικόνα 3.2: Ο οικισμός Στρόφιλας (πηγή: [andros.gr](http://andros.gr))

Εικόνα 3.3: Βορεινή παραλία Ζόργκος

Εικόνα 3.4: Περιοχή "Πυθάρα" στα Αποίικια Άνδρου

Εικόνα 3.5: Οι "Αιμασιές" της Άνδρου

Εικόνα 3.6: Γαύριο, το λιμάνι της Άνδρου (φωτο: Επαμεινώνδας Μαρμαράς)

Εικόνα 4.1: Γεφύρι στο Κάτω Κάστρο

Εικόνα 4.2: Το γεφύρι στα Διποτάματα, όψη από τα κατάντη του χειμάρρου

Εικόνα 4.3: Το γεφύρι της Στοιχειωμένης, όψη από τα κατάντη

Εικόνα 5.1: Κυβική κατασκευή ([en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org))

Εικόνα 5.2: Νέφος σημείων ([blenderartists.org](http://blenderartists.org))

Εικόνα 5.3: Πολυγωνικό πλέγμα ([create.vista.com](http://create.vista.com))

Εικόνα 5.4: Τριγωνικό πλέγμα ([create.vista.com](http://create.vista.com))

Εικόνα 5.5: Τριγωνικό πλέγμα ([create.vista.com](http://create.vista.com))

Εικόνα 6.1: Σαρωτής Leica BLK360

Εικόνα 6.2: Μονοπάτι που οδηγεί στο γεφύρι Διποταμάτων

Εικόνα 6.3: Άποψη του γεφυριού Διποταμάτων

Εικόνα 6.4: Στάση εκατέρωθεν του γεφυριού

Εικόνα 6.5: Στάση εκατέρωθεν του γεφυριού

Εικόνα 6.6: Στάση κάτω από το γεφύρι

Εικόνα 6.7: Στάση στο κέντρο του καταστρώματος

Εικόνα 6.8: Εισαγωγή αρχείων στο Cyclone Register 360

Εικόνα 6.9: Αρχική απεικόνιση των νεφών σημείων της κάθε σάρωσης

Εικόνα 6.10: Δύο νέφη σημείων με διαφορετικά χρώματα προς ταύτιση

Εικόνα 6.11: Δύο νέφη σημείων υπό επεξεργασία

Εικόνα 6.12: Δύο νέφη σημείων υπό κατακόρυφη επεξεργασία

Εικόνα 6.13: Δύο νέφη σημείων υπό οριζόντια επεξεργασία

Εικόνα 6.14: Συνδέσεις (links) τεσσάρων νεφών σημείων

Εικόνα 6.15: Διάταξη των στάσεων του σαρωτή

Εικόνα 6.16: Διάταξη των στάσεων του σαρωτή

Εικόνα 6.17: Τελική διαμόρφωση των συνδέσεων του μοντέλου

Εικόνα 6.18: Άποψη τελικού μοντέλου με εμφανείς τις συνδέσεις ανάμεσα στα νέφη

Εικόνα 6.19: Άποψη τελικού μοντέλου

Εικόνα 6.20: Άποψη τελικού μοντέλου

Εικόνα 6.21: Άποψη τελικού μοντέλου

Εικόνα 6.22: Καθαρισμός περιττών σημείων

Εικόνα 6.23: Τελική όψη γεφυριού

Εικόνα 6.24: Άποψη γεφυριού

Εικόνα 6.25: Άποψη γεφυριού

Εικόνα 6.26: Άποψη γεφυριού (truslicer)

Εικόνα 6.28: Εγκάρσια τομή γεφυριού (truslicer) Εικόνα 6.27: Εγκάρσια τομή γεφυριού (truslicer)

Εικόνα 6.29: Οριζόντια τομή γεφυριού (truslicer)

Εικόνα 6.30: Κλιμακωτό μονοπάτι που οδηγεί στο γεφύρι Στοιχειωμένης

Εικόνα 6.31: Το γεφύρι Στοιχειωμένης

Εικόνα 6.32: Πρώτη θέση σάρωσης

Εικόνα 6.33: Θέση σάρωσης

Εικόνα 6.34: Εισαγωγή αρχείων στο Cyclone Register 360

Εικόνα 6.35: Αρχική απεικόνιση των νεφών σημείων της κάθε σάρωσης

Εικόνα 6.36: Δύο νέφη σημείων με διαφορετικά χρώματα προς ταύτιση

Εικόνα 6.37: Δύο νέφη σημείων υπό επεξεργασία

Εικόνα 6.38: Δύο νέφη σημείων υπό επεξεργασία

Εικόνα 6.39: Δύο νέφη σημείων υπό επεξεργασία

Εικόνα 6.40: Διάταξη των στάσεων του σαρωτή

Εικόνα 6.41: Γενική κάτοψη γεφυριού (truslicer)´

Εικόνα 6.42: Γενική κάτοψη γεφυριού

Εικόνα 6.43: Γενική κάτοψη γεφυριού (truslicer) χωρίς στοιχεία περιβάλλοντα χώρου

Εικόνα 6.44: Άποψη γεφυριού

Εικόνα 6.45: Άποψη γεφυριού

Εικόνα 6.46: Άποψη γεφυριού

Εικόνα 6.47: Άποψη γεφυριού

Εικόνα 7.1: Εισαγωγή νέφους Διποταμάτων στο Autocad

Εικόνα 7.2: Άποψη γεφυριού Διποταμάτων (σε περιβάλλον Autocad)

Εικόνα 7.3: Άποψη γεφυριού Διποταμάτων (σε περιβάλλον Autocad)

Εικόνα 7.4: Άποψη γεφυριού Διποταμάτων (σε περιβάλλον Autocad)

Εικόνα 7.5: Εικόνα Άποψη γεφυριού Διποταμάτων (σε περιβάλλον Autocad)

Εικόνα 7.6: Άποψη γεφυριού Διποταμάτων (σε περιβάλλον Autocad)

Εικόνα 7.7: Εγκάρσια τομή γεφυριού Διποταμάτων (σε περιβάλλον Autocad)

Εικόνα 7.8: Εισαγωγή νέφους Στοιχειωμένης στο Autocad

Εικόνα 7.9: Άποψη γεφυριού Στοιχειωμένης (σε περιβάλλον Autocad)

Εικόνα 7.10: Άποψη γεφυριού Στοιχειωμένης (σε περιβάλλον Autocad)

Εικόνα 7.11: Εγκάρσια τομή γεφυριού Στοιχειωμένης (σε περιβάλλον Autocad)

Εικόνα 7.12: Τμήμα όψης γεφυριού Στοιχειωμένης (σε περιβάλλον Autocad)

Εικόνα 7.13: Τμήμα όψης γεφυριού Στοιχειωμένης (σε περιβάλλον Autocad)

## Κατάλογος Σχημάτων

- Σχήμα 4.1: Ξυλότυπος για κατασκευή τόξου με τρία κέντρα (κανεολαβή).
- Σχήμα 4.2: Ξυλότυπος για κατασκευή ελλειπτικού τόξου
- Σχήμα 4.3: Ξυλότυπος για κατασκευή ελλειπτικού τόξου
- Σχήμα 4.4: Χάραξη ελλειπτικού τόξου. Είναι η περίπτωση της Γ1.
- Σχήμα 4.5: Χάραξη τόξου με δύο κέντρα. Είναι η περίπτωση των Γ3 και Γ23.
- Σχήμα 4.6: Τυπική κάτοψη, τομή και όψη γεφυριού
- Σχήμα 4.7: Τυπική κάτοψη, τομή και όψη γεφυριού
- Σχήμα 5.1: Βασικός διαχωρισμός τεχνικών οπτικής τρισδιάστατης σάρωσης

## Κατάλογος Πινάκων

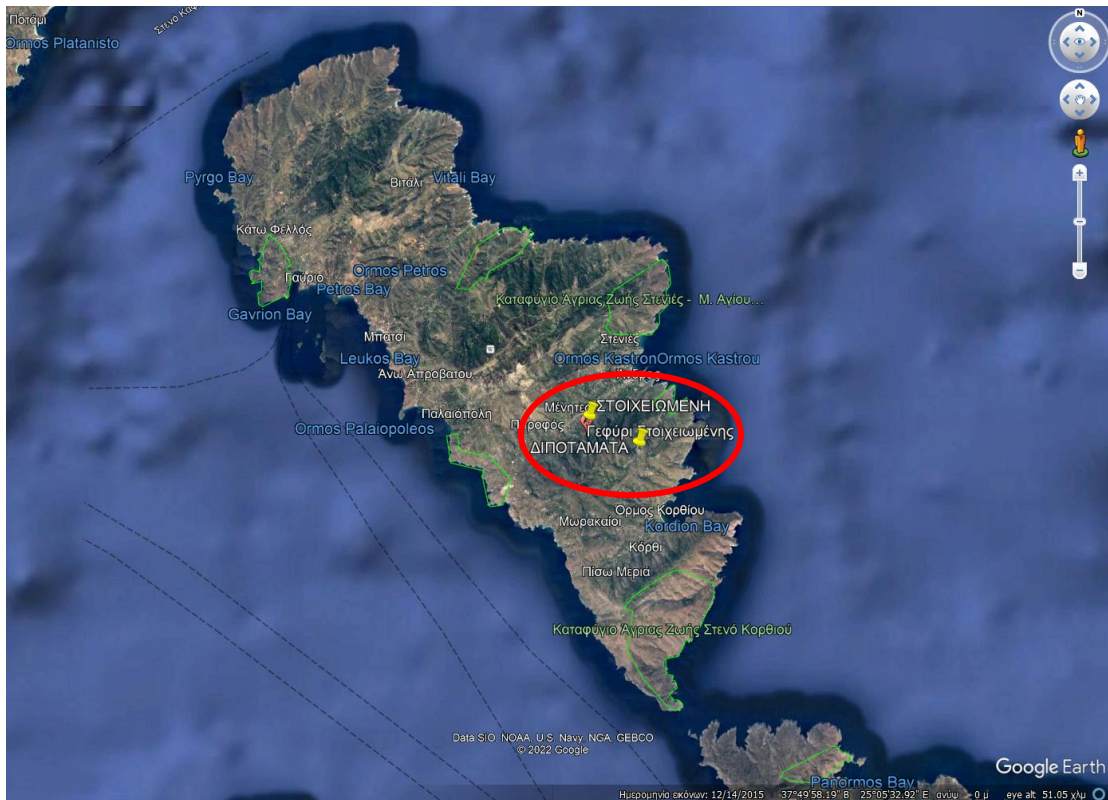
- Πίνακας 4.1: Τυπολογία τόξων



# Κεφάλαιο 1ο. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1. Γεωγραφική θέση γεφυριών

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η τρισδιάστατη αποτύπωση, με σύγχρονες μεθόδους, δομικών στοιχείων της πολιτιστικής μας κληρονομιάς. Συγκεκριμένα, πρόκειται να αποτυπωθούν σε τρεις διαστάσεις δύο παλιά πέτρινα γεφύρια της Άνδρου, το γεφύρι των Διποταμάτων και το γεφύρι της Στοιχειωμένης.



Εικόνα 1.1: Απόσπασμα από GOOGLE EARTH

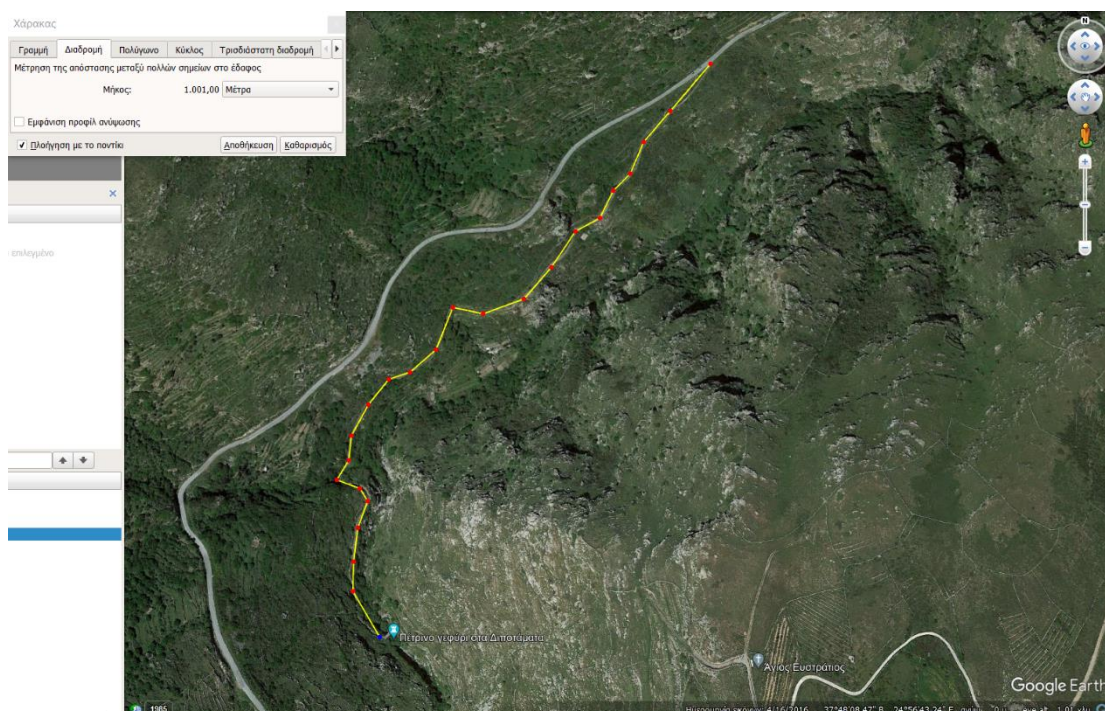
Τα γεφύρια αυτά βρίσκονται στην νοτιοανατολική πλευρά του νησιού.

Το γεφύρι των Διποταμάτων βρίσκεται σε απόσταση περίπου 1 χιλιομέτρου από τον Επαρχιακό δρόμο που συνδέει την Χώρα με το Κόρθι, λίγο μετά το χωριό Συνετί μέσω ενός παλιού μονοπατιού (παλιάς πέτρινης στενής). Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του γεφυριού είναι:

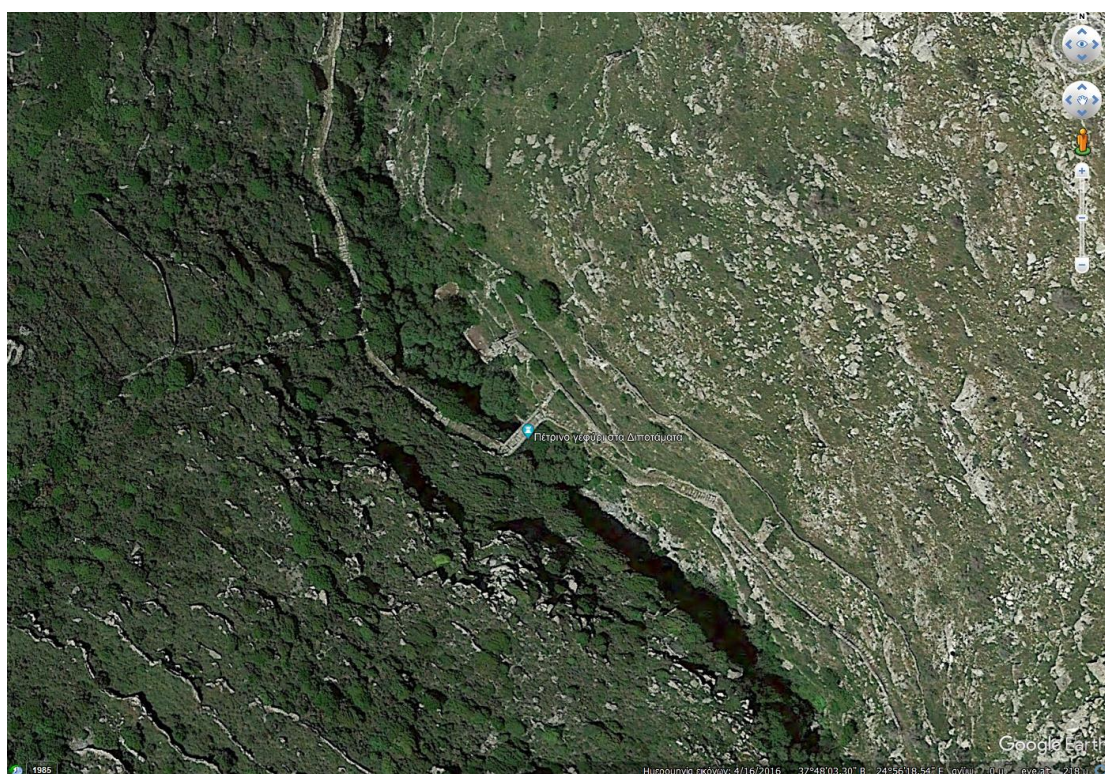
γεωγραφικό πλάτος  $37^{\circ}48' 05''$  Β και γεωγραφικό μήκος  $24^{\circ}56' 13.70''$  Ε

Το γεφύρι της Στοιχειωμένης βρίσκεται σε απόσταση περίπου 330 μέτρων μέσω κλιμακωτής οδού που ξεκινάει από τον Επαρχιακό δρόμο που συνδέει τη Μεσσαριά με τα Φάλλικα. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του γεφυριού είναι:

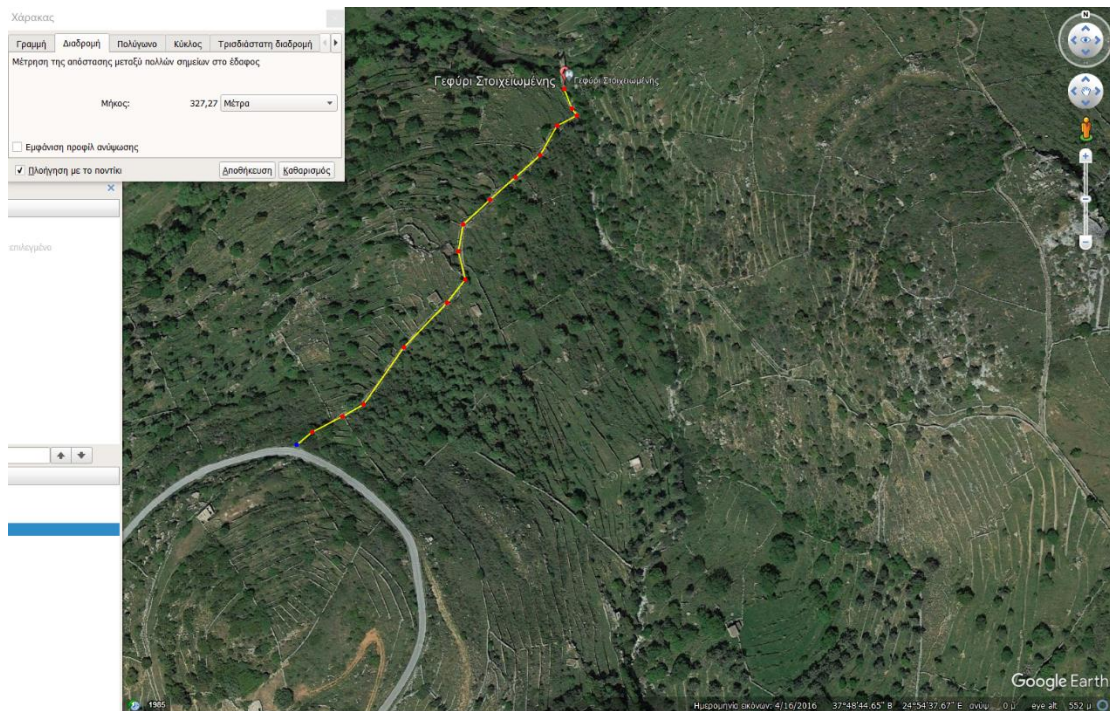
γεωγραφικό πλάτος  $37^{\circ}48' 50''$  Β και γεωγραφικό μήκος  $24^{\circ}54' 27.30''$  Ε



Εικόνα 1.2: Οδοιπορικό για το γεφύρι των Διποταμάτων, Απόσπασμα από GOOGLE EARTH



Εικόνα 1.3: Το γεφύρι των Διποταμάτων από ψηλά, Απόσπασμα από GOOGLE EARTH



Εικόνα 1.4: Οδοιπορικό για το γεφύρι της Στοιχειωμένης, Απόσπασμα από GOOGLE EARTH



Εικόνα 1.5: Το γεφύρι της Στοιχειωμένης από ψηλά, Απόσπασμα από GOOGLE EARTH

## 1.2. Μέθοδος αποτύπωσης

Για την αποτύπωση των παραπάνω γεφυριών, η συγκριτικά καλύτερη μέθοδος είναι με τρισδιάστατο σαρωτή laser. Ο τρισδιάστατος σαρωτής αποτυπώνει ταυτόχρονα και σε μικρό χρονικό διάστημα εκατομμύρια σημεία, δημιουργώντας έτσι ένα αρχείο νέφους σημείων το οποίο αποτυπώνει την ορατή πλευρά του αντικειμένου από μία συγκεκριμένη στάση. Επίσης, από μία συγκεκριμένη στάση αποτυπώνονται και στοιχεία του περιβάλλοντος του αντικειμένου. Ταυτόχρονα με την σάρωση, γίνεται και λήψη φωτογραφιών της περιοχής μέσω της ενσωματωμένης ψηφιακής κάμερας που διαθέτει ο σαρωτής. Το τελικό προϊόν του σαρωτή laser είναι αξιόπιστο και ακριβές και επιπρόσθετα δεν απαιτεί ιδιαίτερο χρόνο στο πεδίο, με ίσως μοναδικό μειονέκτημά του το ιδιαίτερο κόστος του εξοπλισμού. Όμως, το αποτέλεσμα μέτρησης με σαρωτή σε σύγκριση με το αποτέλεσμα της μέτρησης π.χ. με έναν γεωδαιτικό σταθμό, είναι πολύ καλύτερο ως προς τα σημεία που αποτυπώνονται στη μονάδα του χρόνου. Σε ελάχιστο χρόνο αποτυπώνονται εκατομμύρια σημεία, κάτι που με την κλασική μέθοδο με γεωδαιτικό σταθμό θα απαιτούσε πολύ χρόνο και σίγουρα λεπτομέρειες όπως η λιθοδομή των γεφυριών δεν θα μπορούσαν αποδοθούν όπως με τον επίγειο σαρωτή.

## 1.3. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η τρισδιάστατη αποτύπωση δύο πέτρινων γεφυριών της Άνδρου με σύγχρονες μεθόδους, έτσι ώστε να δημιουργηθεί τρισδιάστατο μοντέλο με μετρητική αξία και στη συνέχεια να δημιουργηθούν τα σχέδια κάτοψης, τομής και όψης για το κάθε γεφύρι.

## 1.4. Δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια των οποίων το περιεχόμενο περιγράφεται παρακάτω:

Κεφάλαιο 1: Στο πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο παρουσιάζεται το περιεχόμενο της εργασίας, η θέση, ο σκοπός και η δομή της εργασίας.

Κεφάλαιο 2: Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία αναφορά στην γεωμετρική τεκμηρίωση κατασκευών και μνημείων.

Κεφάλαιο 3: Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στη νήσο Άνδρο, μία μικρή ιστορική αναδρομή, τη θέση, το ανάγλυφο και τις κλιματολογικές συνθήκες.

Κεφάλαιο 4: Το κεφάλαιο αυτό κάνει μία εκτενή αναφορά στα πέτρινα γεφύρια της Άνδρου, τον τρόπο κατασκευής τους και την ιστορία τους, καθώς και μία ειδική αναφορά στα συγκεκριμένα γεφύρια των Διποταμάτων και Στοιχειωμένης.

Κεφάλαιο 5: Παρουσιάζονται τα όργανα και μέθοδοι αποτύπωσης μίας κατασκευής.

Κεφάλαιο 6: Αναφέρεται στην μεθοδολογία της αποτύπωσης που ακολουθήθηκε.

Κεφάλαιο 7: Παρουσιάζονται παρατηρήσεις και συμπεράσματα της παρούσας μελέτης καθώς και τα σχέδια της αποτύπωσης.

Κεφάλαιο 8: Βιβλιογραφία της εργασίας.

## Κεφάλαιο 2ο. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Η διαδικασία της συλλογής, επεξεργασίας και απόδοσης στοιχείων μίας κατασκευής ή μνημείου καλείται τεκμηρίωση. Η τεκμηρίωση είναι η πλήρης και μεθοδική πληροφόρηση που στηρίζεται σε εξακριβωμένα στοιχεία και προκύπτει μετά από την ιστορική και γεωμετρική μελέτη ενός αντικειμένου, μίας κατασκευής ή ενός μνημείου. Μπορεί να υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους απαιτείται τεκμηρίωση του αντικειμένου μελέτης, όπως είναι θεωρητικοί λόγοι όπου χρησιμεύει για επιστημονική έρευνα, πρακτικοί λόγοι για τις ανάγκες μίας συγκεκριμένης μελέτης αλλά και συστηματικοί λόγοι για συγκέντρωση στοιχείων αρχείου.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει διάφορα στοιχεία που προκύπτουν από έρευνα στη βιβλιογραφία, από διάφορα αρχεία αλλά και από παλιές φωτογραφικές λήψεις ή σχέδια αποτύπωσης. Πολύ σημαντική επίσης η συγκέντρωση στοιχείων που αφορούν τα υλικά κατασκευής.

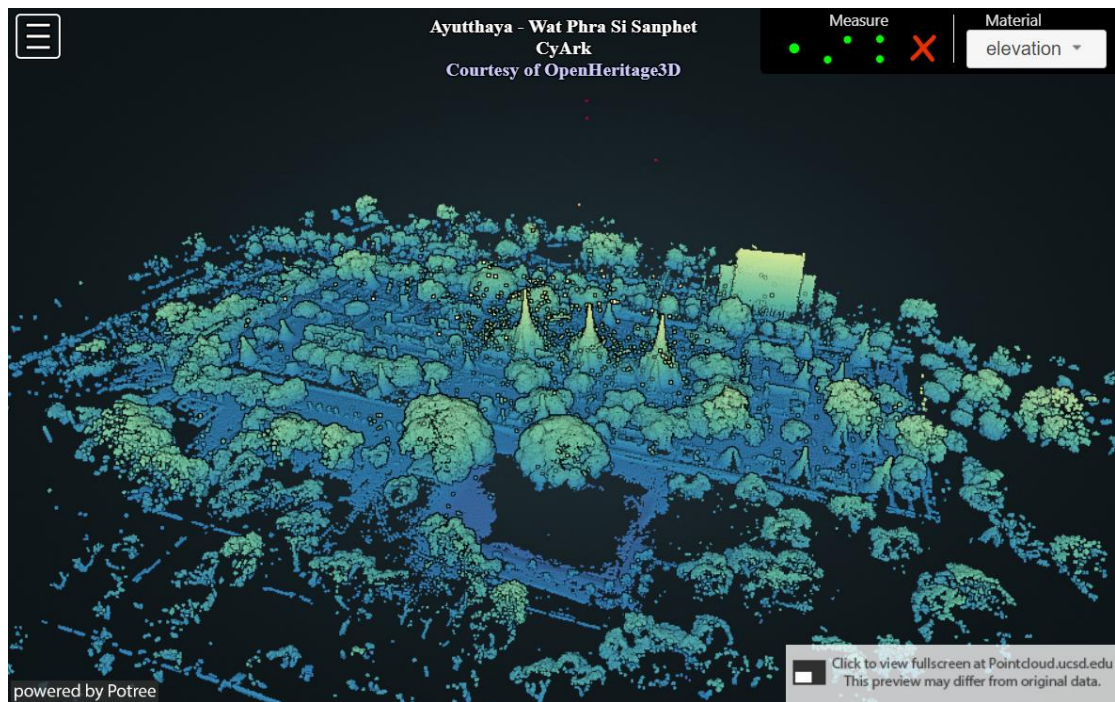
Οι τοπογράφοι μηχανικοί, ως άμεσα εμπλεκόμενοι στη διαδικασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, συλλέγουν πρωτογενή γεωμετρική πληροφορία του αντικειμένου μελέτης, και μετά από επεξεργασία, προκύπτει η απόδοση του αντικειμένου.

Με την τεκμηρίωση επισημαίνεται αλλά και κατοχυρώνεται η αξία μίας κατασκευής ή ενός μνημείου. Με την γεωμετρική τεκμηρίωση ελαχιστοποιούνται έως μηδενίζονται οι λανθασμένες επεμβάσεις αποκατάστασης όπου παρεκκλίνουν από την αρχική αξία της κατασκευής. Έτσι, η πλήρης και σωστή τεκμηρίωση βοηθάει στη λήψη αποφάσεων για το είδος της επέμβασης.

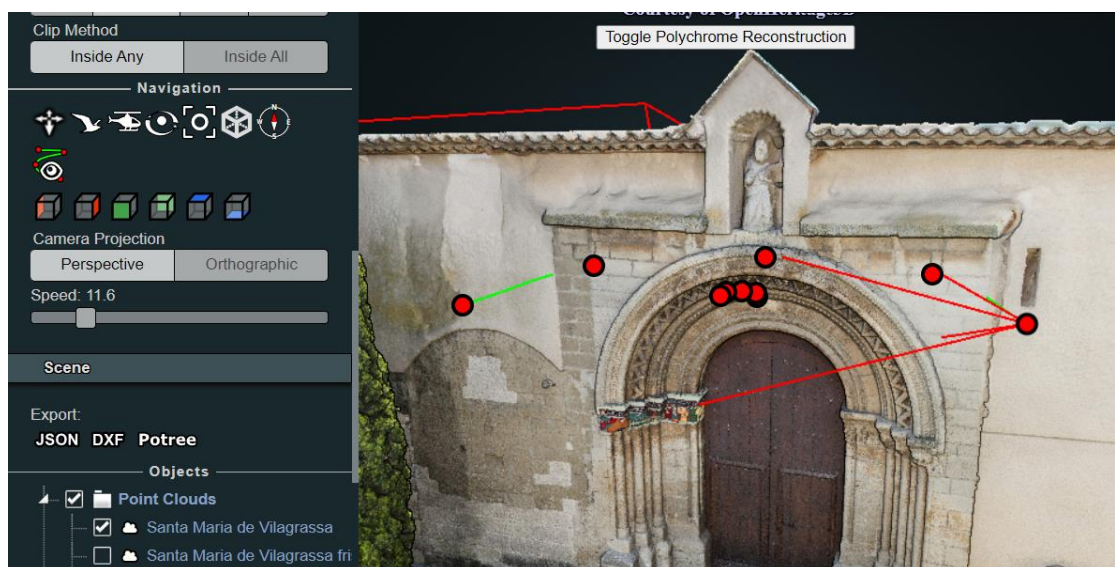
Οι κατηγορίες τεκμηρίωσης μίας κατασκευής ή ενός μνημείου είναι η αρχαιολογική – ιστορική τεκμηρίωση, η αρχιτεκτονική τεκμηρίωση, η φωτογραφική τεκμηρίωση και η γεωμετρική τεκμηρίωση. Η γεωμετρική τεκμηρίωση είναι η καταγραφή των στοιχείων που απεικονίζουν αξιόπιστα τη γεωμετρική μορφή και τη θέση στο χώρο των επιμέρους τμημάτων σε μία δεδομένη χρονική στιγμή. Το αποτέλεσμα αυτής της καταγραφής είναι σχέδια διαφόρων μορφών όπως κατόψεις, τομές, όψεις που προκύπτουν από τα μετρητικά στοιχεία ως ορθές προβολές σε οριζόντια ή κατακόρυφα επίπεδα. Η καταγραφή με σχέδια είναι θεμελιώδης, αφού σε περίπτωση καταστροφής κάποιου τμήματος, μπορεί να αποκατασταθεί πλήρως μέσω σχεδίου. Τα σχέδια που προκύπτουν από τη γεωμετρική τεκμηρίωση συνοδεύονται από πληροφορίες για τη γεωμετρία του μνημείου και τα υλικά. Τα τελευταία χρόνια, οι ψηφιακές μέθοδοι αποτύπωσης ικανοποιούν με μεγάλη ακρίβεια το αντικείμενο της τεκμηρίωσης ενός αντικειμένου ή μιας κατασκευής. Παράγονται σχέδια υψηλής ποιότητας και ακρίβειας και δημιουργούνται ψηφιακά τρισδιάστατα μοντέλα χωρίς την άμεση επαφή με το αντικείμενο.

Η ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση για δημιουργία ψηφιακών τρισδιάστατων μοντέλων μνημείων, διάσημων κατασκευών και αντικειμένων, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία εταιρειών και οργανισμών που ασχολούνται με το αντικείμενο της τρισδιάστατης τεκμηρίωσης παγκοσμίως. Μία σύγχρονη διαδικτυακή συλλογή ονομάζεται “Open Heritage” και παρουσιάζει ψηφιοποιημένα τρισδιάστατα μοντέλα πολλών τοποθεσιών και μνημείων ανά τον κόσμο. Κάθε τέτοιο μοντέλο έχει δημιουργηθεί από την CyArk, μία μη κερδοσκοπική οργάνωση από το 2003, η οποία προσδοκά να αρχειοθετήσει και να μοιραστεί ελεύθερα τα αποτελέσματα με το κοινό. Η πλατφόρμα της Google επιτρέπει να εξυπηρετηθεί ένα ανυπολόγιστο ευρύτερο κοινό για τη παροχή πρόσβασης. Η συνεργασία αυτή σηματοδοτεί και την έναρξη ενός μεγάλου κεφαλαίου για το πεδίο της ψηφιακής αρχαιολογίας, η οποία εξελίσσεται ραγδαία κατά την τελευταία δεκαετία.

Η CyArk θέλει να εξοικειώσει τους ανθρώπους με μνημεία που πιθανά αγνοούν, αλλά επίσης χρησιμοποιεί τα δεδομένα που συλλέγει για να στηρίξει επιτόπιες προσπάθειες συντήρησης. Πολλά από τα έργα της ξεκινούν ακριβώς επειδή μια τοπική ομάδα χρειάζεται βοήθεια για την καταγραφή ενός οικοδομήματος και η CyArk τους παρέχει τα στοιχεία χωρίς οποιαδήποτε χρέωση, με τη βοήθεια τρίτων χορηγών. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια μνημεία παγκόσμιας κληρονομιάς με τη μορφή νέφους σημείων.



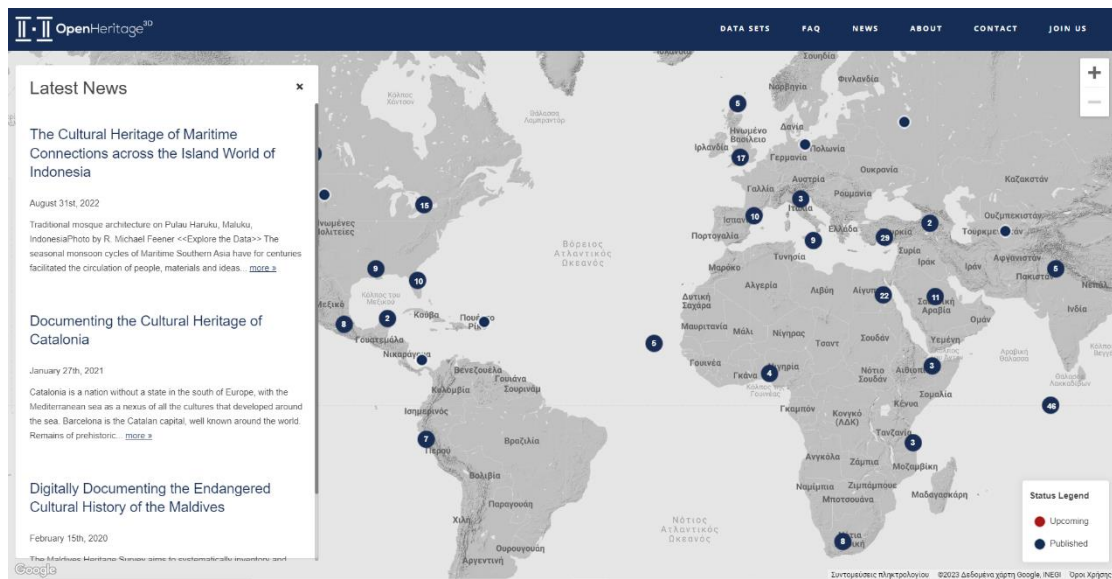
Εικόνα 2.1: Νέφος σημείων μνημείου (πηγή: openheritage3d.org)



Εικόνα 2.2: Νέφος σημείων μνημείου (πηγή: openheritage3d.org)



Εικόνα 2.3: Νέφος σημείων μνημείου (πηγή: openheritage3d.org)

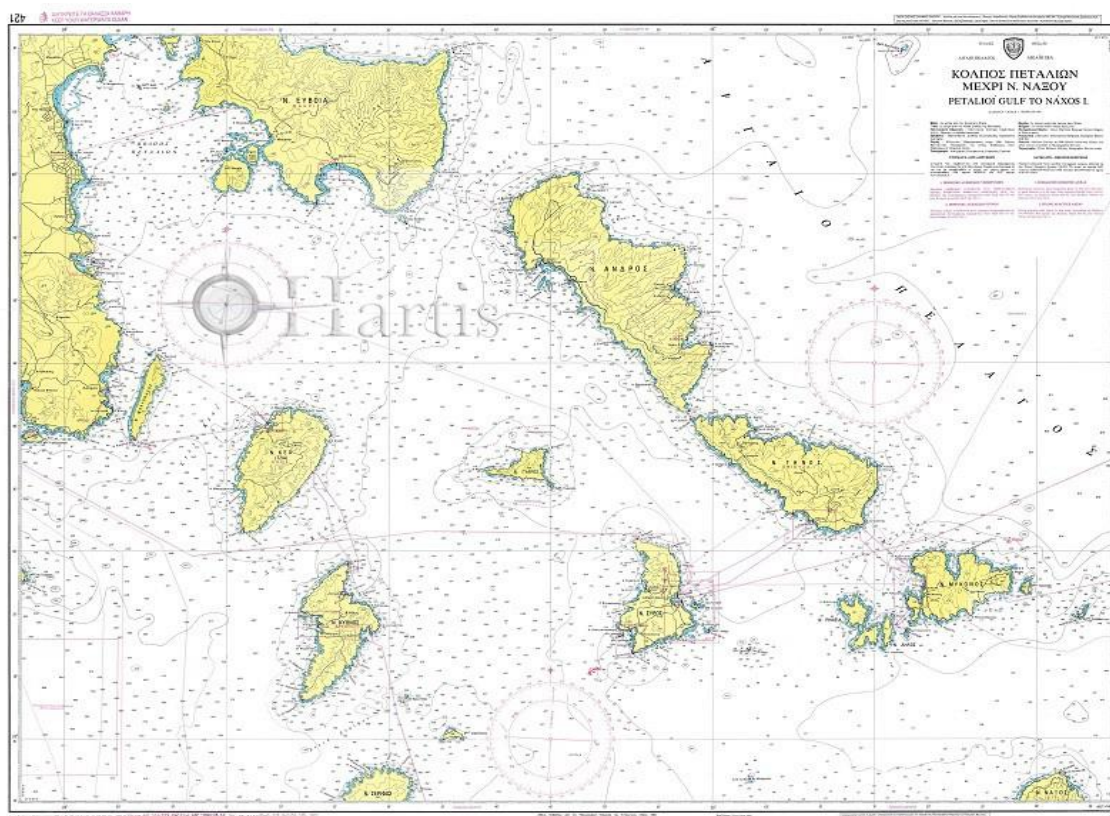


Εικόνα 2.4: Αρχική σελίδα αναζήτησης ψηφιοποιημένων μνημείων (πηγή: openheritage3d.org)

## Κεφάλαιο 3ο. Η ΝΗΣΟΣ ΑΝΔΡΟΣ

### 3.1. Σύντομη ιστορική αναδρομή

Η Άνδρος είναι το βορειότερο νησί των Κυκλάδων και δεύτερο σε έκταση μετά την Νάξο. Το όνομα του νησιού, κατά την επικρατέστερη άποψη, προέρχεται από τον στρατηγό Άνδρο, του Ραδάμανθυ, βασιλιά της Κρήτης. Αυτό είναι κάτι που αποδεικνύει ότι η Άνδρος διετέλεσε υπό Κρητική κυριαρχία, όπως και τα υπόλοιπα νησιά του Αιγαίου.



Εικόνα 3.1: Ναυτικός χάρτης Κόλπου Πεταλιών (πηγή: hartis.gr)

Λόγω της θέσης της, η Άνδρος υπήρξε στρατηγικό σημείο σχεδόν σε όλες τις ιστορικές περιόδους. Πρόσφατες ανασκαφές, στο ακρωτήριο Στρόφιλα, αποκάλυψαν προϊστορικό οικισμό που ανήκει στην τελική Νεολιθική Περίοδο (4.500 – 3.200 π.Χ), με πλήθος βραχογραφιών. Ο οικισμός έχει χαρακτηριστεί ως ο σημαντικότερος αυτής της περιόδου και ο καλύτερα διατηρημένος στο Αιγαίο.

Λίγο νοτιότερα έχει αποκαλυφθεί ένας από τους καλύτερα σωζόμενους, στην Ελλάδα, οικισμούς της Γεωμετρικής περιόδου (900-700 π.Χ.), ο οικισμός της Ζαγοράς. Ευρήματα από την εποχή του χαλκού (200 π.Χ), υπάρχουν στην περιοχή της Πλάκας (νοτιότερα της Ζαγοράς), καθώς και στην Υψηλή, που είναι επισκέψιμος αρχαιολογικός χώρος ([wikipedia.org](http://wikipedia.org)).





Εικόνα 3.2: Ο οικισμός Στρόφιλας (πηγή: andros.gr)

Πρωτεύουσα της Άνδρου κατά τους Κλασικούς χρόνους ήταν η Παλαιόπολη. Πιστεύεται ότι γύρω της υπήρχαν πενήντα περίπου οικισμοί, ενώ την ευημερία της περιόδου αυτής μαρτυρά και η πλούσια νομισματοκοπία. Σχετικά ευρήματα, μαζί με τον Ερμή της Άνδρου, όπως και ευρήματα από τη Ζαγορά, φιλοξενούνται στο Αρχαιολογικό Μουσείο στην Χώρα.

Τον 7ο π.Χ αιώνα, η Άνδρος ιδρύει τρεις αποικίες στη Χαλκιδική: Την Άκανθο, τη Σάνη και τα Στάγειρα, γενέτειρα του μεγάλου αρχαίου Έλληνα φιλόσοφου, Αριστοτέλη.

Από τον 11ο και 12ο αιώνα, η Άνδρος γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη. Γίνεται γνωστή σε όλο τον κόσμο, χάρη στα προϊόντα μεταξουργίας αλλά και την εμπορική ναυτιλία που αναπτύσσεται. Η περίοδος ευημερίας έχει δώσει θαυμάσια δείγματα εκκλησιαστικής αρχιτεκτονικής, όπως είναι οι εκκλησίες των Ταξιάρχων στη Μεσαριά, τη Μελίδα και το Υψηλού και της Κοιμήσεως της Θεοτόκου, στο Μεσαθούρι. Την ίδια εποχή –και λίγο αργότερα- κατασκευάζονται τα μοναστήρια της Ζωοδόχου Πηγής, του Αγίου Νικολάου, της Μονής Παναχράντου.

Στην Αγία Τριάδα, στο Κόρθι, στεγαζόταν από το 1813 το μοναδικό ίσως προεπαναστατικό σχολείο της Άνδρου που ιδρύθηκε από τον Σαμουήλ Πλασίμη. Δίπλα στην Αγία Τριάδα υπάρχει κτίσμα το οποίο φιλοξενούσε τους δασκάλους και σημαντική βιβλιοθήκη.

Επί Τουρκοκρατίας «γεννιέται» η λαϊκή ρήση «Αν σ'αρέσει μπάρμπα-Λάμπρο ξαναπέρνα από την Ανδρο». Στις 10 Μαΐου 1821 ο Θεόφιλος Καΐρης σηκώνει το λάβαρο της επανάστασης.

Στους νεότερους χρόνους η Άνδρος, παρά τα πιασχυρισματα του Α' και του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, θα βρεθεί στην κορυφή της εμπορικής ναυτιλίας και της οικονομικής ευημερίας. Το 1939 ήταν δεύτερη, μετά τον Πειραιά, σε αριθμό νηολογήσεως πλοίων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Ανδριώτης εφοπλιστής Δημήτρης Μωραΐτης εγκαινίασε τη γραμμή Ελλάδας - Βορείου Αμερικής στις αρχές του 20ου αιώνα.

Ο δεύτερος Παγκόσμιος πόλεμος προκάλεσε σημαντικές απώλειες σε ζωές και πλοία, στο νησί. Στα τέλη της δεκαετίας του 1950 άρχισε ένα μεγάλο μεταναστευτικό ρεύμα τόσο προς τα μεγάλα αστικά κέντρα της Αθήνας και του Πειραιά, όσο και προς το εξωτερικό (Αμερική, κυρίως), που συρρίκνωσε δημογραφικά το νησί. Κατά τις τελευταίες 2-3 δεκαετίες το νησί άρχισε και πάλι να αναπτύσσεται, με άξονα κυρίως τον τουρισμό, καθώς είναι μοναδικό σε φυσικές ομορφιές, με σπουδαίο πολιτισμό, και μεγάλο πλεονέκτημα το γεγονός ότι είναι το κοντινότερο στην Αττική νησί των Κυκλάδων (Ενάνδρο, ηλεκτρονική εφημερίδα enandro.gr).

### 3.2. Γεωγραφική θέση

Η Άνδρος έχει έκταση 374 τετραγωνικά χιλιόμετρα και σχήμα επίμηκες με διεύθυνση Βόρεια-Βορειοδυτική προς Νότια-Νοτιοανατολική. Βρίσκεται ανάμεσα στην Εύβοια και στην Τήνο στη διεύθυνση βορρά – νότου, ενώ η απόστασή της από την Αττική είναι περίπου 30 ναυτικά μίλια.

Οι ντόπιοι συχνά αποκαλούν το νησί «βράχο», εξαιτίας τόσο του βραχώδους των ακτών, όσο και των βραχονησίδων που περιβάλλουν την Άνδρο. Ενδεικτικά αναφέρονται τα Γαυριονήσια, που βρίσκονται στη δυτική πλευρά του νησιού, έξω από το λιμάνι του Γαυρίου και έχουν τα ακόλουθα ονόματα: Αλαδονήσι, Πρασονήσι, Λαγονήσι και Μεγάλο Νησί. Στην ανατολική πλευρά, βορειότερα της Χώρας, βρίσκεται η βραχονησίδα Θεοτόκος (wikipedia.org).

### 3.3. Μορφολογία, ανάγλυφο και κλιματολογικές συνθήκες

Η Άνδρος είναι μια μικρογραφία της Ελλάδας, έχει ψηλά βουνά, πολλές χαράδρες, μικρά ποτάμια, κοιλάδες φυτεμένες με αμπέλια, τρεχούμενα νερά, κυπαρίσσια, βελανιδιές, οπωροφόρα δέντρα, ελιές, ιαματικές πηγές. Το νησί έχει πλούσιες γεωγραφικές αντιθέσεις και συνδυάζει το ξερό κυκλαδίτικο τοπίο με την πλούσια βλάστηση και τα άφθονα νερά. Κυριότερα όρη της Άνδρου είναι: οι Άγιοι Σαράντα (715μ.), η Κουβάρα με την ψηλότερη κορυφή το Πέταλο (996 μ.) ο Γερακώνας (736 μ.) και η Ράχη (681 μ.) Η Άνδρος ειδικά τους χειμερινούς μήνες κατακλύζεται από μεγάλο αριθμό χειμάρρων και ρεμάτων. Οι σημαντικότεροι είναι ο Αχλας, που πηγάζει από το Πέταλο και εκβάλλει στην παραλία Άχλα, ο Αρνιπόταμος που εκβάλλει στον όρμο της Λεύκας, ο Μεγάλος ποταμός των Λειβαδίων που εκβάλλει στο Παραπόρτι. Σημαντικά ρέματα είναι τα Διποτάματα, των Λουριών.

Η ακτογραμμή της Άνδρου είναι γενικά βραχώδης, εκτός από τον βαθύ κόλπο του Γαυρίου. Σπουδαιότερα ακρωτήρια είναι ο Καμπανός στο βόρειο άκρο του νησιού, το Αρτεμίδι, η Γριά, ο Ακαμάτης, ο Κάτω Κόσμος, το Στενό, ο Άγιος Σώστης και Περιστέρι στα δυτικά παράλια.



*Εικόνα 3.3: Βορεινή παραλία Ζόργκος*

Η σύσταση του υπεδάφους, σχεδόν αποκλειστικά από κρυσταλλικό σχιστόλιθο, «ευλογεί» το νησί με ποτάμια, χειμάρρους, ρέματα και πολλές πηγές έτσι ώστε οι βελανιδιές, τα αιωνόβια πλατάνια, οι ελιές, τα κυπαρίσσια, οι καρυδιές και οι λεμονιές να μην αποτελούν έκπληξη για τον περιηγητή, τουλάχιστον στη Ν-ΝΑ πλευρά. Στα νερά και στην πλούσια βλάστησή της οφείλει η Άνδρος και τις αρχαίες προσωνυμίες της: Υδρούσα, Λασία, Νωναγρία και Επαγρίς. Γνωστότερες πηγές της Άνδρου είναι οι Σάριζα και Λεζίνα, που έχουν ιαματικές ιδιότητες. (ενάνδρο, ηλεκτρονική εφημερίδα, enandro.gr)



*Εικόνα 3.4: Περιοχή "Πυθάρα" στα Αποίκια Άνδρου*

Μεγάλη ποικιλία από πουλιά, μεταξύ των οποίων πέρδικες, γεράκια αλλά και κάποια σπάνια είδη αρπακτικών, όπως ο σπιζαετός αποτελούν την πλούσια πανίδα του νησιού. Στις απόκρημνες ακτές του πετούν αγριοπερίστερα και πετροχελίδονα, ενώ σε κάποιες συχνάζει και η μεσογειακή φώκια.

Η Άνδρος έχει σχεδόν ήπιο κλίμα, με το αέρα να είναι συνήθως ο κυρίαρχος σχεδόν όλες τις εποχές του χρόνου. Ο αέρας είναι εκτός από τη θάλασσα ένα δυνατό στοιχείο του νησιού. Η Άνδρος έχει το υψηλότερο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης στις Κυκλάδες με αποτέλεσμα να είναι πλούσιο σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο νησί παρουσιάζονται στις περιόδους που δεν πνέουν μελτέμια. Τα μελτέμια πνέουν κυρίως από ΒΔ και βόρειες διευθύνσεις, αποδυναμωμένα φτάνουν στις δυτικές ακτές (Μπατσί – Γαύριο). Ξεκινούν από τον Μάιο με μικρή ένταση και διάρκεια, πνέουν εντονότερα τον Αύγουστο και εξασθενούν τον Οκτώβριο.

Χαρακτηριστικό της διαμόρφωσης του εδάφους του νησιού είναι οι «αιμασιές», όπως αποκαλούνται τοπικά. Πρόκειται για αναχώματα που συγκρατούνται από πέτρινους τοίχους (τις περίφημες ξερολιθιές), τα οποία χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό επίπεδων καλλιεργήσιμων επιφανειών.



Συγκρότημα εγκαταλελειμμένων αιμασιών στην Κοχύλου Άνδρου. Φωτο. Θ. Πετραΐδου

Εικόνα 3.5: Οι “Αιμασιές” της Άνδρου

Το νησί έχει τρία λιμάνια. Δύο στην δυτική πλευρά και ένα στην ανατολική. Το κύριο λιμάνι είναι το Γαύριο, με τακτική συγκοινωνία από τη Ραφήνα, ενώ στο Μπατσι, που βρίσκεται σε απόσταση πολύ λίγων χιλιομέτρων, φθάνουν κυρίως ιδιωτικά σκάφη. Το λιμάνι της Χώρας χρησιμοποιείται περισσότερο ως μαρίνα ιδιωτικών σκαφών και αλιευτικών.



Εικόνα 3.6: Γαύριο, το λιμάνι της Άνδρου (φωτο: Επαμεινώνδας Μαρμαράς)

## Κεφάλαιο 4ο. ΤΑ ΠΕΤΡΙΝΑ ΓΕΦΥΡΙΑ ΤΗΣ ΑΝΔΡΟΥ

### 4.1. Τα λιθόστρωτα μονοπάτια και τα τοξωτά γεφύρια

Στην Άνδρο, τα έως τώρα διάφορα αρχαιολογικά ευρήματα αποδεικνύουν τη συνεχή κατοίκησή της, όπως επίσης και μια συνεχή οικονομική δραστηριότητα και πνευματική ζωή. Ήδη από τα τέλη του 8<sup>ου</sup> αιώνα αναφέρεται ότι υπήρχαν σε μοναστήρια του νησιού πλούσιες βιβλιοθήκες, τα περιεχόμενα των οποίων δεν περιορίζονταν μόνο σε θεολογικά θέματα αλλά αναφέρονταν και σε θέματα αστρονομίας, γεωμετρίας ακόμη και μηχανικής. Ήταν γνωστές όχι μόνο στο νησί αλλά και ευρύτερα.

Εξαιτίας της ιδιαίτερης θέσης της στο Αιγαίο, η Άνδρος στο πέρασμα του χρόνου δεν δέχθηκε μόνο κατά καιρούς πολιτιστικές και πνευματικές επιδράσεις αλλά υπέστη και πολλές περιπέτειες, συχνά οδυνηρές. Στην ανάπτυξη της Άνδρου και τη ζωή των κατοίκων της σημαντικό ρόλο είχαν οι υπάρχουσες στο νησί εύφορες κοιλάδες, πλούσιες σε πηγές και νερά, γεγονός στο οποίο πρέπει να αποδοθεί η αρχαία ονομασία Υδρούσα. Η ενασχόληση των κατοίκων με αποδοτικές γεωργικές καλλιέργειες, ειδικότερα με τη σηροτροφία, και η βιοτεχνικού χαρακτήρα παραγωγή μεταξωτών στο εσωτερικό του νησιού κατά τη βυζαντινή περίοδο πρέπει να συνδέεται και με τις διασωζόμενες στην περιοχή εκκλησίες του 11<sup>ου</sup> και 12<sup>ου</sup> αιώνα, όπως στην πολύφυτη κοιλάδα της Μεσαριάς (Μέσα Μεριά). Η επικερδής και προσοδοφόρα σηροτροφία φαίνεται ότι συνέβαλλε σε μεγάλο βαθμό στην τοπική οικονομία μέχρι και τον 19<sup>ο</sup> αιώνα (Androshistoria, T1 & T3, Νικόλαος Βασιλόπουλος).

Για την εξυπηρέτηση των αναγκών μεταφοράς των εμπορευμάτων και γενικότερα των μετακινήσεων, κατασκευάσθηκε και αναπτύχθηκε σταδιακά στο νησί από παλιά ένα εκτεταμένο οδικό δίκτυο από μονοπάτια, συχνά επιστρωμένα με πλάκες σχιστολίθου, τα οποία κατέληγαν στα υπάρχοντα λιμάνια στο μήκος της χωμένης ακτογραμμής. Το οδικό δίκτυο της Άνδρου το αποτελούσαν τα πλατιά πλακόστρωτα μονοπάτια, που ήταν η κεντρική αρτηρία αγροτικής και εμπορικής εξυπηρέτησης. Στην Άνδρο, στην πλειονότητα τους, τα μονοπάτια είναι ακόμα ορατά και διατηρούνται σχετικά καλά, αν και σε αρκετά μεγάλα τμήματα είναι πια δύσβατα από την πυκνή βλάστηση. Το μοναδικό ντόπιο υλικό, οι κβρίζες σχιστόπλακες, χρησιμοποιούνται με μεγάλη υπομονή και δεξιοτεχνία. Έχουν σχήματα πολυγωνικά σε διάφορα μεγέθη που ισορροπούν μεταξύ τους. Οι αρμοί έχουν μεγάλο πλάτος συνήθως, συχνά με σφήνες ανάμεσά τους. Στους δρόμους μέσα στα χωριά ασβεστώνονται (όπου υπάρχουν σκάλες ασβεστώνονται και τα ρίχτια) για να διακρίνονται τη νύχτα από τον διαβάτη. Με διαφορετικό τρόπο είναι στρωμένες, «κιβωτισμένες» μάλλον στο «καλντερίμι», οι πλάκες στους κατηφορικούς δρόμους, για να μην παρασύρονται από τα βρόχινα νερά. Οι πλάκες τοποθετούνται όρθιες στο βάθος και είναι χοντρότερες από τις άλλες που στρώνονται κανονικά. Εκτός από τα ρείθρα, στις άκρες, υπάρχει και μια τρίτη γραμμή για να κυλήσει το νερό στη μέση του καταστρώματος, που είναι φτιαγμένο με τον αντίθετο από τον γνωστό μας τρόπο. Αντί δηλαδή η εγκάρσια τομή του να καμπουριάζει προς τα πάνω, είναι ελαφρά «κοίλη» στη μέση. Στην πέτρινη αυτή ραχοκοκαλιά φυτεύονται κάποτε όρθιες πλάκες, πιο στενές από τις άλλες. Ένα άλλο αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό του αντριώτικου τοπίου είναι οι φροντισμένες αιμασιές στις πλαγιές των βουνών. Με κλιμακωτή πάντα κατασκευή, για τη συγκράτηση του χώματος και του βρόχινου νερού, έχουν διαστάσεις που είναι αποτέλεσμα της κλίσης του φυσικού εδάφους. Από ξερολιθιά χαμηλού ύψους, συνήθως στο ανάστημα ανθρώπου, είναι χτισμένοι και οι μαντρότοιχοι των κτημάτων, που συχνά φαίνονται και από μακριά πάνω στις βουνοπλαγιές, σηματοδοτώντας τις περισσότερες φορές την ύπαρξη μονοπατιών.

Στις θέσεις όπου τα μονοπάτια διασταυρώνονταν με τους πολλούς χειμάρρους και τα ρέματα που χαράζουν το ανάγλυφο του νησιού, υπήρξε η απαιτητική ανάγκη να κατασκευασθούν γέφυρες, οι περισσότερες μικρού ανοίγματος, οι οποίες όμως παρά το μικρό μέγεθός τους έχουν ενδιαφέροντα τεχνικά στοιχεία και αξιοθαύμαστη αισθητική.

Οι επισκέπτες της Άνδρου, του βορειότερου και δεύτερου σε μέγεθος από τα Κυκλαδονήσια, ιδιαίτερα όσοι αγαπούν την πεζοπορία και τις περιηγήσεις στο υπάρχον εκτεταμένο δίκτυο παλιών πλακόστρωτων μονοπατιών, διαπιστώνουν τη διάσπαρτη παρουσία πολλών μικρού ανοίγματος μονότοξων λιθόκτιστων γεφυριών. Οι λόγοι στους οποίους οφείλεται η κατασκευή και η παρουσία στο νησί τόσων πολλών γεφυριών είναι αρχικά οι κλιματολογικές συνθήκες (πολλές βροχοπτώσεις, διπλάσιες περίπου των βροχοπτώσεων της Αττικής), τα γεωμορφολογικά δεδομένα (έντονο ανάγλυφο με επιμήκεις ορεινούς όγκους, παράλληλα διατεταγμένους, και ενδιάμεσες κοιλάδες, που καταλήγουν σε απόκρημνες βραχώδεις ακτές και μικρές απομονωμένες παραλίες και τα γεωλογικά δεδομένα (επικρατούν στην επιφάνεια μικρής υδατοπερατότητας σχιστολιθικά πετρώματα) έχουν ως συνέπεια το νησί να διασχίζεται από ένα ικανό αριθμό ρεμάτων και χειμάρρων. Επίσης, στο νησί αναπτύχθηκαν τόσο στις δυο μεγάλου μήκους πλευρές του, (ακολουθώντας το μεταβαλλόμενο στις διάφορες ιστορικές περιόδους ενδιαφέρον, άλλοτε προς την Αττική και άλλοτε προς τη Μικρά Ασία), όσο και στο εσωτερικό του, πολλοί μικροί οικισμοί όπως και πολλές εγκαταστάσεις με αντικείμενο θρησκευτικού - πνευματικού η παραγωγικού - εμπορικού χαρακτήρα. Η έντονη ανάγκη επικοινωνίας, μετακινήσεων και μεταφορών μεταξύ των θέσεων αυτών είχε ως συνέπεια την ανάγκη κατασκευής και συντήρησης ενός εκτεταμένου οδικού δικτύου. Η σύγχρονη παρουσία των δύο αυτών δικτύων (ρέματα και χείμαρροι από τη μία και οδοί και μονοπάτια από την άλλη) και η ανάγκη της διασφάλισης της βατότητας στις πολλές θέσεις διασταυρώσεων, ήταν ο βασικός λόγος κατασκευής των πολλών γεφυριών.

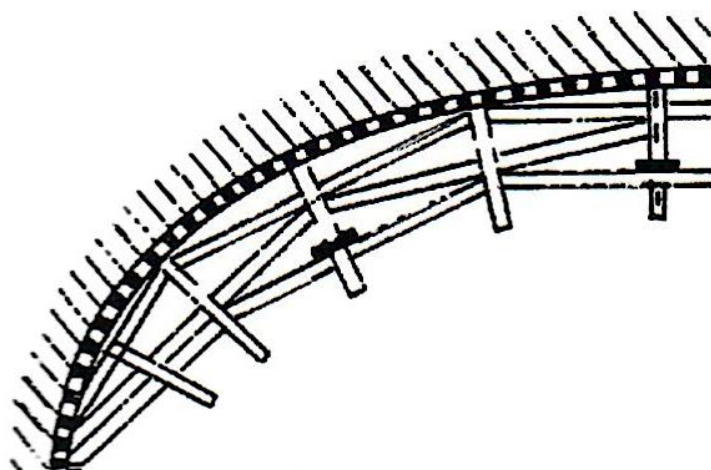


Εικόνα 4.1: Γεφύρι στο Κάτω Κάστρο

## 4.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά των γεφυρών γενικότερα

Οι οδικές γέφυρες είναι μικρά ή και μεγάλα τεχνικά έργα που έχουν ως σκοπό την κατά το δυνατόν απρόσκοπτη διατήρηση της συνέχειας της οδού, όταν στην πορεία της συναντά και διακόπτεται από χειμάρρο ή ποταμό ή διασταυρώνεται με έναν άλλο δρόμο σε σημαντικά διαφορετικό υψόμετρο (Άνω ή Κάτω Διάβαση). Στην πρώτη περίπτωση (του χειμάρρου ή ποταμού), το «σώμα» της γέφυρας πρέπει να αφήνει τη διέλευση κάτω από αυτό του τρεχούμενου νερού χωρίς σοβαρά προβλήματα και με ασφάλεια ακόμη και για την περίπτωση, όταν μετά από πολύ μεγάλης διάρκειας και έντασης βροχόπτωση το ποτάμι φουσκώσει και η στάθμη του νερού ανέβει στο μέγιστο πιθανό ύψος (όταν επίσης η ταχύτητα της ροής, τα παρασυρόμενα φερτά και οι στροβιλισμοί είναι όλα έντονα). Στη δεύτερη περίπτωση το πλάτος και το ύψος του ανοίγματος κάτω από τη γέφυρα πρέπει να επιτρέπουν την καλή και ασφαλή λειτουργία της άλλης οδού. Όμως μαζί με την απαίτηση να ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις αυτές, η θέση της γέφυρας επιλέγεται με κριτήρια να διευκολύνεται η βατότητα και το μήκος της να είναι κατά το δυνατόν μικρότερο.

Κάθε γέφυρα αποτελείται από την επιδομή, επί της οποίας εδράζεται το κατάστρωμα, τα βάθρα και την θεμελίωση (που στο σύνολο ή τουλάχιστον στο μεγαλύτερο μέρος της καλύπτεται από το έδαφος και δεν είναι ορατή). Η επιδομή των πέτρινων γεφυρών, η οποία φέρει όλα τα δρώντα φορτία και κυρίως το βάρος της είναι μια επίκυρτη λιθοδομή, ο θόλος της γέφυρας, του οποίου τα άκρα εδράζονται στα βάθρα. Η απόσταση μεταξύ των άκρων καλείται άνοιγμα του θόλου. Ο αριθμός των θόλων ποικίλλει εξαρτώμενος κυρίως από το συνολικό μήκος της γέφυρας αλλά και από άλλα στοιχεία, οπότε διακρίνουμε γέφυρες μονότοξες ή πολύτοξες. Τα βάθρα τα μεν ακραία ονομάζονται ακρόβαθρα τα δε εσωτερικά μεσόβαθρα.

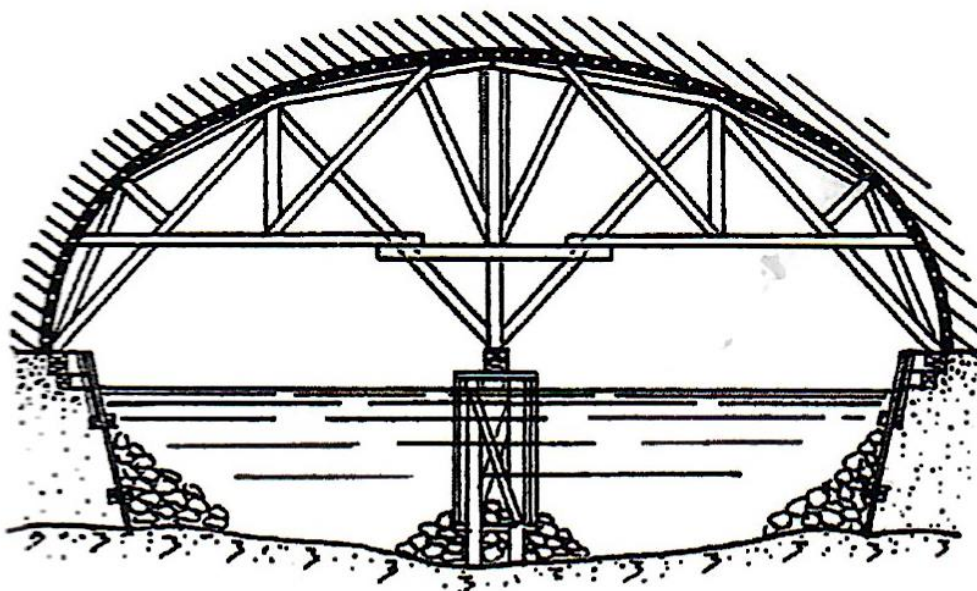


Σχήμα 4.1: Ξυλότυπος για κατασκευή τόξου με τρία κέντρα (κανεολαβή).

Για να διευκολυνθεί η βατότητα, πολύ συχνά είναι ανάγκη επί της άνω επιφάνειας του θόλου να τοποθετηθεί κατάλληλο επίχωμα, ώστε να εξομαλυνθεί το σχήμα της επιφάνειας του δαπέδου κυκλοφορίας. Το υλικό της επίχωσης πρέπει να συγκρατείται στα μέτωπα της γέφυρας με τοίχους υποστήριξης, οι οποίοι ονομάζονται τύμπανα.



Τα τύμπανα επιστέφονται με την κορωνίδα, η οποία τοποθετείται στο επίπεδο του καταστρώματος και αποτελεί σε σχέση και με τις διαστάσεις και τον χαρακτήρα της γέφυρας ένα ιδιαίτερο αρχιτεκτονικό στοιχείο. Τέλος επί της κορωνίδας τοποθετείται, για την ασφάλεια των διαβατών και των υποζυγίων που χρησιμοποιούν τη γέφυρα και κινούνται επί αυτής, το θωράκιο. Στα ακρόβαθρα των γεφυρών κατασκευάζονται σχεδόν πάντοτε ιδιαίτερες επεκτάσεις σαν είδος πλάγιων τοίχων, οι πτερυγότοιχοι, οι οποίοι διατάσσονται είτε κάθετα στον άξονα της γέφυρας είτε παράλληλα είτε με οποιαδήποτε κλίση ως προς αυτόν. Οι πτερυγότοιχοι έχουν σκοπό να συγκρατούν και να προστατεύουν τα επιχώματα του δρόμου, τα οποία βρίσκονται εκατέρωθεν της γέφυρας. Ιδιαίτερη προσοχή και επιμέλεια δίδεται στη διαμόρφωση των δύο εξωτερικών επιφανειών-όψεων του θόλου, δηλαδή της άντυγας (εσωραχίου) και των μετώπων. Επειδή ο θόλος αποτελεί το κύριο και περισσότερο επικίνδυνο φέρον δομικό στοιχείο της γέφυρας, η άντυγα αποτελεί το κατασκευαστικό στοιχείο που δομείται με ιδιαίτερα μεγάλη επιμέλεια και φροντίδα. Το κλειδί στους νησιώτικους θόλους «βόλτα» δεν διαφέρει από τους υπόλοιπους θολίτες.



Σχήμα 4.2: Ξυλότυπος για κατασκευή ελλειπτικού τόξου

Ο θόλος είναι ένας φέρων οργανισμός που αποτελείται από στοιχεία που όλα υποβάλλονται σε θλίψη και συναποτελούν ενιαίο φέρων σύστημα. Είναι ενδιαφέρον ότι αν μετατοπισθεί ένα στοιχείο, η σταθερότητα καθίσταται προβληματική και η όλη κατασκευή οδηγείται σε αστοχία (μερική ή και ολική κατάρρευση). Το γύρισμα των «βόλτων» των θόλων διευκολύνεται από το ότι οι πλακοειδείς θολίτες επιλέγονται κατάλληλα στο λατομείο και ακολουθεί μικρή διορθωτική επεξεργασία του λίθου, όπου και όπως χρειάζεται. Για τη στήριξη των βόλτων κατά την κατασκευή τους, προηγείται πάντα η κατασκευή κατάλληλα ισχυρού και σταθερά εδραζόμενου ξυλοτύπου (ξύλινου ικρίωματος), που παραμένει μέχρι την ολοκλήρωση της κατασκευής του θλιβόμενου σε όλο το μήκος του λίθινου τόξου. Είναι χαρακτηριστικό ότι στις όψεις των λίθινων στοιχείων του θόλου συχνά παρέμεναν και διακρίνονταν οι «μασχαλότρυπες» (μούτουλοι) από τα αφαιρεθέντα ξύλα των στηριζουσών σκαλωσιών. Συχνά επί των μετώπων και ορισμένες φορές πάνω από το διάζωμα του θόλου τοποθετούνται κτητορικές πλάκες. Οι πλάκες αυτές, τις περισσότερες φορές έχουν συνήθως

χαραγμένο πάνω το όνομα του χορηγού του έργου ή του πρωτομάστορα, τη χρονολογία κατασκευής, όπως και διάφορα διακοσμητικά θέματα ή και εθνικά και θρησκευτικά σύμβολα που ήταν ιδιαίτερα αγαπητά στους Έλληνες κατά την τουρκοκρατία.

Μια ενδιαφέρουσα διαπίστωση είναι ότι, παρότι ο άξονας της οδού στην περιοχή της γέφυρας και εκατέρωθεν αυτής, εξαιτίας του ανάγλυφου, συχνά οριζοντιογραφικά είναι καμπυλοφερής, στην θέση της γέφυρας για στατικούς και άλλους λόγους διατηρείται ευθύγραμμος.

Όσον αφορά τη γωνία με την οποία η γέφυρα διέρχεται πάνω από το ρέμα (γωνία διαβάσεως), όταν οι συνθήκες το επέτρεπαν αυτή είναι ορθή (90°) οπότε ονομάζεται και η γέφυρα ορθή, ενώ όταν αυτό δεν ήταν εύκολα εφικτό η γωνία διαφέρει της ορθής και η γέφυρα χαρακτηρίζεται ως λοξή. Στη δεύτερη περίπτωση, για να μην προκληθούν προβλήματα στη ροή, τα μέτωπα των βάθρων κατασκευάζονται παράλληλα προς τον άξονα του ρέματος, οπότε δημιουργούνται αρκετές πρόσθετες τεχνικές δυσκολίες, το μήκος της γέφυρας αυξάνεται και η δαπάνη είναι μεγαλύτερη.

Στον ελλαδικό χώρο, από τα μυκηναϊκά χρόνια και μετέπειτα, καθ' όλη τη διάρκεια της μακράς αρχαίας εποχής υπήρχε μια σημαντική για την εποχή τεχνογνωσία στην κατασκευή λίθινων γεφυρών. Τούτο καθώς κατά την εποχή αυτή υπήρχε ένα εκτεταμένο δίκτυο δρόμων που εξυπηρετούσε τόσο το χερσαίο εμπόριο όσο και μετακινήσεις προς τα μαντεία και τα ιερά, προς τόπους διεξαγωγής αθλητικών αγώνων και άλλους προορισμούς, όπως βέβαια και για στρατιωτικούς λόγους. Από τις γέφυρες αυτές διασώζονται ορισμένες, κατασπαρμένες στον ελλαδικό χώρο, καθεμιά με διαφορετικό βαθμό ερειπίωσης.

Κατά τη μυκηναϊκή εποχή ακολουθήθηκαν τρία διαφορετικά συστήματα δόμησης

α) Με την οριζόντια τοποθέτηση αμφιέριστων πλακοδομών στηριζόμενων σε στύλους (βάθρα).

β) Με εκφορικά διατεταγμένες οριζόντιες πλάκες, Διακρίνονται δύο παραλλαγές, η τραπεζοειδής και η τριγωνική. Συστήματα δόμησης αυτού του τύπου διασώζονται στην Αργολίδα και σε ορισμένα νησιά του Αιγαίου.

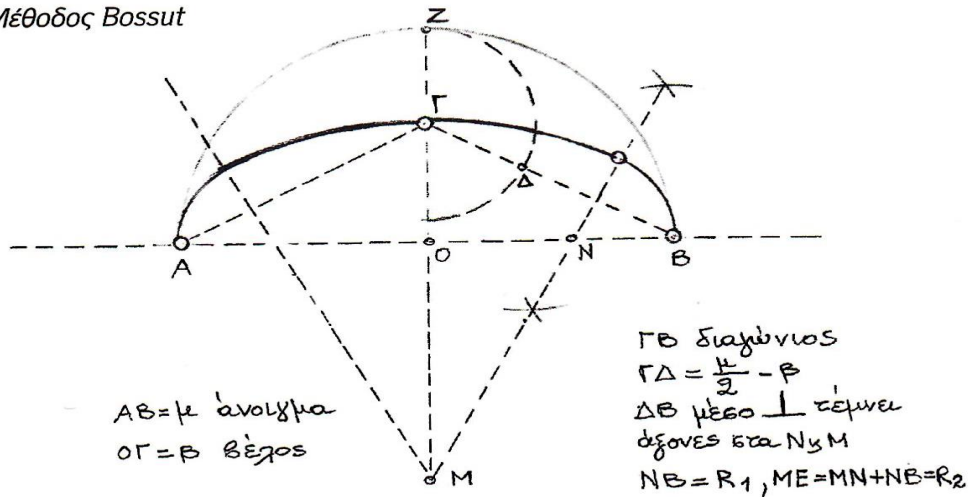
γ) Με κυλινδρικούς θόλους. Πρέπει να επισημανθεί ότι τα τόξα και οι θόλοι, οι οποίοι αποτελούν μετεξέλιξη του εκφορικού τόξου και θόλου, χρησιμοποιήθηκαν στην αρχαία εποχή περιορισμένα, δεν ήταν όμως άγνωστα (γέφυρες, υπόγειες κατασκευές, όπως οι Μακεδονικοί τάφοι). Αντίθετα είναι επιβεβαιωμένο ότι η πρώτη χρήση τους πηγαιίνει πολύ πίσω στον χρόνο (περί το 4000 π.χ.).

Για τις πρώιμες αυτές γέφυρες δεν φαίνεται να υπάρχουν στη διασωθείσα αρχαία γραμματεία στοιχεία και πληροφορίες για τυχόν υπολογισμούς, στατικές αναλύσεις ή ακόμη και τεχνικές προδιαγραφές, Μάλιστα ανάλογο κενό και σιγή των πηγών υπάρχει και για τις καλύτερα διασωζόμενες, μεγαλύτερες και περισσότερο εντυπωσιακές μεταγενέστερες λίθινες γέφυρες. Η έλλειψη αυτή είναι ενδεχόμενο να είναι συμπτωματική, να υπήρχαν δηλαδή αναφορές, οι οποίες όμως έχουν χαθεί.

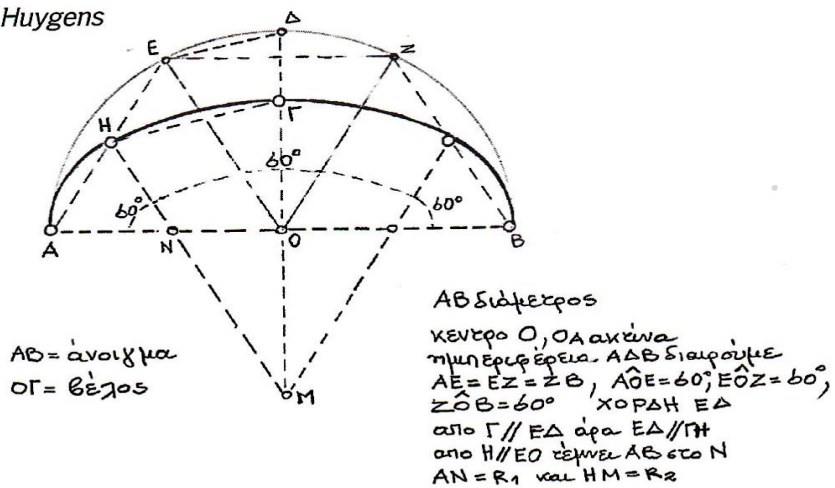
Η άντυγα των γεφυρών συνήθως ακολουθεί δύο καμπύλα σχήματα, το ημικύκλιο και την αψίδα (χαμηλωμένο τόξο κύκλου). Η κατασκευή ημικυκλικού θόλου παρουσιάζει το πλεονέκτημα της σχετικά πιο εύκολης κατασκευής, ενώ από άποψη στατικής λειτουργίας οι αναπτυσσόμενες κατά μήκος του θλιπτικές τάσεις είναι μικρότερες των τάσεων που αναπτύσσονται σε θόλους ίδιου ανοίγματος άλλου σχήματος. Ένα επίσης ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του ημικυκλικού θόλου είναι ότι η ασκούμενη φόρτιση στη γένεση είναι περίπου κατακόρυφη, με συνέπεια να μην καταπονείται το ακρόβαθρο με οριζόντια φόρτιση, οπότε το απαιτούμενο πάχος του να είναι μικρότερο και οι συνθήκες θεμελίωσης ευνοϊκές,

Από άποψη αισθητικής, με τη χρήση του ημικύκλιου αποφεύγεται στη συναρμογή της άντυγας με τις κατακόρυφες ακμές του βάθρου η θλάση της γραμμής της όψης, η οποία υπάρχει σε περιπτώσεις άλλων σχημάτων. Είναι ενδιαφέρον ότι κατά τη μακρά διάρκεια της ρωμαϊκής εποχής, αλλά και μετά από αυτήν, η άντυγα των θόλων των λίθινων γεφυρών φαίνεται να ακολουθεί σχεδόν αποκλειστικά το ημικύκλιο.

Μέθοδος Bossut



Μέθοδος του Huygens



Σχήμα 4.3: Ξυλότυπος για κατασκευή ελλειπτικού τόξου

Πολύ αργότερα, κατά τον 12<sup>ο</sup> αιώνα, φαίνεται ότι άρχισε να γίνεται ευρεία χρήση της αψίδας με τη μορφή του χαμηλωμένου θόλου, οπότε αντί του ημικυκλίου στο οποίο το βέλος στο μέσον είναι ίσο με το μισό του ανοίγματος,  $\beta/\mu = 1/2$ , εφαρμόζεται και πάλι τόξο κύκλου, το οποίο είναι τμήμα ημικυκλίου και για το οποίο ο λόγος  $\beta/\mu$  είναι μικρότεροι, όπως  $\beta/\mu = 1/3, 1/4$  ή και  $1/5$ . Αργότερα κατά το 17<sup>ο</sup> και 18<sup>ο</sup> αιώνα η άντυγα χαμηλώνει ακόμη περισσότερο και ο λόγος  $\beta/\mu$  έχει τιμές  $1/10$  ή και  $1/15$ . Στις περιπτώσεις αυτές ο θόλος ασκεί στα βάθρα μεγάλες ωθήσεις για την παραλαβή των οποίων το σχήμα τους προσαρμόζεται κατάλληλα στη διεύθυνση της ασκούμενης δύναμης.

Κατά τον 12<sup>ο</sup> αιώνα επίσης, εμφανίζεται με την ονομασία Περσικός θόλος η αψίδα με δύο κέντρα (γωνιώδης θόλος ή τεθλασμένο τόξο). Τα δύο τόξα τέμνονται στην κορυφή της αψίδας υπό γωνία οξεία ή και αμβλεία. Εικάζεται ότι ο τύπος αυτός των γεφυρών μεταφέρθηκε και

διαδόθηκε στην Ευρώπη από τη Μικρά Ασία κατά την εποχή αυτή από τους σταυροφόρους. Η γεωμετρία των αψιδωτών θόλων με δύο κέντρα έχει υποστεί από τότε στην πάροδο του χρόνου πολλές τροποποιήσεις. Τη μορφή αυτή χρησιμοποίησαν αργότερα και οι Οσμανίδες, οι οποίοι ιδίως κατά τον 17<sup>ο</sup> και 18<sup>ο</sup> αιώνα κατασκεύασαν πολλές γέφυρες στον ελλαδικό χώρο με οξυκόρυφους αψιδωτούς ή ψαλιδωτούς θόλους. Παράλληλα, κατά τη χρονική περίοδο μετά τον 15<sup>ο</sup> αιώνα, κατασκευάζονται γέφυρες με άντυγα, η οποία σχεδιάζεται με περισσότερα κέντρα (τρία έως και έξι), ενώ από τον 16<sup>ο</sup> αιώνα εμφανίζεται ένα νέο είδος χαμηλωμένου θόλου, στο οποίο αντί των κυκλικών τόξων εφαρμόζεται διαφορετικό τόξο το οποίο προσεγγίζει την έλλειψη. Η προτίμηση της έλλειψης παρέχει πολλές ευκολίες και κατά τη χάραξη και κατά την εκτέλεσή της. Ειδικότερα όσον αφορά την Ευρώπη, φαίνεται ότι μέχρι και κατά τη διάρκεια των πρώτων σκοτεινών χρόνων του μεσαίωνα (500 μ.Χ. μέχρι το 1100 μ.Χ.) δεν κατασκευάζονταν λίθινες γέφυρες εκτός από περιορισμένες απλές κατασκευές και αυτές σε περιοχές όπου δεν είχε σβήσει κάθε ίχνος πολιτισμού.

Όσον αφορά τον τρόπο και την προετοιμασία κατασκευής των λίθινων γεφυρών, μέχρι τα τέλη του 16<sup>ου</sup> αιώνα δεν φαίνεται ότι υπήρχε ή δεν διασώζεται κάποια μαρτυρία ότι πριν από την κατασκευή συντάσσονταν τεχνικά σχέδια και η πρόταση κατασκευής μπορούσε μόνο να μελετηθεί και να παρουσιαστεί με την προκατασκευή μοντέλου από ξύλο ή γύψο. το ίδιο ίσχυε και για τον ξυλότυπο (καλούπι), ο οποίος γίνονταν επιτόπου χωρίς να προηγηθεί κανένα σχέδιο. Πέραν αυτού, σε ορισμένες περιπτώσεις φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας, γίνονταν η χάραξη του τόξου σε πραγματικό μέγεθος στο έδαφος μπροστά από τα βάρθρα (δηλαδή γίνονταν κατάκλιση του κατακόρυφου επίπεδου του τόξου στο οριζόντιο επίπεδο), εργασία που συνέβαλλε στην προετοιμασία και τον έλεγχο της επάρκειας των δομικών στοιχείων, όπως η επιλογή και προπαρασκευή των απαραίτητων βασικών λίθων (θολίτες) και των κατάλληλων ξύλινων δοκών, υποστυλωμάτων και ράβδων για να φτιαχτεί ως ικρίωμα το ισχυρό καλούπι που υποστήριζε τον θόλο μέχρι την ολοκλήρωσή του. Κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας, οι όποιες τεχνικές εργασίες, συμπληρώνονταν από τον προϋπολογισμό της δαπάνης, τους όρους της οικονομικής συμφωνίας αλλά και ορισμένους εμπειρικούς στατικούς υπολογισμούς και γεωμετρικές αναλογίες που διασώζονταν και μεταφέρονταν προφορικά με τον χρόνο.

Κατά το τέλος του 16<sup>ου</sup> αιώνα παρουσιάζονται ορισμένες τεχνικές - οικοδομικές σημειώσεις (εγχειρίδια αρχιτεκτονικής), οι οποίες αναφέρονται και χρησιμοποιούν ως κύρια βιβλιογραφική πηγή τις υποδείξεις και οδηγίες που περιέχονται στην «Περί Αρχιτεκτονικής-πραγματεία του Ρωμαίου αρχιτέκτονα Βιτρούβιου από τις αρχές του 1<sup>ου</sup> μ.Χ. αιώνα. Στη Γαλλία το πρώτο γνωστό εγχειρίδιο με αντικείμενο τις γέφυρες δημοσιεύτηκε το 1714 από τον Gautier. Κατά την περίοδο αυτή στα πλαίσια της έντονης γενικής ανάπτυξης των επιστημών και τεχνών, ιδίως στην Γαλλία (ίδρυση το 1666 της Ακαδημίας των Επιστημών και των Τεχνών από τον J. Colbert, υπουργό του Λουδοβίκου XIV), υπήρξε και στη γεφυροποιία μια ιδιαίτερα μεγάλη ανάπτυξη, και κατασκευάστηκαν πολλές αξιόλογες λίθινες γέφυρες.

Χαρακτηριστική ένδειξη της σημασίας που δόθηκε στη γεφυροποιία κατά την περίοδο αυτή είναι η ίδρυση το 1747 της πολύ γνωστής πανεπιστημιακής σχολής «Ecole Nationale des Ponts et Chaussees» με πρώτο διευθυντή τον πολύ γνωστό μηχανικό της εποχής J.R. Perronet.

Κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα έγινε περαιτέρω σημαντική πρόοδος στη μεθοδολογία κατασκευής των λίθινων γεφυρών. Τούτο γιατί επινοήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν ακριβέστερες γεωμετρικές και αναλυτικές μέθοδοι στατικής μελέτης και υπολογισμού των θόλων, οι οποίες επέτρεψαν και οδήγησαν στην κατασκευή γεφυρών μεγαλύτερων ανοιγμάτων (π.χ. μονότοξες γέφυρες με ανοίγματα 80 έως και 100 μ.).

Περί το 1900 αρχίζουν να χρησιμοποιούνται στη γεφυροποιία οι σιδηρές γέφυρες, οι οποίες, περισσότερο απλές και ασφαλείς κατά την κατασκευή, σταδιακά επικράτησαν σε σύντομο

χρόνο. Τούτο έγινε παρά το ότι έναντι των σιδηρών οι λίθινες πλεονεκτούν σε ό,τι αφορά τη στερεότητα, τη χρονική διάρκεια και την αρχιτεκτονική τους, καθώς χωρίς την ανάγκη ειδικού διάκοσμου δημιουργούν την αίσθηση-εικόνα μνημειακού έργου, ενώ από την άλλη απαιτούν μικρότερη δαπάνη συντήρησης.

Επανερχόμενοι και περιοριζόμενοι και πάλι στον ελλαδικό χώρο, κατά τη μακρά περίοδο της τουρκοκρατίας, θα πρέπει να γίνει αναφορά στις συνεχνίες των οικοδομών (κτιστάδες, πελεκάνοι, ταλιαδούροι, ξυλογλύπτες, ζωγράφοι και άλλες ειδικότητες), τα γνωστά σινάφια των κουδαραίων, τα μέλη των οποίων ήταν οι πρόδρομοι των επόμενων μέχρι και των σύγχρονων τεχνητών και δημιούργησαν στα χρόνια της τουρκοκρατίας μία απaráμιλλη αρχιτεκτονική, συνέχεια της μεγάλης βυζαντινής τέχνης. Η χρήση του όρου Κουδαραίοι συναντάται στην Ήπειρο και την Δυτική Μακεδονία κυρίως για τους μαστόρους και τους κτιστάδες αλλά και για άλλες οικοδομικές ειδικότητες. Πράγματι, σύμφωνα με αξιόπιστες μαρτυρίες, οι οργανωμένες συνεχνίες τεχνητών και οικοδόμων, οι οποίες προϋπήρχαν από πολύ παλιότερα, εξακολούθησαν να υπάρχουν και να δραστηριοποιούνται και κατά τα πρώτα χρόνια της τουρκικής κατάκτησης του ελλαδικού χώρου αλλά και αργότερα, σε Κωνσταντινούπολη, Θεσσαλονίκη, Ανδριανούπολη και αλλού. Μάλιστα η τουρκική εξουσία φρόντισε με διάφορους τρόπους, όπως με την έκδοση σχετικών προστατευτικών διαταγμάτων να υποστηρίζει τη δραστηριότητα αυτών των συνεχνιών, ακολουθώντας και στο θέμα αυτό όπως και σε άλλα την αντίστοιχη βυζαντινή νομοθεσία. Έτσι τα σινάφια είχαν ένα άτομο ως υπεύθυνο και επικεφαλής, υπήρχε οργάνωση κατά ειδικότητες, όπως και ένας σχετικά οργανωμένος τρόπος προμήθειας των δομικών υλικών, αλλά και κάθε άλλου αναγκαίου εξοπλισμού και απαραίτητου αγαθού και εμπορεύματος (ακόμη και όπλων), ενώ υπήρχε επίσης και ένας συγκεκριμένος τρόπος καταβολής των φόρων. Πιο συγκεκριμένα, ο πρωτομάστορας έπαιρνε άδεια για να προχωρήσει σε εργασίες (οι οποίες βέβαια δεν περιοριζόταν μόνο στις γέφυρες αλλά μπορούσε να ήτανε δρόμοι, κάστρα ή κάθε άλλο τεχνικό έργο όπως καραβανσαράγια και υδραγωγεία) και πλήρωνε τον επιβαλλόμενο φόρο στον Τούρκο «τέκτονα», ο οποίος είχε συνήθως την έδρα του στην πλησιέστερη μεγάλη πόλη και είχε την είσπραξη των φόρων ως κύρια ασχολία. Τα καλύτερα οργανωμένα και μεγαλύτερα σινάφια είχαν περισσότερα από 100 μέλη και για να βρουν απασχόληση συχνά ταξίδευαν από τόπου σε τόπο, φθάνοντας όχι μόνο στην Πελοπόννησο και τη Θράκη, αλλά ακόμη και μέχρι τη Ρουμανία βόρεια ή μέχρι την Αίγυπτο προς τον νότο. Οι μεγάλες αυτές μετακινήσεις, η ξενιτιά και τα μακρά δρομολόγια είχαν ως βασική αιτία την ανάγκη εξασφάλισης εσόδων, καθώς στον τόπο τους, όπως π.χ. στην Ήπειρο, οι συνθήκες ήταν δύσκολες, τα καλλιεργήσιμα χωράφια λίγα και η γεωργική οικονομική απόδοση μικρή και αβέβαιη. Παράλληλα οι μετακινήσεις και τα δρομολόγια των κουδαραίων συντελούν στην εξάπλωση της τεχνικής και των αρχιτεκτονικών μορφών και στοιχείων των κτισμάτων του τόπου τους και αντίστροφα στη μεταφορά, γυρνώντας από τα ξένα, αλλότριων επιδράσεων και επιρροών.

Έτσι λοιπόν τα γεφύρια, όπως και οι εκκλησιές και τα αρχοντικά ή ακόμη και τα απλούστερα-λαϊκότερα σπίτια, αποτελούν έντεχνα έργα των εργατικών χεριών και του μυαλού των Ηπειρωτών, των Δυτικομακεδόνων, των Θρακών και σε μικρότερη κλίμακα των Γορτύνιων και Ανδριωτών μαστόρων. Παράλληλα και συγχρόνως, τα ξυλόγλυπτα τέμπλα και οι εσωτερικές και εξωτερικές διακοσμήσεις είναι έργα προικισμένων λαϊκών ζωγράφων και ξυλόγλυπτων. Δείγματα αυτής της τέχνης συναντούμε συχνά στον ελλαδικό χώρο μέχρι και τον 19<sup>ο</sup> και τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, οπότε παρατηρείται η αυγή του νεοκλασικισμού στον χώρο αυτόν. Η ποιότητα και το ύφος των έργων και της τέχνης αυτής φώτιζαν όλα αυτά τα χρόνια τον χώρο της Ελλάδας με το παλιό και άσβεστο βυζαντινό φως.

Κλείνοντας το παρόν γενικό κεφάλαιο, επανερχόμενη και πάλι στον σκοπό στον οποίο εξυπηρετεί η κατασκευή των Γεφυρών, που όπως αναφέρθηκε με τρόπο όμως στενό, περιορισμένο και πολύ πρακτικό ήδη στην πρώτη παράγραφο, είναι η διατήρηση της συνέχειας μιας οδού, κάθε είδους και χρήσης, όταν διασταυρώνεται με κάποιο εμπόδιο, όπως ποτάμι, χείμαρρο ή άλλη οδό, είναι σκόπιμο και πρέπει το θέμα να θεωρηθεί πολύ ευρύτερα. Τούτο, γιατί κάθε γέφυρα πέραν βέβαια της χρηστικής αξίας της, η οποία προϋποθέτει και την επάρκειά της από άποψη στατικής λειτουργίας και δομικής αντοχής, είναι ένα ενδιαφέρον αρχιτεκτόνημα που ξεχωρίζει και εντυπωσιάζει. Έτσι λοιπόν, καθώς η Αρχιτεκτονική αντικατοπτρίζει τις κοινωνικές συνθήκες όπως και τα ήθη και τα έθιμα κάθε τόπου σε κάθε εποχή, και παρότι όπως ο Paul Valery αναφέρει από τα έργα της Αρχιτεκτονικής (της τέχνης του οικοδομείν), άλλα είναι μουγκά, μερικά μιλούν και άλλα που είναι πιο σπάνια τραγουδούν (κάτι που αποδίδεται στο ταλέντο του κατασκευαστή αλλά και στην προσωπικότητα εκείνου που τα βλέπει, σύμφωνα με το γούστο, την καλλιέργεια και την ικανότητά του να αντιλαμβάνεται)· στις διάφορες ιστορικές περιόδους η αισθητική και οι εντυπώσεις και τα συναισθήματα που οι γέφυρες προκαλούν διαφέρουν και είναι ιδιαίτερα. Πιο συγκεκριμένα, για τις γέφυρες που κατασκευάστηκαν κατά τη διάρκεια των διάφορων ιστορικών περιόδων - σταθμών της Ευρωπαϊκής ιστορίας, δημοσιεύθηκαν σε σχετική βιβλιογραφία οι παρακάτω ενδιαφέρουσες απόψεις:

Οι ρωμαϊκές γέφυρες υποδηλώνουν τη δύναμη του λαού των Ρωμαίων και της συγκλήτου.

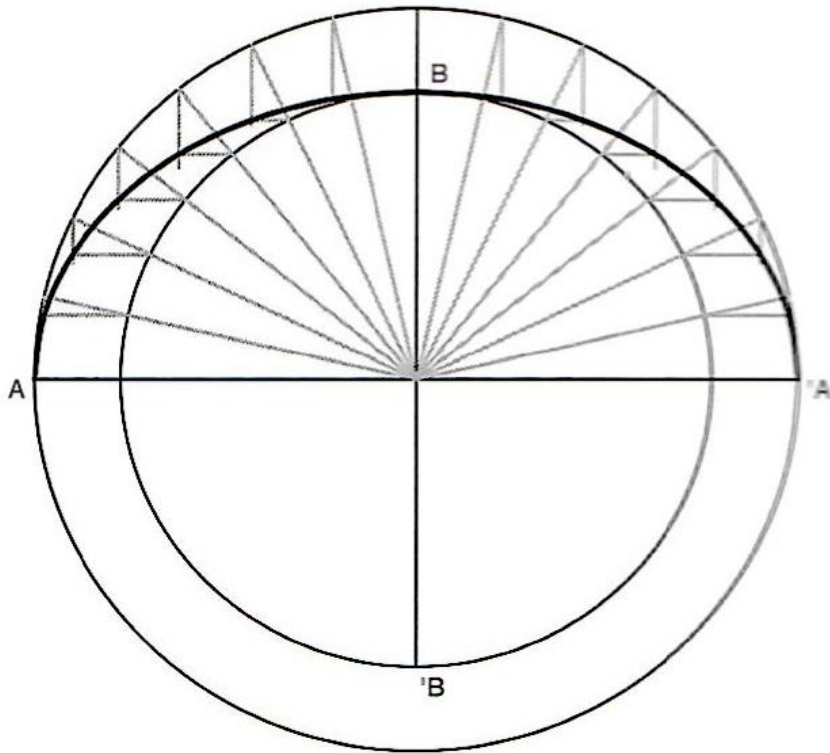
Τον Μεσαίωνα η επιτυχής ολοκλήρωση της κατασκευής μιας γέφυρας σηματοδοτούσε ιδίως την πνευματική δύναμη και τελικά την επικράτηση του ανθρώπου στις πολλές τεχνικές δυσκολίες και τις ισχυρές αντίξοες συνθήκες.

Κατά την Αναγέννηση (17<sup>ο</sup> και 18<sup>ο</sup> αιώνα) κατασκευάστηκαν γέφυρες ως έργα τέχνης που βέβαια όφειλαν συγχρόνως να εξυπηρετούν τις ανάγκες επικοινωνίας, έτσι ώστε να προβάλλεται το πνεύμα και το μεγαλείο του έθνους (Perronet).

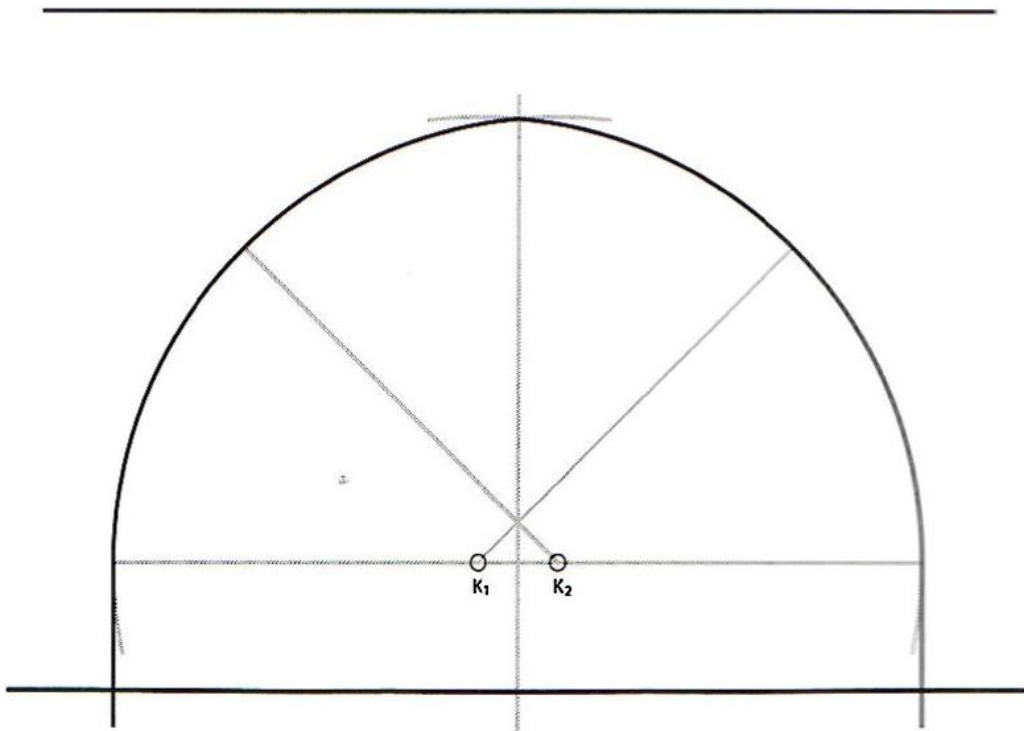
Τον 19<sup>ο</sup> αιώνα η έντονη βιομηχανική ανάπτυξη πρόβαλλε σε πρώτο πλάνο, ξεπερνώντας τις υπερβολές της διακόσμησης της Belle Epoque, τη χρησιμότητα του έντεχνου έργου και την οικονομική ανάπτυξη.

Τον 20<sup>ο</sup> αιώνα η επικράτηση του πνεύματος επί της ύλης θεωρήθηκε δεδομένη. Παρασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν διάφορα τεχνητά υλικά διασφαλίζοντας τη δομική σταθερότητα και την καλή λειτουργία αρχιτεκτονικά πρωτοποριακών και στατικά τολμηρών γεφυρών, με γνώση και υπακοή στους σχετικούς φυσικούς νόμους. Όμως αυτή η αυξανόμενη τεχνική γνώση και οι οικονομοτεχνικές θεωρήσεις δε φαίνεται να διασφάλισαν θέματα σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και του περιορισμού της φθοράς και της αποφυγής της μόλυνσής του.

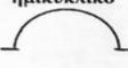

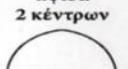
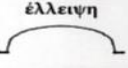
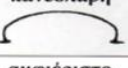

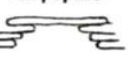
Για τις γέφυρες του αύριο, μπορεί κανείς να ελπίζει ότι η αρχιτεκτονική θα ακολουθεί πιο υψηλές αξίες, θα προσπαθεί να είναι σε συμφωνία με τη φύση και ακόμη θα προσπαθεί να ακολουθεί την αρχή ότι ανεξάρτητα εάν το έργο είναι μικρό ή μεγάλο, η ομορφιά πρέπει να το διέπει.



Σχήμα 4.4: Χάραξη ελλειπτικού τόξου. Είναι η περίπτωση της Γ1.



Σχήμα 4.5: Χάραξη τόξου με δύο κέντρα. Είναι η περίπτωση των Γ3 και Γ23.

|                        |  | χρονολογία |              |          |      |          |                         |   |   |
|------------------------|--|------------|--------------|----------|------|----------|-------------------------|---|---|
|                        |  | 1200       | 1300         | 1400     | 1500 | 1600     | 1700                    | 1800                                      | 1900  |
| Μορφολογία της άπτυγος | ημικυκλικό<br>      | Γ7         | Γ27, Γ28, Γ6 | Γ30      | Γ35  | Γ32, Γ40 | Γ8, Γ35, Γ37, Γ50       | Γ5 (γκρ.), Γ12, Γ16 (γκρ.), Γ18, Γ54, Γ55 | Γ4 (γκρ.), Γ53                                  |
|                        | τόξο κύκλου<br>     |            | Γ21          | Γ42      |      | Γ33, Γ2  | Γ17, Γ19, Γ36, Γ44, Γ46 | Γ10, Γ9 (γκρ.), Γ45                       | Γ29   |
|                        | αψίδα 2 κέντρων<br> |            |              |          |      |          | Γ23                     | Γ3  |   |
|                        | έλλειψη<br>         |            |              |          |      |          |                         | Γ1  |   |
|                        | κανεολαβή<br>       |            |              | Γ34, Γ41 |      |          |                         |   |   |
| Σύστημα                | αμφιέριστο<br>      |            |              |          |      |          | Γ20, Γ21, Γ31           | Γ5, Γ11, Γ24, Γ47                         | Γ4, Γ25, Γ26, Γ38, Γ39, Γ43, Γ48, Γ49, Γ51, Γ52 |
|                        | εκφορικό<br>        |            |              |          |      |          |                         | Γ13                                       |   |

Πίνακας 4.1: Τυπολογία τόξων

### 4.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά γεφυριών της Άνδρου

Το πλάτος των γεφυρών στο νησί της Άνδρου ποικίλει και εξαρτάται από τη χρήση τους (πεζογέφυρες - γέφυρες αμαξιτών οδών - γέφυρες υδραγωγείου).

Οι πεζογέφυρες είναι οι περισσότερες στο νησί, καθώς συναντώνται κατά μήκος των λιθόστρωτων μονοπατιών.

Οι γέφυρες αμαξιτών οδών σε πολλές περιπτώσεις κατασκευάστηκαν στη θέση λίθινων γεφυρών που προϋπήρχαν, είτε μετά τη μερική καταστροφή τους, οπότε ανακατασκευάστηκαν και επιστρώθηκαν με σκυρόδεμα (συχνά μαζί με τα εκατέρωθεν μονοπάτια πρόσβασης), είτε ενισχύθηκαν ή και διαπλατύνθηκαν τα βάρθρα τους είτε επισκευάστηκε-στερεώθηκε ο φορέας τους, με αποτέλεσμα την αλλοίωσή τους. Οι όψεις τους (αλλά και γενικότερα) έχουν ανάμεικτα στοιχεία, παλιά και καινούρια μαζί.

Οι υδραγωγοί γέφυρες έχουν μικρό σχετικά πλάτος, το οποίο εξαρτάται από το πλάτος της υδραγωγού κοίτης ή τη διάμετρο του υδραγωγού σωλήνα.

Περιοριζόμενοι στην Άνδρο, καθώς οι γέφυρές της αποτελούν το αντικείμενο του παρόντος, ένα πρώτο πρακτικού ενδιαφέροντος στοιχείο είναι ότι, παρότι σ' ολόκληρο το νησί φαίνεται να υπάρχουν οικοδόμοι, οι περισσότεροι και οι περισσότερο γνωστοί είναι οι Κορθιανοί, όχι μόνο μέσα από το ίδιο το Κόρθι, αλλά και από την ευρύτερη περιοχή του σύγχρονου ομώνυμου Δήμου, από τα χωριά Μουσιώνας, Πισσομεριά, Ρωγό, Λαρδιά, Καπαριά και Γιαννισαίο, περισσότερο με ειδικευση στην οικοδομική και στη λιθοδόμηση και λιγότερο στην ξυλουργική. Ένα δεύτερο πολύ διαφορετικού χαρακτήρα στοιχείο είναι η αναφορά του Κ. Φαλτάιτς, γνωστού έγκριτου λογοτέχνη και δημοσιογράφου, ο οποίος βέβαια με κάποια διάθεση υπερβολής γράφει στο Ανδριακό Ημερολόγιο του 1930 τα εξής: «Οι Ανδριώται



μαστόροι δεν καυχώνται όπως οι Ηπειρώται και οι Δυτικομακεδόνες κτίσται που λέγονται εις την μουσική τους γλώσσα και κουδαραίοι ότι έκτισαν όλο τον κόσμο. Πιστεύουν όμως ότι και η Σμύρνη και η Κωνσταντινούπολις και αι Αθήναι και ο Πειραιεύς κατά ένα μέγα μέρος εκτίσθησαν από αυτούς, Και ακόμη καυχώνται ότι ο εργολάβος που έκτισε το παλάτι του Όθωνα ήτο Ανδριώτης».

Όσον αφορά στα λιθόκτιστα γεφύρια της Άνδρου, πρέπει να επισημανθεί η μεγάλη ποικιλομορφία των τόξων τους. Αυτή ακριβώς η ποικιλομορφία, αποτελεί το κίνητρο για την περαιτέρω μελέτη τους, καθώς το γενικά μικρό προς ζεύξη εύρος της κοίτης των χειμάρρων και ρεμάτων στο νησί δεν επιτρέπει να αποδοθεί η διαφορά της μορφής σε στατικούς λόγους. Κατά συνέπεια ο παρατηρούμενος πλούτος των γεωμετρικών χαράξεων στα τόξα φαίνεται ότι εξαρτάται πέραν από τη χρονική περίοδο της κατασκευής και από την οικονομική ευρωστία των τοπικών παραγόντων που έδιναν την εντολή της κατασκευής και πλήρωναν το κόστος, καθώς και από τις γνώσεις και τις παραστάσεις που αποκτούσαν οι ταλαντούχοι και προικισμένοι Ανδριώτες τεχνίτες και μαστόροι κατά τα ταξίδια τους, μεταβιβάζοντας στη συνέχεια αυτό το «άγραφο αρχιτεκτονικό αρχείο» από γενιά σε γενιά.

Πιο συγκεκριμένα, στα υπάρχοντα στην Άνδρο λιθόκτιστα γεφύρια, στην άντυγα των τόξων (τα λεγόμενα βόλτα), συναντώνται η κλασική μορφή του εκφορικού συστήματος αλλά και τα γεωμετρικά σχήματα του ημικυκλίου, διαφορετικών τόξων κύκλου, της έλλειψης, της αψίδας με δύο κέντρα και τέλος της κανεολαβής.

Ορισμένα ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά των παραπάνω μορφών είναι τα εξής:

Το ημικυκλικό τόξο κατασκευάζεται σχετικά εύκολα, και οι αρμοί μεταξύ

των λίθων είναι κάθετοι στην άντυγα, από άποψη αισθητικής η συναρμογή της καμπύλης της άντυγας με τις ακμές των βάθρων είναι ομαλή και κατά έναν τρόπο αρμονική.

Το τόξο κύκλου, η εφαρμογή του οποίου στον ελλαδικό χώρο φαίνεται να πρωτοεμφανίζεται περί τον 12<sup>ο</sup> αιώνα, χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι, όπως συνήθως εφαρμόζεται, αποφεύγεται η μεγάλη ταπείνωση του θόλου η οποία παρατηρείται κατά τη χρήση της έλλειψης.

Κατά την εφαρμογή της έλλειψης, η οποία φαίνεται να χρησιμοποιείται στον ελλαδικό χώρο περί τον 16<sup>ο</sup> αιώνα, στο άνοιγμα τοποθετείται ο μεγάλος άξονας οπότε το βέλος του τόξου και του θόλου είναι ίσο με τον μικρό ημιάξονα.

Η αψίδα, αποτελούμενη από δύο τόξα που τέμνονται στην κορυφή της άντυγος υπό οξεία γωνία, φαίνεται να εμφανίζεται περί τον 12<sup>ο</sup> αιώνα, Και στην περίπτωση αυτή οι θολίτες τοποθετούνται με τους αρμούς κάθετους στην άντυγα.

Η κανεολαβή (πολύκεντρη αψίδα), όπως προηγούμενα αναφέρθηκε και για το ημικυκλικό τόξο, χαρακτηρίζεται από το ότι στη γέννεση του τόξου δεν παρατηρείται θλάση αλλά ομαλή συνέχεια των βάθρων.

Τέλος, πρέπει να προστεθεί ότι περί τις αρχές του 1900, με τη διάδοση της χρήσης των χαλύβδινων διατομών και του σκυροδέματος, έφτασε το τέλος της μακράς περιόδου κατασκευής των λιθόκτιστων τοξωτών γεφυρών, καθώς τόσο στην κατασκευή νέων γεφυρών όσο και στην ολική ή μερική ανακατασκευή ή και επισκευή - ενίσχυση προϋπαρχουσών, δίνονταν πρόχειρες λύσεις με απλούστερα αμφιέρειστα συστήματα. Ο χρόνος θα δείξει εάν πέραν της αισθητικής προσβολής η νέα τεχνική θα παρουσιάσει την αποδεδειγμένη μακροβιότητα των πέτρινων γεφυριών.

Εξετάζοντας, πέραν της μορφής του τόξου, συνολικά τα τεχνικά και αρχιτεκτονικά στοιχεία των πολυάριθμων γεφυρών της Άνδρου, έχει ενδιαφέρον να αναφερθούν οι επόμενες παρατηρήσεις:

Η θεμελίωση των μονότοξων γεφυρών, όπως είναι εύλογο, γίνονταν πλην λίγων εξαιρέσεων εκτός της κοίτης, συνήθως πάνω σε υγιή και σταθερά βράχια «εν ξηρώ».

Ο λίθος που τοποθετείται στο κλειδί των βόλτων δεν διαφέρει από τους άλλους θολίτες. Ως συνέπεια το κλειδί δεν τονίζεται και δεν διακρίνεται ιδιαίτερα.

Στα μέτωπα των γεφυρών γενικά υπάρχουν θυρίδες (εσοχές), οι οποίες πρέπει να περιείχαν κτητορικές επιγραφές. Όμως σε πολύ λίγες περιπτώσεις, οι πλάκες των επιγραφών διασώζονται σήμερα. Ειδικότερα έχουν αφαιρεθεί από τις σημαντικότερες γέφυρες.

Σε πολύ λίγες γέφυρες υπάρχει κορωνίδα, κυρίως σε γέφυρες όπου έγιναν μεταγενέστερες επεμβάσεις. Φαίνεται λοιπόν ότι η προσθήκη του διακοσμητικού αυτού στοιχείου δεν αποτελούσε συνήθη πρακτική κατά την αρχική κατασκευή των γεφυρών.

Στις σημαντικότερες γέφυρες, υπάρχουν πλησίον αυτών ορισμένα προκτίσματα, τα οποία στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν προσαρμόζονται αρμονικά με το συνήθως πλούσιο φυσικό περιβάλλον. Στα προκτίσματα συχνά φαίνεται να έχουν χρησιμοποιηθεί οικοδομικά υλικά από τις γέφυρες (Αικατερίνη Ρεβιθιάδου – Τσότσου, Λίθινες τοξωτές γέφυρες της Άνδρου, Καίρειος βιβλιοθήκη, 2015).

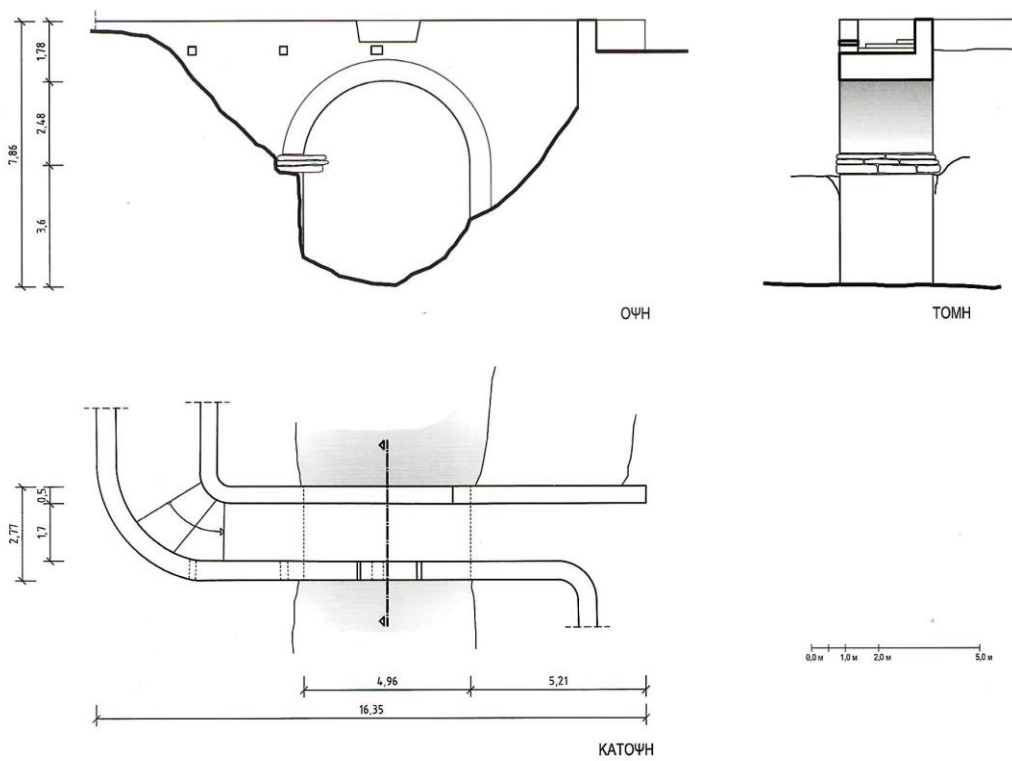
#### 4.4. Το γεφύρι στα Διποτάματα

Ο χείμαρρος που τον σχηματίζουν στην ένωση τους δύο άλλα ρέματα, από τα οποία και το όνομά του, χύνεται ανατολικά του νησιού κάτω από το χωριό Συνετί στο ακρωτήριο Κούρβουλο. Το πλακόστρωτο μονοπάτι που ενώνει το Κόρθι με τη χώρα τέμνει τα Διποτάματα με μια πέτρινη τοξωτή γέφυρα, Η κατεβασιά του από το Πάνω Κάστρο, Κοχύλου, είναι ορατή από τον αμαξιτό δρόμο και καλά διατηρημένη. Ήταν η κεντρική αρτηρία αγροτικής και εμπορικής εξυπηρέτησης ολοκλήρου του νοτιοανατολικού τμήματος της Άνδρου. Ακολουθώντας την κλήση της ρεματιάς η γέφυρα ενώνει τη μεσημβρινή πλαγιά του βουνού με τη βορεινή ανάμεσα σε αγριοβελανιδιές, σχίνα, μουριές, συκιές που τις περισσότερες φορές κλείνουν τα περάσματα. Το μονοπάτι συνεχίζει προς Συνετί και καταλήγει στη Χώρα. Σήμερα χρησιμοποιείται από αγρότες που κατεβαίνουν στα χωράφια τους (υποκαλλιεργούνται) η από περιπατητές ορειβάτες και φυσιολάτρες. Το μήκος της γέφυρας είναι 12,60 μ. Το τόξο της είναι ημικύκλιο με άνοιγμα 4,96 μ. και κρέμαση 2,50 μ. Η κατασκευή του ημικυκλικού ημικυλινδρικού θόλου, πλάτους 2,78 μ. κατασκευάστηκε με τις συνηθισμένες σχιστόπλακες ακολουθώντας ξυλότυπο. Στο κατάστρωμα της γέφυρας υπάρχει έξοδος για την αποβολή των όμβριων υδάτων, είναι σχεδόν ολοκληρωτικά κατεστραμμένη η επίστρωση με μεγάλου μεγέθους σχιστόπλακες, τα θωράκια είναι μισοκατεστραμμένα και επισκευασμένα πρόχειρα. Τα ακρόβαθρα εδράζονται σε γερά βράχια και είναι καλά δομημένα, το συνολικό ύψος τους είναι 7,80 μ. Η περιοχή των Διποταμάτων έχει κριθεί «περιοχή ιδιαίτερου φυσικού κάλλους». Είναι καταφύγιο πλήθους ζώων και πουλιών που μαζί με την πλούσια και υπέροχη βλάστηση, δημιούργησε στη

φαντασία των ανθρώπων διάφορες διηγήσεις. Για το νησί τα Διποτάματα είναι η περιοχή των νερόμυλων.



Εικόνα 4.2: Το γεφύρι στα Διποτάματα, όψη από τα κατόντη του χειμάρρου



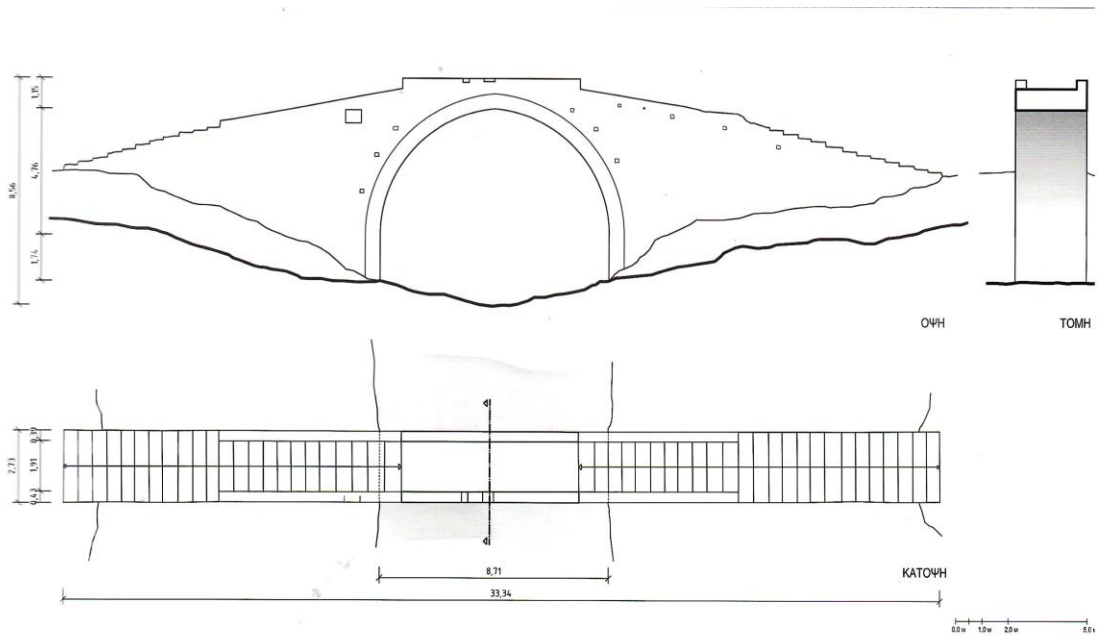
#### 4.5. Το γεφύρι της Στοιχειωμένης – Κοιλιάδα Λιβαδιών

Από τη Μεσαριά, μεγάλο αρχοντοχώρι και κέντρο του νησιού κατά την εποχή του Βυζαντίου, ξεκινά κατηφορίζοντας προς τον καταπράσινο κάμπο του Μεγάλου Ποταμού, ανάμεσα σε ευδιαστούς κήπους και οπωροφόρα δέντρα, πλακόστρωτο μονοπάτι. Το μονοπάτι συναντά και διέρχεται πάνω από την κοίτη του ποταμού, μέσα σε ένα παραδεισένιο τοπίο, με τη Γέφυρα της Στοιχειωμένης, συνεχίζοντας από τη θέση αυτή την ανηφορική πλέον πορεία του στην απόκρημη βόρεια πλαγιά του Γερακώνα, στα Φάλλικα, μέχρι τη Μονή της Παναχράντου.

Η γέφυρα έχει μήκος 19,60 μ. Το άνοιγμα του ημικυκλικού τόξου είναι 8,70 μ., το ύψος του 6,20 μ. και το πλάτος μαζί με τα θωράκια είναι 2,73 μ. Το ελεύθερο πλάτος του καταστρώματος είναι 1,93μ., είναι επιστρωμένο με μονολιθικές πλάκες μεγάλων διαστάσεων, καθώς και οι βαθμίδες εκατέρωθεν του θόλου, οι οποίες αναπτύσσονται σε ευθεία γραμμή. Επιμελώς διαταγμένη είναι η πλακόστρωση στο τμήμα του μονοπατιού προς τα Φάλλικα, σε σύγκριση με αυτό προς τη Μεσαριά. Το γύρισμα των «βόλτων» είναι δομημένο με πλακοειδείς θολίτες μήκους από 0,50 μ. - 1,00 μ. το οποίο κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας ξυλότυπο και με «δίκαιη» κατανομή μικρών και μεγάλων λίθων. Η δόμηση των ακρόβαθρων (το ορατό τμήμα) είναι πολύ φροντισμένη με διαλεγμένους λίθους, παρά τις μάλλον αναποτελεσματικές επεμβάσεις συντήρησης. Αριστερά και πάνω από το τόξο στην όψη προς τα κατάντη του ποταμού, υπάρχει εσοχή, η οποία εύλογα εικάζεται ότι ενέκλειε κτητορική επιγραφή. Μια ευδιάκριτη ρωγμή κοντά στο κλειδί προκαλεί στο θεατή ανησυχία σχετικά με τη σταθερότητα της γέφυρας. Χαρακτηριστικές είναι στις δύο όψεις της γέφυρας οι μασχαλότρυπες «μούτουλοι» για τη στήριξη των σκαλωσιών, ένδειξη της επέμβασης συντήρησης, οι οποίες δημιουργούν όμορφο παιχνίδι φωτοσκίασης σ' ένα ονειρεμένο περιβάλλον ανάμεσα σε ελαιόδεντρα, κυπαρίσια, πλατάνια, πικροδάφνες, μυροδάφνες και πανέμορφες ασπαρτιές που πλημμυρίζουν κυριολεκτικά τον αέρα με το μεθυστικό άρωμά τους. Για τον λόγο αυτό ο λαός, γοητευμένος, έδωσε στο γεφύρι το όνομα «Στοιχειωμένη» και των «Ανεραΐδων» (Νίκος Βασιλόπουλος, Λατινοκρατία στην Άνδρο, Κάστρα Πύργου Εκκλησίες και Φέουδα ,2015).



*Εικόνα 4.3: Το γεφύρι της Στοιχειωμένης, όψη από τα κατόντη*



Σχήμα 4.7: Τυπική κάτοψη, τομή και όψη γεφυριού

Ο ακριβής χρόνος ανέγερσης του γεφυριού δεν είναι γνωστός, αυτό όμως που είναι επιβεβαιωμένο είναι ότι κατασκευάστηκε προ του 1585, διότι αναφέρεται σε διαθήκη, περιγραφόμενο ως εξής:

*Την σήμερα κυρ Νικολός Διαπούλης, ευρισκόμενος εις ασθένειαν βαρυτάτην και την εκτομήν του θανάτου φοβηθείς... αφήνω και του υιού μου Γάσπαρη ένα κομμάτι περιβόλι, σύμπλια του Γεώργη Ταπούντε (Δαπόντε) και την κουμούνα στράτα και έρχεται ως το γιοφύρι... (Νίκος Βασιλόπουλος, Λατινοκρατία στην Άνδρο, Κάστρα Πύργοι Εκκλησίες και Φέουδα, 2015).*

Το γεφύρι της Στοιχειωμένης, ένα έργο αιώνιο, αρτιότατο και σχεδόν υψηλότερο απ'ότι πράγματι χρειαζόταν, ως προς το διερχόμενο ρέμμα, παρόμοιο τεχνικά και σε διαστάσεις με το γεφύρι του Άχλα (αρχές 15<sup>ου</sup> αιώνα) και το γεφύρι των Αποικίων (16<sup>ος</sup> αιώνας), οδηγούσε μέσω της Κουμούνας Στράτας (Κοινόχρηστος Δρόμος) στα Φάλλικα.

Η Κουμούνα Στράτα, δρόμος στιβαρής κατασκευής. Το κάθε πάτημα έχει γίνει με μια και μοναδική πέτρα. Δεν πρέπει να συγχέεται με άλλα μονοπάτια. Από την Κουμούνα Στράτα δηλαδή Κοινής Χρήσεως Δρόμο μπορούσε κανείς να περνά χωρίς την απαραίτητη έγκριση του γαιοκτήμονα της περιοχής μέσα από την οποία διερχόταν ο δρόμος αυτός (Androshistoria, T1 & T3, Νικόλαος Βασιλόπουλος).

## Κεφάλαιο 5ο. ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ

### 5.1. Τρισδιάστατη αποτύπωση

Η τρισδιάστατη αποτύπωση ορίζεται ως η συνολική διαδικασία πλήρους και ακριβούς καταγραφής των γεωμετρικών χαρακτηριστικών ενός αντικειμένου ή χώρου σε τρεις διαστάσεις. Έτσι αναπαρίσταται αξιόπιστα η γεωμετρική μορφή και θέση του στο χώρο με τη χρήση τρισδιάστατων μοντέλων. Αποτελείται από πολλαπλά βήματα διαδικασιών και παρουσιάζει διαφοροποιήσεις ανάλογα με το αντικείμενο της αποτύπωσης, το σκοπό της και την εφαρμογή. Λόγω της πολυπλοκότητας των αναγκών που προκύπτουν από τα ίδια τα αντικείμενα της αποτύπωσης υπάρχει σήμερα μια πληθώρα μεθοδολογιών και τεχνολογιών. Ο στόχος κάθε τεχνικής είναι να αντιμετωπίσει με επιτυχία τα θέματα που αφορούν τόσο στην τρισδιάστατη αποτύπωση ενός συγκεκριμένου τύπου αντικειμένων ή χώρων, όσο και στην ικανοποίηση συγκεκριμένων αναγκών και στόχων ενός συγκεκριμένου έργου αποτύπωσης (π.χ. πλήρης αποτύπωση, αποτύπωση για προβολή, αποτύπωση για τουριστική εκμετάλλευση, κοκ). Οι ιδιαιτερότητες των αντικειμένων και χώρων που αποτυπώνονται είναι αυτές που καθορίζουν, τις περισσότερες φορές, το τελικό πλαίσιο εφαρμογής των διαδικασιών αποτύπωσης. Ακόμη πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι ιδιαιτερότητες αυτές μπορεί να συμβάλλουν σημαντικότερα ή, ακόμη, και να καθορίζουν την επιλογή της τεχνικής που θα πρέπει να ακολουθηθεί. Ο κανόνας είναι ότι δεν υπάρχει μία γενικής χρήσης άριστη μέθοδος τρισδιάστατης αποτύπωσης. Για την ακρίβεια, υπάρχουν περιπτώσεις όπου καμία από τις διαθέσιμες μεθόδους δεν μπορεί να οδηγήσει σε ικανοποιητικά αποτελέσματα τρισδιάστατης αποτύπωσης. Παρακάτω αναφέρονται όλες οι διαθέσιμες τεχνικές τρισδιάστατης αποτύπωσης.

- **Σάρωση με ακτίνες λέιζερ (laser triangulation)**  
Προβολή δέσμης ή μοτίβου ακτίνων λέιζερ, ανίχνευσή τους και εφαρμογή γεωμετρικών σχέσεων τριγωνισμού για την αναγνώριση γεωμετρίας
- **Σχήμα από δομημένο φωτισμό (shape from structured light)**  
Προβολή χρωματικού (ή όχι) μοτίβου, δισδιάστατη φωτογράφιση και αναγνώριση γεωμετρίας από τις παραμορφώσεις στο μοτίβο
- **Σχήμα από σιλουέτες (shape from silhouette)**  
Πολλαπλή δισδιάστατη φωτογράφιση και ανακατασκευή γεωμετρίας από τις πολλαπλές σιλουέτες
- **Σχήμα από στερεοφωτογράφιση (shape from stereo)**  
Αναγνώριση γεωμετρίας από ζεύγος δισδιάστατων φωτογραφιών με χρήση κανόνων στερεοσκοπικής όρασης
- **Σχήμα από κίνηση (shape/structure from motion)**  
Αναγνώριση γεωμετρίας από πλήθος δισδιάστατων φωτογραφιών με χρήση αλγορίθμων αναγνώρισης της τρίτης διάστασης παρόμοιους με τη μέθοδο Σχήμα από στερεοφωτογράφιση
- **Σχήμα από φωτοσκίαση (shape from shading)**  
Μέθοδος δημιουργίας τεχνητής, μεταβλητής και ελεγχόμενης φωτοσκίασης για την εξαγωγή τρισδιάστατης γεωμετρίας με εφαρμογή κανόνων οπτικής σε πλήθος δισδιάστατων φωτογραφιών

- **Σχήμα από υφή (shape from texture)**  
Ανάκτηση πληροφορίας τρίτης διάστασης σε δισδιάστατες φωτογραφίες με την εκμετάλλευση πληροφορίας προσανατολισμού και διάχυσης δομικών στοιχείων επιφανειακής υφής
- **Σχήμα από φωτομετρία (shape from photometry)**  
Μέθοδος λήψης δισδιάστατων φωτογραφιών υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού και ανάκτηση τρισδιάστατης γεωμετρίας μέσω αλγορίθμων οπτικής
- **Σχήμα από μεταβαλλόμενη εστίαση (shape from focus)**  
Ανάκτηση τρίτης διάστασης σε επιφάνειες μέσω σειράς δισδιάστατων φωτογραφιών Αμε ελεγχόμενα μεταβαλλόμενη εστίαση
- **Σχήμα από σκιά (shape from shadow)**  
Ανάκτηση γεωμετρίας μέσω παρακολούθησης της σκιάς σε διαδοχική δισδιάστατη φωτογράφιση σε συνθήκες όπου υπάρχει μετακινούμενη πηγή φωτός
- **Σάρωση με συστήματα αφής (measuring systems)**  
Ανάκτηση γεωμετρίας μέσω συνεχούς επαφής ειδικού αισθητηρίου αφής με το αντικείμενο που ψηφιοποιείται
- **Εμπειρικές ή τοπομετρικές μέθοδοι**  
Ανάκτηση γεωμετρίας με μηκομετρήσεις τριγώνων (τριπλευρισμούς), διαγωνίων, πλευρών, αποκλίσεων και υψομετρικών διαφορών χρησιμοποιώντας νήμα στάθμης, αλφαδολάστιχο και μετροταινία
- **Τοπογραφικές μέθοδοι**  
Τυπικές μέθοδοι ανάκτησης γεωμετρίας με χρήση τοπογραφικών οργάνων, όπως ο θεοδόλιχος, τα αποστασιόμετρα, οι γεωδαιτικοί σταθμοί
- **Φωτογραμμετρία**  
Μέθοδοι ανάκτησης γεωμετρίας μέσω καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και άλλων προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- **Σάρωση με λέιζερ πεδίου**  
Ανάκτηση γεωμετρίας χώρου από μέτρηση του χρόνου πτήσης (διαφορά χρόνου αποστολής από το χρόνο επιστροφής λόγω ανάκλασης) δέσμης λέιζερ (είτε στο ορατό είτε στο υπέρυθρο φάσμα)

Η ποικιλία των διαφορετικών μεθόδων υπολογισμού των τρισδιάστατων συντεταγμένων της επιφάνειας ενός αντικειμένου έχει οδηγήσει σε μια άστοχη φιλονικία για το αν τελικά η Τρισδιάστατη Σάρωση, ως έννοια, ανήκει στις γεωδαιτικές μελέτες ή στη φωτογραμμετρία και την όραση υπολογιστών. Βλέποντας όμως το θέμα από την πλευρά του χρήστη το αποτέλεσμα είναι αυτό που μετράει ανεξάρτητα της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε. Γενικότερα, ως τρισδιάστατο σαρωτή θα μπορούσαμε να ορίσουμε οποιαδήποτε συσκευή δύναται να συλλέξει τρισδιάστατες συντεταγμένες από μία δεδομένη περιοχή πάνω στην επιφάνεια ενός αντικειμένου, η οποία πληροί τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Ακολουθεί μια αυτοματοποιημένη διαδικασία που βασίζεται σε κάποιο πρότυπο
- Πραγματοποιεί δειγματοληψία υψηλού ρυθμού (εκατοντάδες ή χιλιάδες σημεία ανά δευτερόλεπτο)
- Επιταχύνει τη διαδικασία, ώστε να πραγματοποιείται σε πραγματικό (σχεδόν) χρόνο
- Δύναται ή και όχι να διακρίνει χρωματική πληροφορία της εκάστοτε επιφάνειας σε συνδυασμό με την τρισδιάστατη γεωμετρία της



Ο τρόπος χρήσης μια τέτοιας συσκευής είναι :

- είτε σταθερός σε κάποια συγκεκριμένη θέση
- είτε πάνω σε κάποιον κλασικό, φωτογραφικού τύπου, τρίποδα
- είτε σε μεταφερόμενες βάσεις
- είτε εν πτήση όταν πρόκειται για τοπογραφικές εφαρμογές

Η δημιουργία πιστών τρισδιάστατων αναπαραστάσεων που αποτελούνται από ακανόνιστες επιφάνειες απαιτούν συνήθως πολύ χρόνο και εργασία. Η τρισδιάστατη σάρωση είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την τεκμηρίωση αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Ως λύση, δεν αποτελεί πανάκεια, όπως πολλοί υποστηρίζουν (κυρίως οι εταιρίες ανάπτυξης τέτοιων συστημάτων). Χωρίς αμφιβολία οι τρισδιάστατοι σαρωτές ταιριάζουν απόλυτα σε εφαρμογές μετρήσεων ανώμαλων επιφανειών και πιθανότατα να έχει αποδειχτεί μια από τις καλύτερες διαθέσιμες μεθόδους. Ωστόσο η αμιγής και μόνο συλλογή δεδομένων δεν είναι επαρκής. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί και στη μετέπειτα επεξεργασία των δεδομένων. Ο χρόνος που απαιτείται για τη δημιουργία ενός υψηλής πιστότητας τρισδιάστατου μοντέλου είναι πολλές φορές πολύ μεγαλύτερος από το χρόνο σάρωσης (Ερευνητικό Κέντρο Καινοτομίας στις Τεχνολογίες της Πληροφορικής των Επικοινωνιών και της Γνώσης, Γεώργιος Παυλίδης Βασίλειος Σεβελίδης Μαρία Χαραλαμπίδου, Μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης αντικειμένων και χώρων, 2014).

## 5.2. Πολιτιστικά μνημεία και αποτυπώσεις

Η αναγκαιότητα της καταγραφής των ιστορικών μνημείων της πολιτιστικής κληρονομιάς αιτιολογείται από τη σύσταση και λειτουργία διεθνών οργανισμών που έχουν σαν κύριο στόχο τη διατήρησή τους αφού κατά πολλούς αποτελούν θεμέλιο λίθο του πολιτισμού. Αυτό είναι ορατό και από τον τίτλο του διεθνούς συνεδρίου που διοργανώθηκε το 2000 στην Κρακοβία<sup>1</sup> όπου συστήθηκε και το καταστατικό της Διεθνούς Επιτροπής Διαχείρισης της Αρχαιολογικής Κληρονομιάς (ICAHM - Int'l Committee for Archaeological Heritage Management)<sup>2</sup> με τίτλο "Cultural Heritage as the Foundation of the Development of Civilisation". Η ICAHM αποτελεί έναν από τους βασικούς κλάδους του ICOMOS<sup>3</sup>, δηλαδή του διεθνούς συμβουλίου των μνημείων και των τοποθεσιών (ICOMOS international Committee of Monuments and Sites) που έχει σαν στόχο τη διάσωση των πολιτιστικών αγαθών σε παγκόσμιο επίπεδο. Το ελληνικό τμήμα του ICOMOS δημιουργήθηκε μετά από πρωτοβουλία του ΤΕΕ το 1972 και έχει σαν κύριο στόχο τη διάσωση και προστασία των πολιτιστικών αγαθών τόσο στην Ελλάδα όσο και στο διεθνή χώρο. Συγκεκριμένα δραστηριοποιείται συστηματικά στην περιοχή της Νοτιοανατολικής Ευρώπης και της Μεσογείου προωθώντας διμερείς σχέσεις και συνεργασίες. Ιδιαίτερη έμφαση δίνονται στη διάσωση των μνημείων της Βαλκανικής Χερσονήσου που κινδυνεύουν από πολέμους και φυσικά αίτια όπως πχ σεισμοί, πλημμύρες κ.α. Σύμφωνα με την έκθεση "Principles for the Recording of Monuments, Groups of Buildings and Sites"<sup>4</sup> του ICOMOS κάθε υπεύθυνος εθνικός ή διεθνής οργανισμός που έχει υπό την άμεση εποπτεία του μνημεία αναλαμβάνει την καταγραφή τους. Η δε καταγραφή πρέπει να γίνεται σύμφωνα με το άρθρο 16 της διακήρυξης της Βενετίας: «Οι εργασίες συντήρησης, αποκατάστασης και ανασκαφής θα πρέπει να βασίζονται σε εξακριβωμένη

<sup>1</sup> Η χάρτα της Κρακοβίας στη διεύθυνση <http://www.triestecontemporanea.it/pag5-e.htm>

<sup>2</sup> Ιστοσελίδα της ICAHM στη διεύθυνση <http://www.icomos.org/ica hm/>

<sup>3</sup> Η ιστοσελίδα του ICOMOS στη διεύθυνση <http://www.icomos.org/en/>

<sup>4</sup> Διαθέσιμη online στη διεύθυνση <http://www.icomos.org/charters/archives-e.pdf>

τεκμηρίωση, δηλαδή σε αναλυτικές και κριτικές εκθέσεις, εικονογραφημένες με σχέδια και φωτογραφίες». Στην προσπάθεια της τεκμηρίωσης των μνημείων με τελικό στόχο τη διατήρηση των μνημείων συμμετέχουν ειδικευμένοι επιστήμονες πολλών διαφορετικών ειδικοτήτων καθώς «η συντήρηση και η αποκατάσταση των μνημείων αποτελεί έναν επιστημονικό κλάδο, ο οποίος πρέπει να αποτείνεται στη συνεργασία όλων των επιστημών και όλων των τεχνών που μπορούν να συνεισφέρουν στη μελέτη και τη διάσωση της πολιτιστικής κληρονομιάς» (άρθρο 2 της χάρτας της Βενετίας<sup>5</sup>). Το 1968 ιδρύθηκε μια από τις διεθνείς επιτροπές του ICOMOS, η CIPA (Comité International de Photogrammétrie Architecturale)<sup>6</sup> σε συνεργασία με την Διεθνή Ένωση Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ISPRS-International Society of Photogrammetry and Remote Sensing)<sup>7</sup>. Η αρχικός στόχος της CIPA ήταν η μετάδοση της τεχνογνωσίας από τις επιστήμες των μετρήσεων σε εκείνους τους επιστημονικούς κλάδους που είναι υπεύθυνοι για την καταγραφή και τεκμηρίωση των αρχιτεκτονικών (και μη) μνημείων. Το αρχικό προσωνύμιο της CIPA δεν ανταποκρίνεται πλήρως στις δραστηριότητες της επιτροπής και για το λόγο αυτό καθιερώθηκε διεθνώς το όνομα “CIPA Heritage Documentation” για να περιγράψει τις δραστηριότητες της επιτροπής που υλοποιούνται στα πλαίσια ομάδων εργασίας (Working Groups) και ομάδων καθηκόντων (Task Groups) που καλύπτουν τις παρακάτω θεματικές περιοχές.

- Καταγραφή, Τεκμηρίωση και Διαχείριση Πληροφοριών
- Πληροφοριακά Συστήματα Πολιτιστικής Κληρονομιάς
- Απλές Μέθοδοι Αρχιτεκτονικής Φωτογραμμετρίας
- Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας
- Αρχαιολογία
- Τοπογραφικές μέθοδοι
- Φωτογραφία και Πολιτισμικά Τοπία Πολλά ενεργά μέλη και εθνικοί εκπρόσωποι της CIPA είναι ειδικευμένοι επιστήμονες με εμπειρία στην καταγραφή-τεκμηρίωση μνημείων αλλά και στα συστήματα διαχείρισης πληροφορίας πολιτιστικής κληρονομιάς και ειδικότερα σε τομείς όπως:
  - Τοπογραφικών μετρήσεων χώρου
  - Laser scanning
  - Τοπογραφικών αποτυπώσεων κτιρίων
  - Τεκμηρίωση αρχαιολογικών χώρων
  - Δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων
  - Συντήρηση μνημείων
  - Αρχαιολογικών ανασκαφών
  - Συστήματα πληροφοριών
  - Επίγειας φωτογραμμετρίας

---

<sup>5</sup> Χάρτα της Βενετίας στη διεύθυνση <http://www.international.icomos.org/venicecharter2004/greek.pdf>, στη Wikipedia στις διευθύνσεις [http://el.wikipedia.org/wiki/Χάρτης\\_της\\_Βενετίας](http://el.wikipedia.org/wiki/Χάρτης_της_Βενετίας), [http://en.wikipedia.org/wiki/Venice\\_Charter](http://en.wikipedia.org/wiki/Venice_Charter)

<sup>6</sup> Η διεύθυνση της CIPA <http://cipa.icomos.org>

<sup>7</sup> Στη διεύθυνση <http://www.isprs.org>

- Ανάλυση και χρήση αρχαιακού φωτογραφικού υλικού
- Πολυμέσα και συστήματα εικονικής πραγματικότητας
- Τεκμηρίωσης πετρογλυφικών και ζωγραφικών μνημείων

Μέχρι πριν από μερικά χρόνια, όταν η τεχνολογία των υπολογιστών και των μετρητικών διατάξεων δεν ήταν τόσο εξελιγμένη όσο σήμερα, η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων μνημείων όπως και μικροαντικειμένων (αρχαιολογικών ευρημάτων και αντικειμένων τέχνης και πολιτισμού) ήταν μια πολύ δύσκολη εργασία. Η δυσκολία αυτή οφειλόταν τόσο στη διαδικασία της αποτύπωσης με ικανοποιητική ακρίβεια του υπό μελέτη τρισδιάστατου αντικειμένου όσο και στην οπτικοποίηση του μοντέλου του. Η κοινή πρακτική για την αποτύπωση βασιζόταν στη χρήση μη αυτοματοποιημένων διαδικασιών για τη μέτρηση χαρακτηριστικών σημείων χρησιμοποιώντας απλές μετρητικές διατάξεις όπως μιας μετροταινίας ή ενός γεωδαιτικού σταθμού. Τα παραγόμενα προϊόντα σε αυτή την περίπτωση δεν παρουσίαζαν το συνολικό τρισδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου αλλά συνήθως παρουσίαζαν την αποτύπωση σε ένα χάρτινο φορέα υπό κλίμακα των χαρακτηριστικών όψεων, κατόψεων και τομών του αντικειμένου. Η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου ενός τρισδιάστατου αντικειμένου έγινε πραγματικότητα με την εισαγωγή των ψηφιακών τεχνικών και των υπολογιστών για την αναπαράσταση των αντικειμένων στις επιστήμες που ασχολούνταν με τη μελέτη τους (πχ. τοπογραφία, αρχιτεκτονική, αρχαιολογία). Ειδικότερα, η ανάπτυξη εφαρμογών τρισδιάστατης παρουσίασης και οπτικοποίησης στην οθόνη υπολογιστή ενός τρισδιάστατου μοντέλου, ώθησε τη χρήση ψηφιακών τεχνικών τρισδιάστατης αποτύπωσης και μετρήσεων με χρήση νέων εξελιγμένων μετρητικών διατάξεων που είναι σε θέση να παρέχουν με αυτοματοποιημένες διαδικασίες τη θέση στο χώρο ενός μεγάλου αριθμού χαρακτηριστικών σημείων που απαρτίζουν την εξωτερική επιφάνεια και οριοθετούν το αντικείμενο. Τα οφέλη που προκύπτουν από τη δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς είναι πάρα πολλά και σημαντικά και ωθούν ολοένα και περισσότερο στη χρήση νέων ψηφιακών τεχνικών αποτύπωσης από τα ινστιτούτα και τους οργανισμούς που ασχολούνται με τη μελέτη και συντήρησή τους.

Θα μπορούσαν να αναφερθούν μερικά από αυτά τα οφέλη που ενισχύουν την τρισδιάστατη καταγραφή τους:

1. Καθώς πολλά από τα αντικείμενα της πολιτιστικής κληρονομιάς είναι παλαιά και εν μέρει ή στο σύνολό τους υπό κατάρρευση η δημιουργία του μοντέλου οδηγεί

a. Στη μελέτη για πιθανή αποκατάστασή τους

b. Στη μελέτη του μοντέλου αντί του ίδιου αντικειμένου με σκοπό την αποφυγή ενεργειών που θα επιφέρουν σημαντικές βλάβες στο ίδιο

2. Τα τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργούνται μπορούν να αποτελέσουν ένα επιπλέον στοιχείο καταγραφής τους που είναι δυνατόν να ενσωματώνεται σε μια συλλογή (Βάση Δεδομένων) όλων των παρόμοιων αντικειμένων που παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη μορφή ή ανήκουν σε συγκεκριμένη ανασκαφή ενός αρχαιολογικού χώρου. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό για ένα αρχαιολόγο ή γενικά μελετητή να έχει συγκεντρωμένα όλα τα στοιχεία που αφορούν το αντικείμενο της μελέτης του. Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία που θα πρέπει να έχει ο μελετητής στη διάθεσή του είναι και η μορφή και η γεωμετρία του αντικειμένου που μελετά και ο πλέον ενδεδειγμένος τρόπος είναι η χρήση τρισδιάστατων μοντέλων. Η απλή φωτογραφική απεικόνιση των αντικειμένων δεν είναι σε θέση να προβάλει σε ικανοποιητική ακρίβεια τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων καθώς δεν παρουσιάζουν συνολικά τη μορφή τους και δεν παρέχουν την πληροφορία της κλίμακας και οπότε και τις διαστάσεις τους. Για το λόγο αυτό το τρισδιάστατο εικονικό μοντέλο των

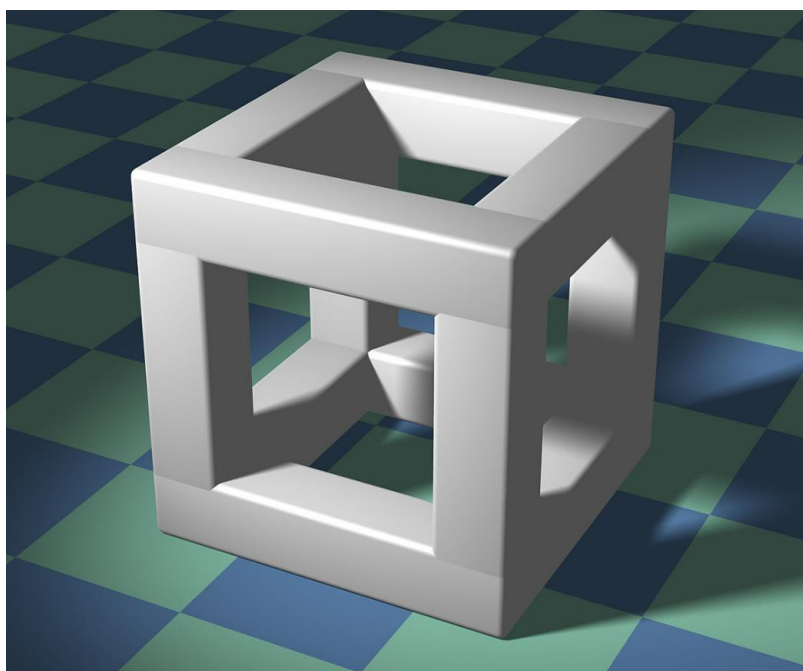
αντικειμένων είναι το πλέον κατάλληλο εργαλείο για τη μελέτη τους από ένα έμπειρο επιστήμονα.

3. Η δημιουργία ενός μιας εικονικής έκθεσης, ενός εικονικού μουσείου ή και μιας εικονικής περιήγησης μέσω του διαδικτύου, που θα περιέχει τα τρισδιάστατα μοντέλα αντικειμένων μεγάλης αρχαιολογικής και αρχιτεκτονικής αξίας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προϊόντα για την ανάδειξη της πολιτιστικής κληρονομιάς. Δίνεται η δυνατότητα σε ένα μεγάλο μέρος πολιτών να έρθουν σε επαφή και να γνωρίσουν τον πολιτιστικό πλούτο χωρίς να είναι υποχρεωμένοι να ταξιδεύσουν στο χώρο που φιλοξενούνται τα ίδια τα αντικείμενα (Νικόλαος Απ. Λιανός, Η χρήση της τρισδιάστατης ψηφιακής μεθοδολογίας, στη μελέτη, προστασία και ανάδειξη μνημείων και ιστορικών συνόλων).

### 5.3. Αναπαράσταση τρισδιάστατων επιφανειών

#### Χάρτης βάθους

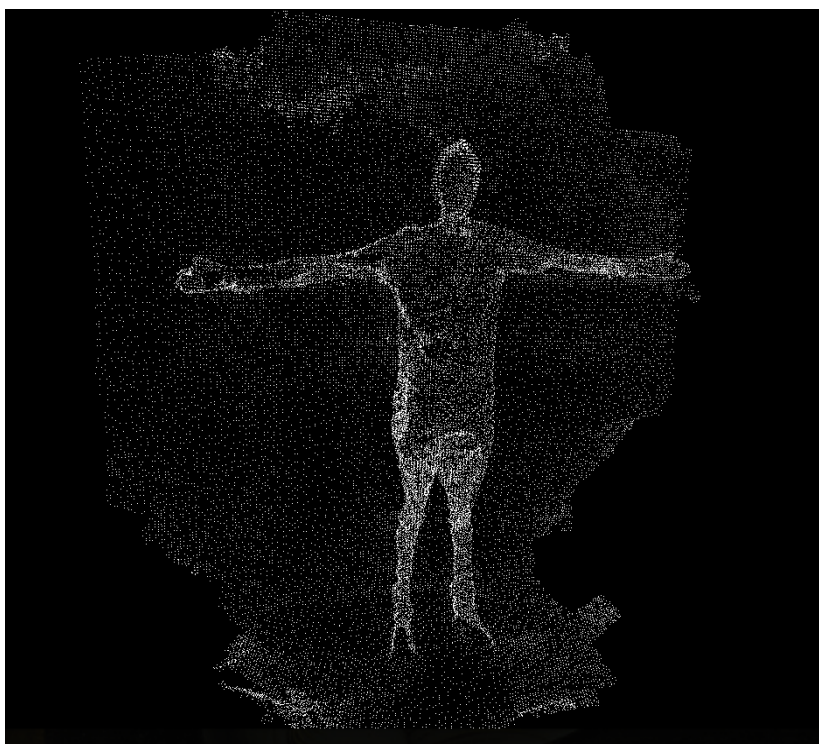
Ο απλούστερος τρόπος αναπαράστασης και αποθήκευσης τρισδιάστατων συντεταγμένων της επιφάνειας ενός αντικειμένου είναι με τη χρήση χαρτών βάθους (depth maps). Ο χάρτης βάθους είναι μια δισδιάστατη «εικόνα βεληνεκούς», όπου κάθε εικονοστοιχείο της παίρνει μια χρωματική τιμή από τις διαβαθμίσεις του γκρι, η οποία υποδηλώνει την απόσταση του σημείου από τον οπτικό αισθητήρα στον τρισδιάστατο χώρο. Δύο είναι οι πιο γνωστές μεθοδολογίες δημιουργίας χαρτών βάθους: με την εκπομπή σήματος (Radar) και με τριγωνισμό.



Εικόνα 5.1: Κυβική κατασκευή (en.wikipedia.org)

## Νέφος σημείων

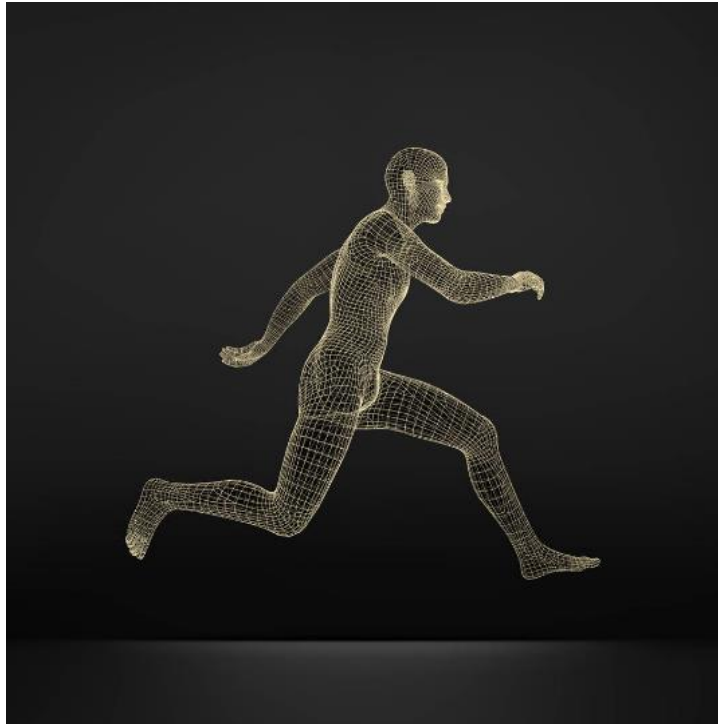
Ως νέφος σημείων ορίζεται ένα σύνολο σημείων που μοιράζονται το ίδιο τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Κάθε σημείο φέρει πληροφορία που το τοποθετεί σε μία συγκεκριμένη θέση μέσα στον τρισδιάστατο χώρο και αντιστοιχεί σε μια θέση πάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου που ψηφιοποιήθηκε. Η πληροφορία αυτή είναι τρεις διαφορετικές τιμές, μία για κάθε άξονα  $(x,y,z)$ , ενώ όταν η γεωμετρική πληροφορία συνοδεύεται από πληροφορία χρώματος συνολικά αποθηκεύονται έξι διαστάσεις.



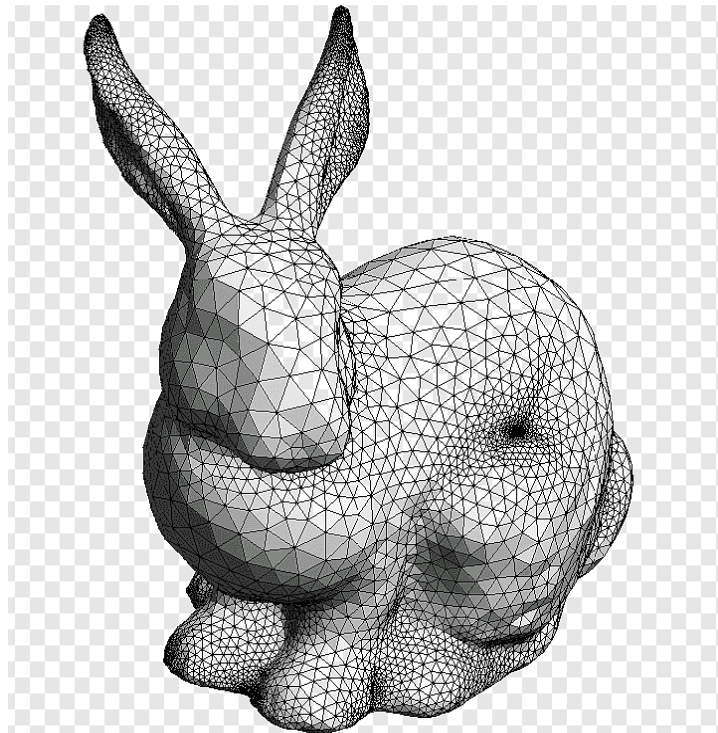
Εικόνα 5.2: Νέφος σημείων ([blenderartists.org](http://blenderartists.org))

## Πολυγωνικό – τριγωνικό πλέγμα

Η απόδοση μίας επιφάνειας από ένα πλήθος τριγώνων είναι μια πολύ διαδεδομένη τεχνική για τρισδιάστατες αναπαραστάσεις. Κάθε τρίγωνο ορίζεται από τρεις κορυφές στο χώρο που και αυτές φέρουν πληροφορία θέσης σε κάθε άξονα  $(x,y,z)$ . Από ένα νέφος σημείων ή ένα χάρτη βάθους δύναται να γίνει η εξαγωγή πολυγωνικού πλέγματος. Με το πολυγωνικό πλέγμα δημιουργείται μια εικόνα με τεχνητή φωτοσκίαση που απώτερο σκοπό έχει να τονίσει τις λεπτομέρειες της επιφάνειας. Το πολυγωνικό πλέγμα μπορεί να συνδεθεί με πληροφορία υφής χαρτογραφημένη πάνω σε κάθε τρίγωνο τις επιφάνειας. Το πεδίο που γίνεται η χαρτογράφηση ονομάζεται UV. Η πιο ρεαλιστική αναπαράσταση είναι αυτή που περιλαμβάνει και την πληροφορία υφής (χρώματος).



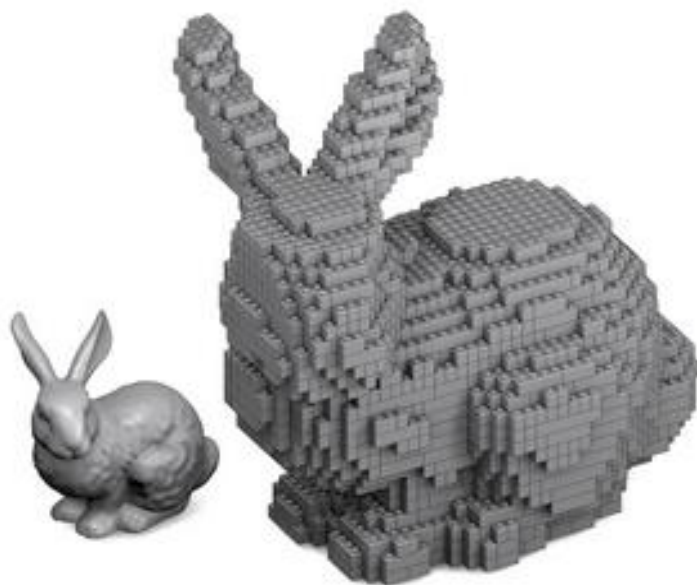
Εικόνα 5.3: Πολυγωνικό πλέγμα ([create.vista.com](http://create.vista.com))



Εικόνα 5.4: Τριγωνικό πλέγμα ([create.vista.com](http://create.vista.com))

### Ογκομετρικά εικονοστοιχεία

Πολλές φορές γίνονται αναφορές σε εικονοστοιχεία στον τρισδιάστατο χώρο. Ένα εικονοστοιχείο (pixel από Picture element), σύμφωνα με το βασικό ορισμό, αναπαριστά τις χρωματικές ιδιότητες ενός σημείου σε ένα δισδιάστατο χώρο. Στις τρεις διαστάσεις μπορούμε να πούμε πως ένα σημείο αναπαριστά πλέον, άλλοτε σημειακή ή στοιχειώδη επιφάνεια και άλλοτε σημειακό ή στοιχειώδη όγκο (εξ ου και ο διαχωρισμός τους ως στοιχεία επιφάνειας ή surfel από Surface Element και στοιχεία όγκου ή voxel από Volumetric pixel). Οι δύο αυτές οντότητες εμπεριέχουν και την πληροφορία της τρίτης διάστασης. Το voxel αναπαρίσταται ως ένας «στοιχειώδης» κύβος στον τρισδιάστατο χώρο, ενώ το surfel αναπαριστά ένα «στοιχειώδες» τμήμα από το φλοιό μιας επιφάνειας. Το surfel απαντάται πολύ σπάνια στο χώρο της τρισδιάστατης αποτύπωσης.

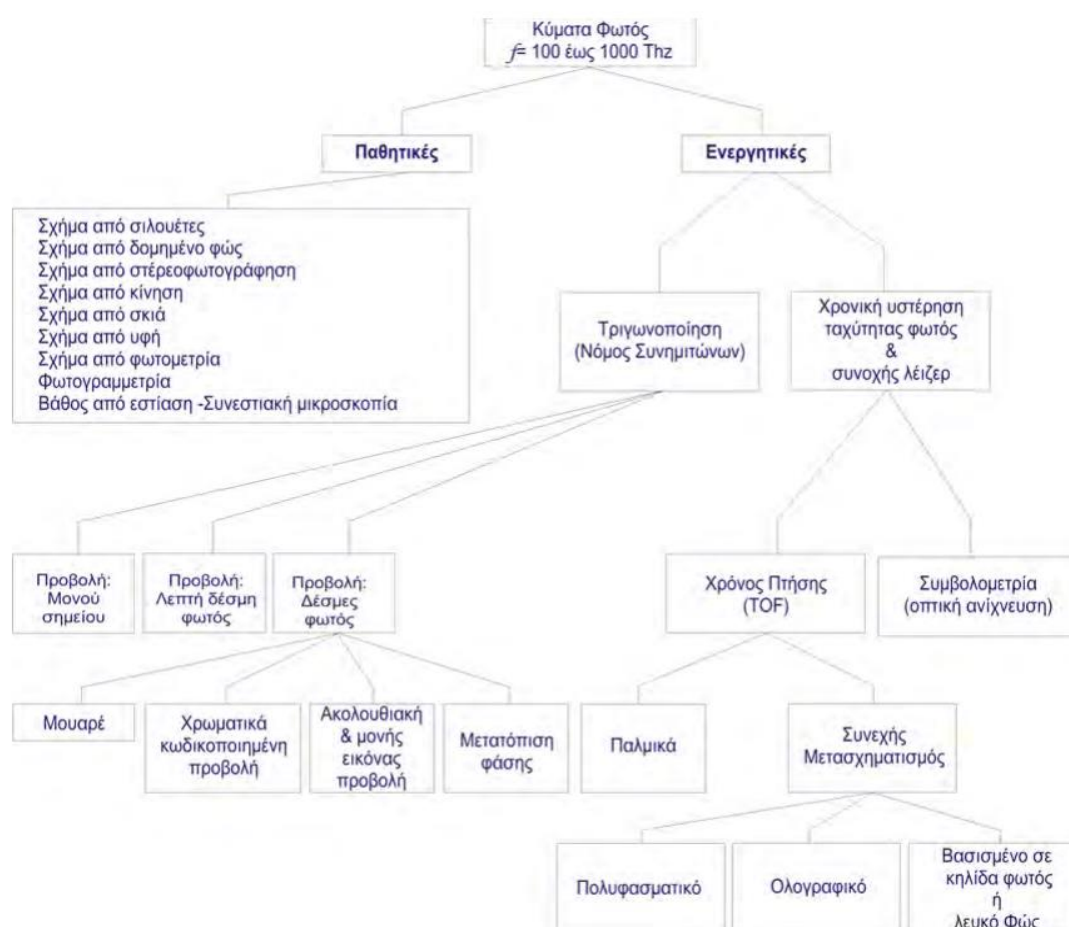


Εικόνα 5.5: Τριγωνικό πλέγμα (*create.vista.com*)

## 5.4. Μέθοδοι τρισδιάστατης σάρωσης

Το πλήθος των διαφορετικών μεθοδολογιών προδίδει το μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον για το συγκεκριμένο χώρο. Από την άλλη, η διαφορετική λύση που προσφέρει η κάθε μεθοδολογία δείχνει την πολυπλοκότητα του προβλήματος. Σημαντική είναι εδώ η συμβολή αλγορίθμων από το χώρο της τρισδιάστατης όρασης των υπολογιστών. Ο πρώτος και βασικότερος διαχωρισμός που μπορεί να γίνει στις μεθοδολογίες τρισδιάστατης σάρωσης είναι η διάκρισή τους σε:

- παθητικές μέθοδοι τρισδιάστατης σάρωσης: γίνεται συνήθως χρήση του περιβαλλοντικού φωτισμού και τα μοναδικά χαρακτηριστικά που αποτυπώνονται είναι αυτά που είναι εμφανή σε ψηφιακές εικόνες
- ενεργητικές μέθοδοι τρισδιάστατης σάρωσης: τα ενεργητικά συστήματα που βασίζονται σε ακτίνες λέιζερ κοντινών αποστάσεων αποτυπώνουν τις παραμορφώσεις που δέχεται η δέσμη φωτός καθώς ανακλάται πάνω σε επιφάνειες. Δημιουργούν ένα πυκνό χάρτη βάθους ή ένα νέφος σημείων από όλες τις εμφανείς επιφάνειες (Ερευνητικό Κέντρο Καινοτομίας στις Τεχνολογίες της Πληροφορικής των Επικοινωνιών και της Γνώσης, Γεώργιος Παυλίδης Βασίλειος Σεβελίδης Μαρία Χαραλαμπίδου, Μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης αντικειμένων και χώρων, 2014).



Σχήμα 5.1: Βασικός διαχωρισμός τεχνικών οπτικής τρισδιάστατης σάρωσης



## 5.5. Οι επίγειοι σαρωτές – laser scanners

Η λέξη Laser αναλύεται ως Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation και μεταφράζεται ως η Ενίσχυση Φωτός με Εξαναγκασμένη Εκπομπή Ακτινοβολίας. Οι επίγειοι τρισδιάστατοι σαρωτές χρησιμοποιούν lasers μήκους κύματος στο ορατό και υπέρυθρο τμήμα του φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το πλεονέκτημα της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι ότι είναι πιο ευαίσθητη και ακριβής από την ορατή ακτινοβολία. Για την αποτύπωση μιας επιφάνειας η στενή δέσμη του laser, που συνιστά το στιγμιαίο οπτικό πεδίο (Instant Field Of View - IFOV), πρέπει να μετακινηθεί κατά μήκος και πλάτος αυτής ώστε να καλύψει το οπτικό πεδίο (Field Of View - FOV). Ο σαρωτής αναλαμβάνει την εκτροπή της ακτίνας με συγκεκριμένο τρόπο (σχήμα σάρωσης) και υψηλή, ομοιόμορφη συνήθως, γωνιακή δειγματοληψία. Η ομοιόμορφη δειγματοληψία στο επίπεδο της εικόνας (image space) δεν εξασφαλίζει πάντα και ομοιόμορφη κατανομή σημείων στον τρισδιάστατο χώρο.

Το μέγεθος της κηλίδας του laser είναι ανάλογο του μήκους κύματος της ακτινοβολίας και εξαρτάται κυρίως από την απόκλιση της ακτίνας. Μικρότερο μήκος κύματος δημιουργεί μικρότερο μέγεθος κηλίδας αλλά μεγαλύτερη απόκλιση λόγω περίθλασης. Στις προδιαγραφές των σαρωτών το μέγεθος της κηλίδας δίνεται συνήθως στο μέσο του βάθους πεδίου και σύμφωνα με τους νόμους της οπτικής δεν είναι σταθερό για όλο το εύρος λειτουργίας. Το μεγάλο μέγεθος κηλίδας δεν επιτρέπει τον διαχωρισμό μικρών αντικειμένων και σάρωση με “ανάλυση” (απόσταση μεταξύ διαδοχικών σημείων) που είναι μικρότερη από τη διάμετρο της κηλίδας του laser στο αντικείμενο δεν έχει νόημα. Το ίδιο ισχύει για μεγάλη “ανάλυση” από μεγάλες αποστάσεις, αφού η κηλίδα μεγαλώνει ανάλογα με την απόσταση. Η απόσταση μεταξύ δύο σημείων (point density, sampling interval) εξαρτάται κυρίως από την ανάλυση του μηχανισμού σάρωσης. Έτσι, είναι συνάρτηση της επαναληπτικής συχνότητας του παλμού για τους σαρωτές παλμού ή της ταχύτητας μέτρησης για τους σαρωτές συνεχούς κύματος. Μερικοί σαρωτές επιτρέπουν τη ρύθμιση του γωνιακού βήματος μεταξύ δύο σημείων και άλλοι καθορίζουν γραμμικό βήμα, δηλαδή την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων στο αντικείμενο.

Τα σύγχρονα εμπορικά συστήματα επίγειων σαρωτών διακρίνονται ως προς το οπτικό τους πεδίο σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Σαρωτής – κάμερα (camera scanner): έχει περιορισμένο οπτικό πεδίο (FOV) και μεγάλο βεληνεκές.
- Υβριδικός σαρωτής (hybrid scanner): ένας εκ των αξόνων περιστροφής δεν έχει περιορισμό κίνησης (συνήθως στην οριζόντια κίνηση) ενώ ο δεύτερος άξονας περιστροφής έχει περιορισμό λόγω της χρήσης των κατόπτρων.
- Πανοραμικός σαρωτής (panorama scanner): το οπτικό πεδίο περιορίζεται μόνο από τη βάση στήριξης του οργάνου και βρίσκει ιδιαίτερη εφαρμογή σε εσωτερικές σαρώσεις.

Ανεξάρτητα του είδους του σαρωτή ο χρήστης επιλέγει την περιοχή σάρωσης μέσα στα όρια του επιτρεπτού οπτικού πεδίου και καθορίζει την πυκνότητα δειγματοληψίας. Παρ' ότι γενικά υπάρχει δυνατότητα επιλογής διαφορετικής ανάλυσης σε κάθε άξονα, αυτό μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο στάδιο της επεξεργασίας. Όταν η επιλεγόμενη περιοχή σάρωσης είναι πολυγωνική συνήθως χρησιμοποιούνται δύο σχήματα σάρωσης, κατά παράλληλες γραμμές ή σε σχήμα Z (Τσιούκας Β., Χρήση Νέων Τεχνολογιών στην 3Δ αποτύπωση μνημείων και χώρων, 2005).

Σάρωση ή Laser Scanning είναι η μέθοδος με την οποία προσδιορίζεται η θέση του απαιτούμενου αριθμού σημείων (νέφος σημείων) της επιφάνειας ενός αντικειμένου με ακρίβεια. Μετά τη σάρωση μιας περιοχής, καταγράφονται εσωτερικά οι γωνίες των

κατόπτρων και οι χρόνοι που μετρούνται, ενώ για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των ειδικών στόχων λαμβάνεται υπόψη η γεωμετρία της σάρωσης. Τα παραγόμενα αρχεία (νέφη σημείων, point clouds) περιέχουν τις σφαιρικές συντεταγμένες των σημείων που μετατρέπονται σε καρτεσιανές με αρχή των αξόνων τον σαρωτή. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα απεικόνισης του νέφους με διάφορους τρόπους, καθώς και με απεικόνιση ψευδούς χρώματος (από φωτογραφία του σαρωτή στη θέση του σαρωτή). Οι σύγχρονοι laser scanners μπορούν και μετρούν μέχρι 2.000.000 σημεία το δευτερόλεπτο με ακρίβειες που προσεγγίζουν τα 1-3 χιλιοστά.

Το λογισμικό της τρισδιάστατης σάρωσης περιλαμβάνει αρκετά προϊόντα λογισμικού με διάφορους τύπους. Με βάση τη διαδικασία από τη συλλογή των δεδομένων μέχρι το τελικό προϊόν μπορεί να επιτευχθεί η ακόλουθη διάκριση:

- Λογισμικό για τον έλεγχο του σαρωτή
- Λογισμικό για τη διαχείριση του νέφους σημείων (π.χ. συνένωση, γεωαναφορά, αναγνώριση ειδικών στόχων)
- Λογισμικό για να συμπεριληφθούν πολύπλοκα δεδομένα στο νέφος σημείων
- Λογισμικό για τη δημιουργία σύνθετων μοντέλων επιφάνειας (π.χ. TIN – πραγματική μορφολογία εδάφους, σχέδια αντικειμένων)
- Λογισμικό για τη χαρτογράφηση υψής και εικόνας
- Λογισμικό διαχείρισης δεδομένων και προβολής

Η χρήση του laser scanner για τη δημιουργία τρισδιάστατων αποτυπώσεων στις αρχιτεκτονικές εφαρμογές είναι συνεχώς αυξανόμενη λόγω της πληρότητας των στοιχείων που δίνει, της ελαχιστοποίησης του χρόνου συλλογής και επεξεργασίας των στοιχείων καθώς και των ανθρώπινων πόρων που απαιτούνται για την εφαρμογή. Μερικές από τις πιο δημοφιλείς εφαρμογές της μεθόδου είναι οι μελέτες αναστήλωσης, επέκτασης κτιρίων, ανακαινίσεις, as-built σχέδια<sup>8</sup>, τρισδιάστατη αποτύπωση μνημείων – κτιρίων αρχιτεκτονικής και πολιτιστικής κληρονομιάς, δημιουργία animation για τρισδιάστατες περιηγήσεις μέσω διαδικτύου κλπ

- Είναι γρηγορότερη από κάθε άλλη μέθοδο
- Ευκολότερη διαδικασία στο πεδίο, ενασχόληση μικρότερου αριθμού ανθρώπινου δυναμικού
- Πλήρης και πιστή αποτύπωση του πεδίου-υποδομής με αποτέλεσμα τη δημιουργία ψηφιακού υποβάθρου και την αποφυγή μιας νέας επίσκεψης στον υπό μελέτη χώρο
- Ασφαλής μέθοδος αποτύπωσης επικίνδυνων υποδομών (ετοιμόρροπα κτίρια κλπ)
- Ασύλληπτη ταχύτητα σάρωσης – αποφυγή καθυστερήσεων στο πεδίο και ανεπιθύμητων ενοχλήσεων κατά τη διάρκεια της εργασίας

---

<sup>8</sup> As build είναι τα σχέδια που αποτυπώνουν την πραγματική κατάσταση, χρησιμοποιώντας τα σχέδια της μελέτης και προσαρμόζοντας επάνω τις αλλαγές που έγιναν κατά την διάρκεια υλοποίησης του έργου.

## Κεφάλαιο 6ο. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΦΥΡΙΩΝ

### 6.1. Όργανο και μέθοδος αποτύπωσης

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, έχει επιλεγεί η μέθοδος της σάρωσης με χρήση του Laser Scanner. Συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιηθεί ο επίγειος σαρωτής Leica BLK360.



Εικόνα 6.1: Σαρωτής Leica BLK360

Ο σαρωτής Leica BLK360 είναι ένας προηγμένος σαρωτής laser απεικόνισης ακριβείας. Με το πάτημα ενός κουμπιού, οι χρήστες μπορούν να καταγράψουν μια πλήρη σάρωση με σφαιρικές εικόνες σε μόλις είκοσι δευτερόλεπτα. Η τεχνολογία Visual Inertial System (VIS) που διαθέτει, συνδυάζει αυτόματα τις σαρώσεις επί τόπου για να επιταχύνει τη ροή εργασίας.

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

Τέσσερις ρυθμίσεις σάρωσης καταγράφουν δεδομένα σε 7, 13, 30 ή 75 δευτερόλεπτα με 680.000 σημεία ανά δευτερόλεπτο

Πλούσιες εικόνες υψηλής δυναμικής εμβέλειας (HDR) με HDR 5 αγκυλών

Μικρό και ελαφρύ, με διαστάσεις 155x80mm και βάρος μόλις 850g με μπαταρίες

Πέντε φορές πιο γρήγορα από το BLK360 G1, με 20 δευτερόλεπτα για σάρωση πλήρους θόλου με φωτοσφαιρίδια.

Το Visual Inertial System (VIS) προκαταχωρίζει αυτόματα τις σαρώσεις στο πεδίο

Μεταφορά δεδομένων υψηλής ταχύτητας μέσω USB-C και Wi-Fi.

Τα παραγόμενα δεδομένα εικόνας και σημείων (cloud) μετατρέπονται σε δεδομένα για επεξεργασία στο Leica Cyclone REGISTER 360 ή το Cyclone REGISTER 360 (BLK Edition) μέσω

Wi-Fi, με πλήρη συγχρονισμό δεδομένων μεταξύ συσκευών. Με αυτοματοποιημένες ροές εργασίας μέσω των λογισμικών, το BLK360 εκσυγχρονίζει δραματικά τη διαδικασία αποτύπωσης της πραγματικότητας. Η απλή εξαγωγή αρχείων LGS, RCP ή E57 καθιστά την εργασία με δεδομένα cloud σημείου απλή και αποτελεσματική, επιτρέποντας στους χρήστες να αφιερώνουν λιγότερο χρόνο στην επεξεργασία δεδομένων και περισσότερο χρόνο δημιουργώντας ουσιαστικά παραδοτέα. Σίγουρα η επιλογή του οργάνου αυτού σε συνδυασμό με τα κατάλληλα λογισμικά, αποτελεί την καλύτερη συγκριτικά λύση σε αντίθεση με κλασικές μεθόδους αποτύπωσης, οι οποίες εκτός από χρονοβόρες για το συγκεκριμένο αντικείμενο, δεν δίνουν το απαιτούμενο μέγεθος της πληροφορίας έτσι ώστε να αποδοθεί σωστά το αντικείμενο μελέτης. Δεδομένου ότι πρόκειται για αποτύπωση παλιών πέτρινων γεφυριών, υπάρχει πλούσιο ανάγλυφο στις όψεις τους όπως και φθορές που ο μόνος τρόπος για να τεκμηριωθούν είναι η τρισδιάστατη σάρωση.

## 6.2. Γεφύρι Διποταμάτων – εργασίες πεδίου

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, το γεφύρι στα Διποτάματα προσεγγίζεται από ένα παλιό μονοπάτι.



Εικόνα 6.2: Μονοπάτι που οδηγεί στο γεφύρι Διποταμάτων

Οι μετρήσεις στο πεδίο ολοκληρώθηκαν σε μία επίσκεψη που έγινε στις 16.07.2022. Κατά την άφιξη στο γεφύρι διαπιστώθηκε η έντονη βλάστηση εκατέρωθεν του πέτρινου γεφυριού.



*Εικόνα 6.3: Αποψη του γεφυριού Διποταμάτων*

Επίσης, ενώ ο καιρός από τη θέση εκκίνησης ήταν σχετικά καλός, στο σημείο που βρίσκεται το γεφύρι υπήρχε έντονος αέρας με απότομες και δυνατές ριπές. Αυτό θα μπορούσε να δημιουργήσει πρόβλημα κατά την οριζοντίωση του σαρωτή.

Αρχικά, έγινε μία επιτόπια έρευνα για την επιλογή των καλύτερων θέσεων για στάση του σαρωτή. Τα κριτήρια για την επιλογή της στάσης κάθε φορά είναι να βρίσκεται ο σαρωτής σε απόσταση από το αντικείμενο σάρωσης όπου καλύπτεται από την εμβέλεια του σαρωτή χωρίς να είναι ιδιαίτερα κοντινή, να υπάρχει όσο το δυνατόν άμεση οπτική επαφή χωρίς ενδιάμεσα εμπόδια (π.χ. βλάστηση), να υπάρχει η δυνατότητα προσέγγισης του σημείου στάσης χωρίς επικινδυνότητα λόγω πτώσης και επίσης να επιτευχθεί η ελάχιστη απαιτούμενη επικάλυψη στην περιοχή σάρωσης του αντικειμένου ανάμεσα σε διαδοχικές στάσεις, έτσι ώστε να μπορούν να συνδεθούν τα παραγόμενα νέφη σημείων ικανοποιητικά μεταξύ τους.

Αφού επιλέχθηκε η πρώτη στάση, στήθηκε ο τρίποδας και οριζοντιώθηκε ο σαρωτής.



Εικόνα 6.4: Στάση εκατέρωθεν του γεφυριού

Συγκεκριμένα, για την ιδανικότερη απόδοση του γεφυριού, δεδομένων των συνθηκών και δυσκολιών της περιοχής, η σάρωση του γεφυριού έγινε σε δέκα στάσεις, από δύο και τρεις στάσεις εκατέρωθεν του γεφυριού, τρεις στάσεις επάνω στο κατάστρωμά του και δύο στάσεις κάτω από την καμάρα του γεφυριού εντός του ρέματος οι οποίες ήταν και η δυσκολότερες και λόγω εμποδίων (έντονης βλάστησης) και λόγω δυσκολίας στην προσέγγιση. Σημειώνεται ότι εξ' αρχής είχε επιλεγεί να μην χρησιμοποιηθούν σημάνσεις επί του γεφυριού σε κοινά σημεία των επικαλυπτόμενων περιοχών καθώς και δεν έγινε εξάρτηση της αποτύπωσης στο ΕΓΣΑ '87.

Γενικότερα, οι κανόνες που πρέπει να ακολουθούνται κατά την επιλογή των διαδοχικών στάσεων σάρωσης ενός αντικειμένου ή μιας περιοχής έχουν άμεση σχέση με την επικάλυψη των σαρώσεων. Δεν πρέπει να είναι πολύ μικρή η επικαλυπτόμενη επιφάνεια έτσι ώστε να υπάρχουν αρκετά σημεία ταύτισης. Επίσης, για να αποφεύγεται ο υπερβολικός όγκος δεδομένων στο τελικό παραγόμενο μοντέλο, δεν θα πρέπει η επικαλυπτόμενη περιοχή σάρωσης να είναι μεγάλη (π.χ. 70% - 80%).

Ο σαρωτής που χρησιμοποιήθηκε είναι πολύ εύκολος στη χρήση του στο πεδίο. Τα βήματα που χρειάζονται για να αρχίσει η σάρωση είναι τα εξής:

- Τοποθέτηση του τρίποδα στη θέση στάσης
- Τοποθέτηση του σαρωτή
- Οριζοντίωση του οργάνου
- Άνοιγμα για έναρξη της σάρωσης και απομάκρυνση από το σημείο.

Ο σαρωτής κατόπιν ξεκινάει τη σάρωση καλύπτοντας 360° οριζόντια γύρω από τη θέση του οργάνου και 270° κατακόρυφα. Κατά τη σάρωση με το συγκεκριμένο όργανο, γίνονται και λήψεις φωτογραφιών. Παρόλα αυτά, ελήφθησαν πρόσθετες φωτογραφίες της περιοχής και της διαδικασίας που ακολουθήθηκε, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 6.5: Στάση εκατέρωθεν του γεφυριού



Εικόνα 6.6: Στάση κάτω από το γεφύρι





*Εικόνα 6.7: Στάση στο κέντρο του καταστρώματος*

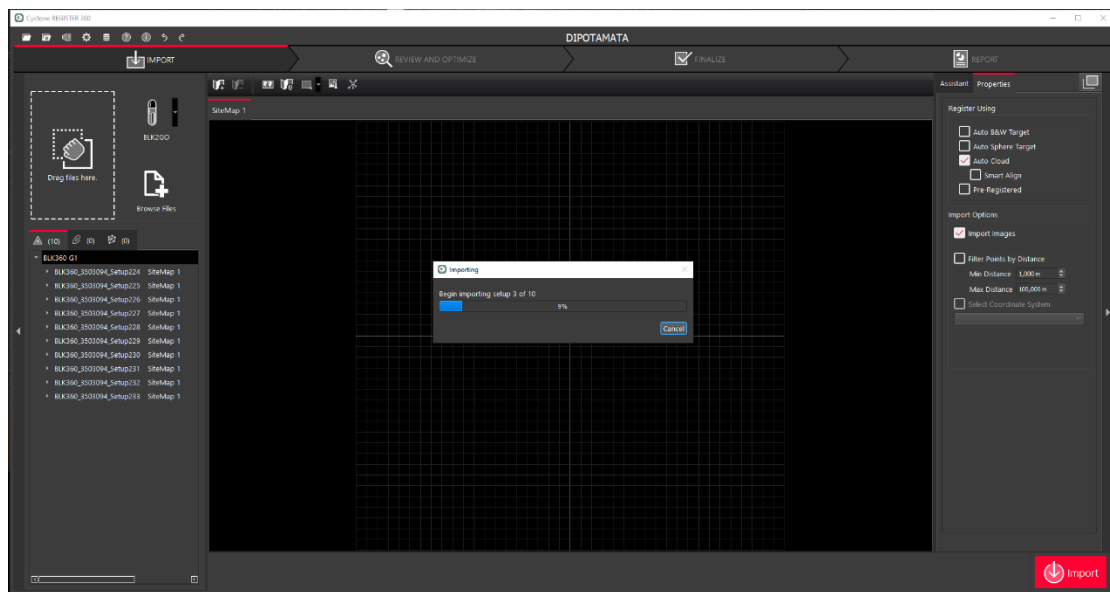
### 6.3. Επεξεργασία δεδομένων

Μετά τις εργασίες στο πεδίο ακολουθεί η διαδικασία όπου γίνεται επεξεργασία των δεδομένων της σαρώσεων, έτσι ώστε να καταλήξουμε στο τρισδιάστατο μοντέλο του γεφυριού. Τα αρχεία του συγκεκριμένου σαρωτή είναι της μορφής .blk και συγκεκριμένα είναι δέκα στον αριθμό για την περίπτωση των Διποταμάτων, όσες και οι στάσεις που πραγματοποιήθηκαν.

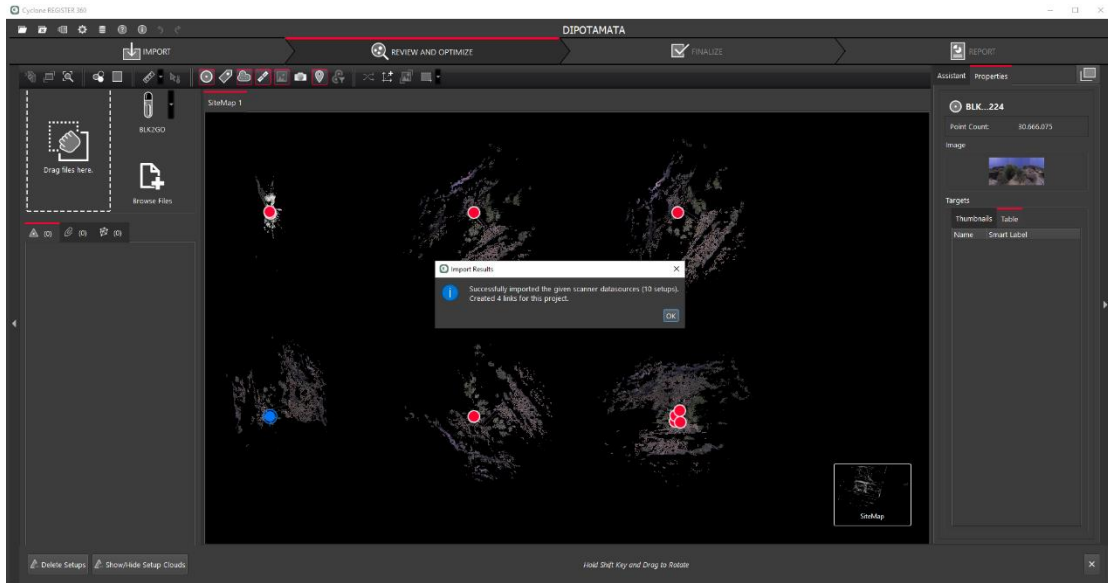
Καταρχήν, δημιουργείται μία βάση δεδομένων (database) για το κάθε γεφύρι, όπου εισάγουμε τα αρχεία. Με τη βοήθεια του Cyclone, μπορούμε να ανοίξουμε το κάθε αρχείο (δεξί κλικ -> open trusspace). Από τα εργαλεία του λογισμικού, επιλέγουμε την χρωματική παλέτα που θέλουμε να εμφανίζονται τα νέφη σημείων του κάθε αρχείου, στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούμε τα χρώματα της σάρωσης (tools -> use color from scanner).

Στη συνέχεια, αφού ανοίξουμε το λογισμικό Cyclone Register 360 και ονομάσουμε το project, εισάγουμε τα δέκα αρχεία.

Παρακάτω παρουσιάζονται στιγμιότυπα με όλα τα βήματα που αναφέρονται παραπάνω:

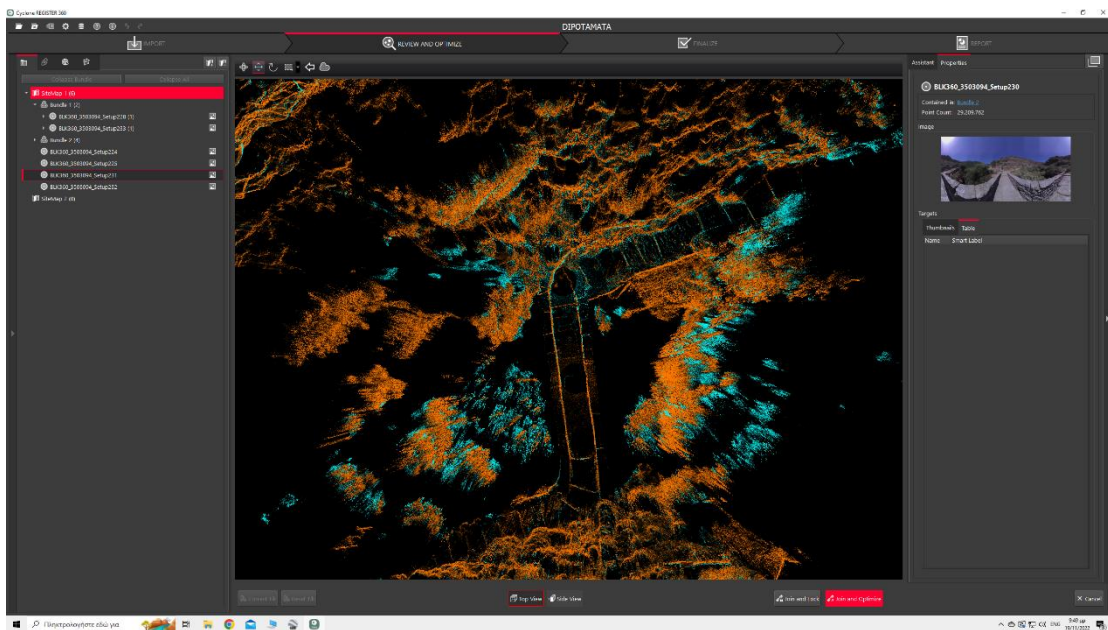


Εικόνα 6.8: Εισαγωγή αρχείων στο Cyclone Register 360

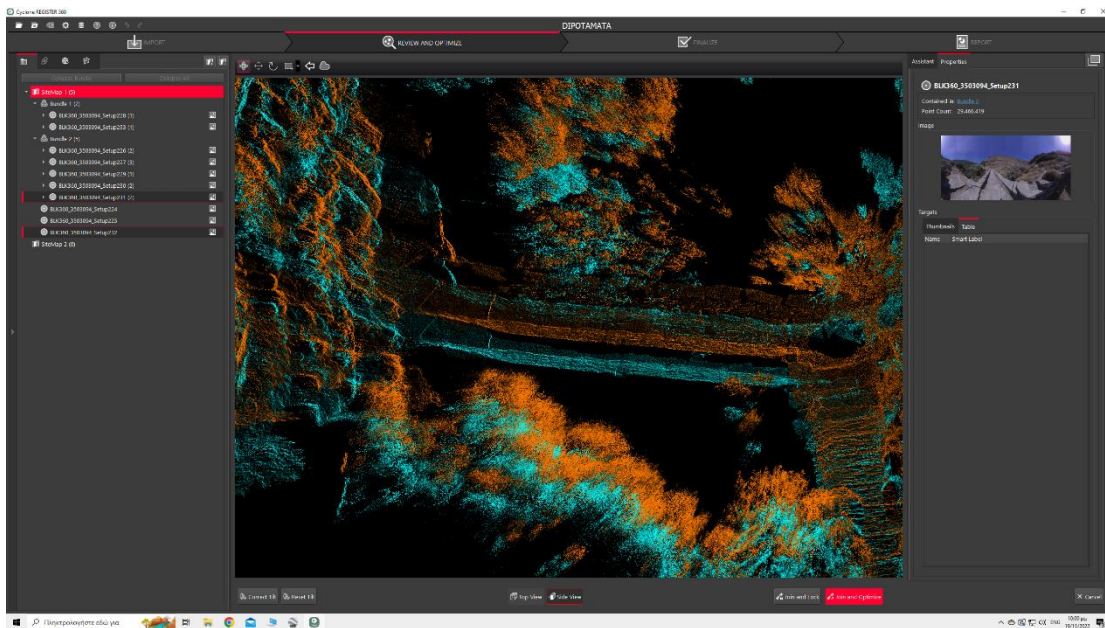


Εικόνα 6.9: Αρχική απεικόνιση των νεφών σημείων της κάθε σάρωσης

Στη συνέχεια και αφού ταξινομηθούν τα νέφη, έτσι ώστε να είναι διαδοχικά και να έχουν επικαλυπτόμενες περιοχές, ανά δύο νέφη σημείων γίνεται η ένωση με βάση τα ομόλογα σημεία στις επικαλυπτόμενες περιοχές του κάθε νέφους.

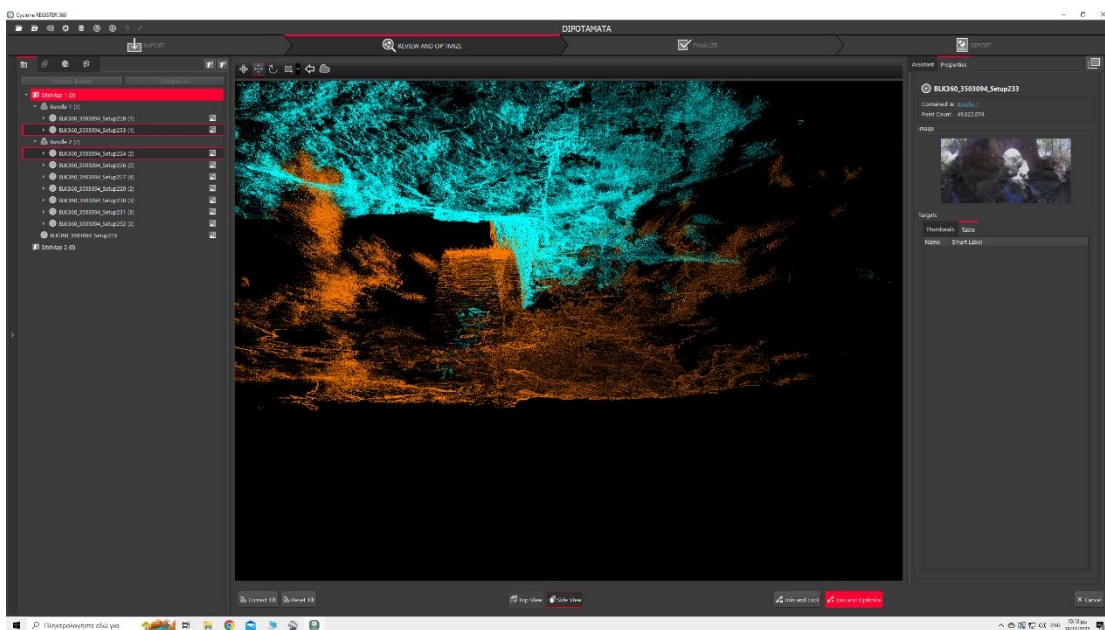


Εικόνα 6.10: Δύο νέφη σημείων με διαφορετικά χρώματα προς ταύτιση

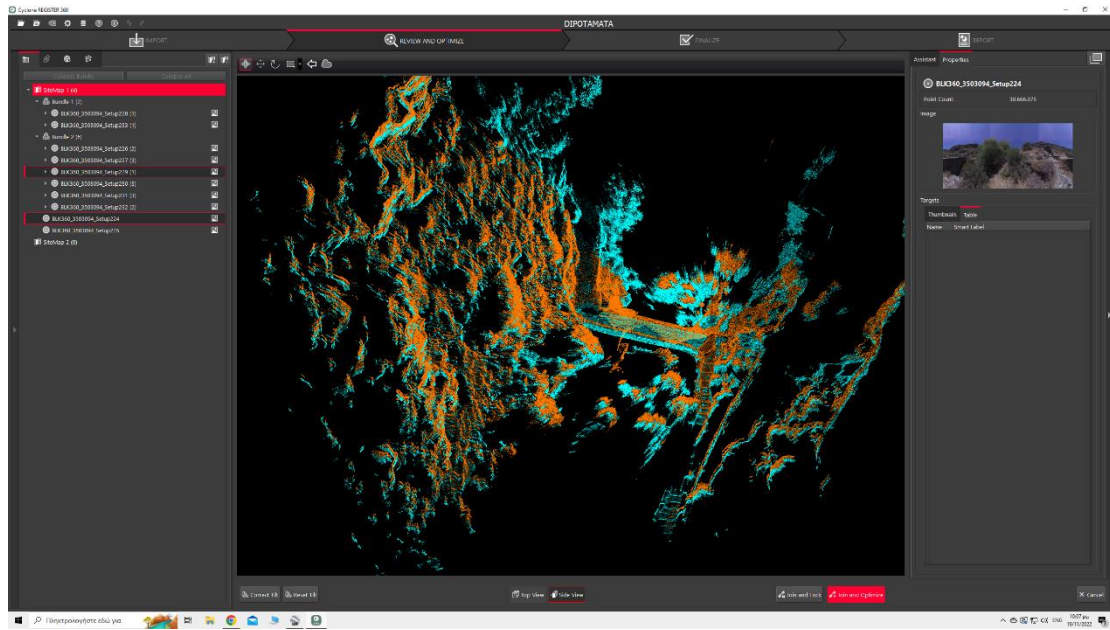


Εικόνα 6.11: Δύο νέφη σημείων υπό επεξεργασία

Πολύ σημαντικό είναι να γίνεται η ταύτιση των νεφών οριζόντια και κατακόρυφα (visual alignment -> top view / side view)

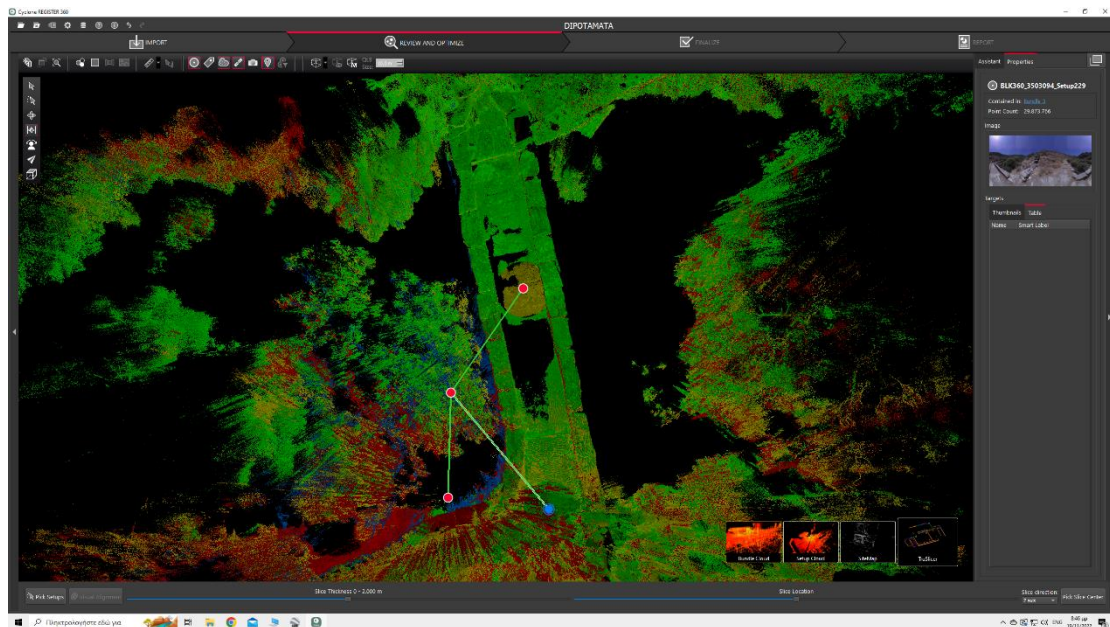


Εικόνα 6.12: Δύο νέφη σημείων υπό κατακόρυφη επεξεργασία



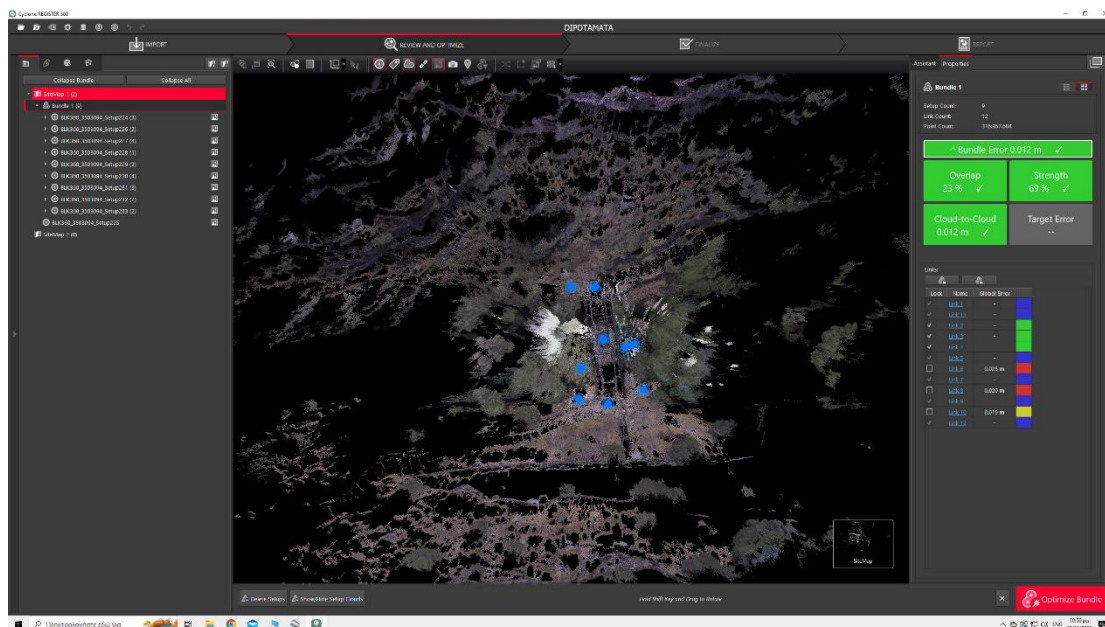
Εικόνα 6.13: Δύο νέφη σημείων υπό οριζόντια επεξεργασία

Κατά την προσπάθεια ταύτισης και σύνδεσης των νεφών, πολλές φορές απαιτείται η στροφή νέφους. Αυτή η διαδικασία, ενδεχόμενης στροφής, μετακίνησης σε οριζόντιο επίπεδο και μετακίνησης κατακόρυφα μέχρι τη δημιουργία σύνδεσης (link), επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειαστεί.



Εικόνα 6.14: Συνδέσεις (links) τεσσάρων νεφών σημείων

Κάθε φορά που δημιουργείται μία επιτυχής σύνδεση μεταξύ δύο νεφών, μπορούμε να ενσωματώνουμε και το επόμενο διαδοχικό νέφος. Η επιτυχής σύνδεση ανάμεσα στα νέφη είναι αυτή με το μεγαλύτερο ποσοστό ταύτισης και το μικρότερο σφάλμα όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

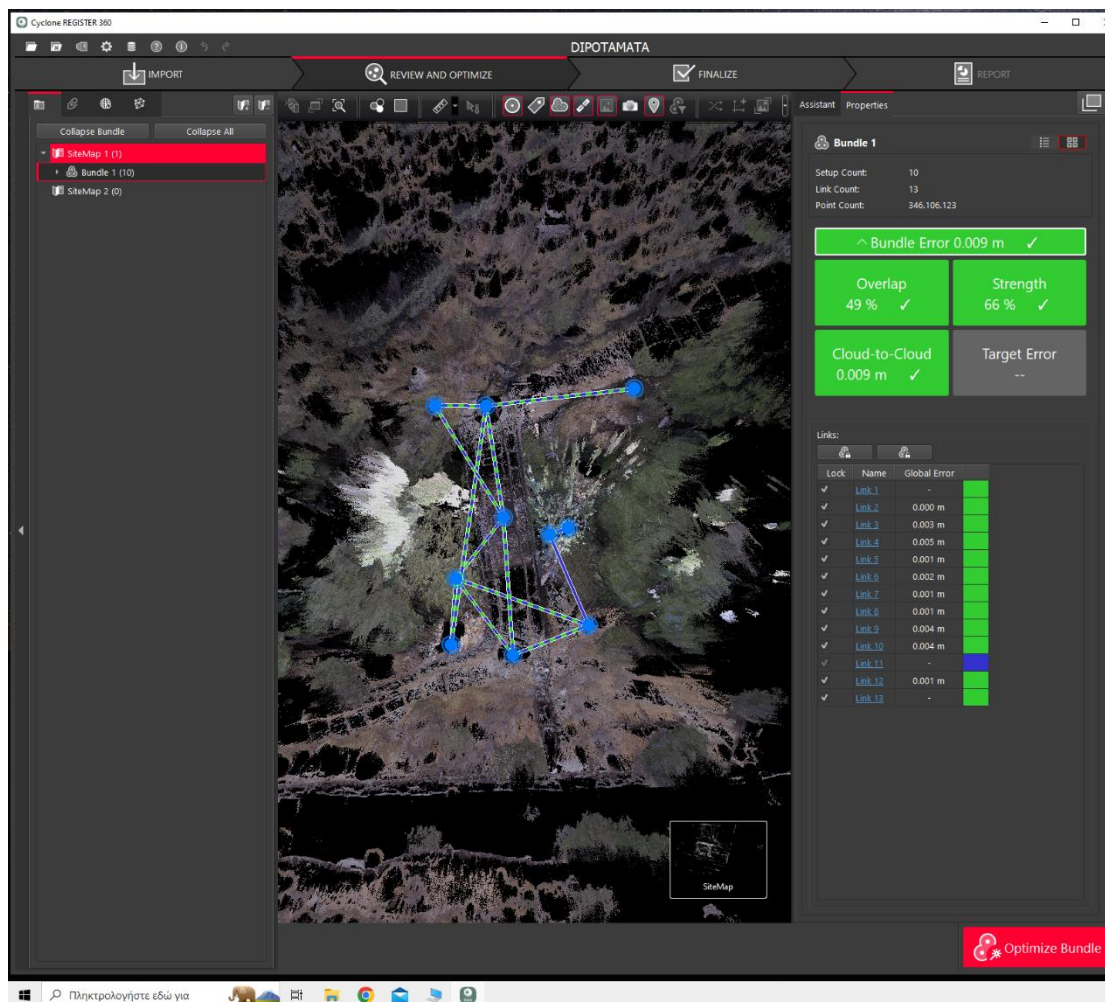


Εικόνα 6.15: Διάταξη των στάσεων του σαρπητή



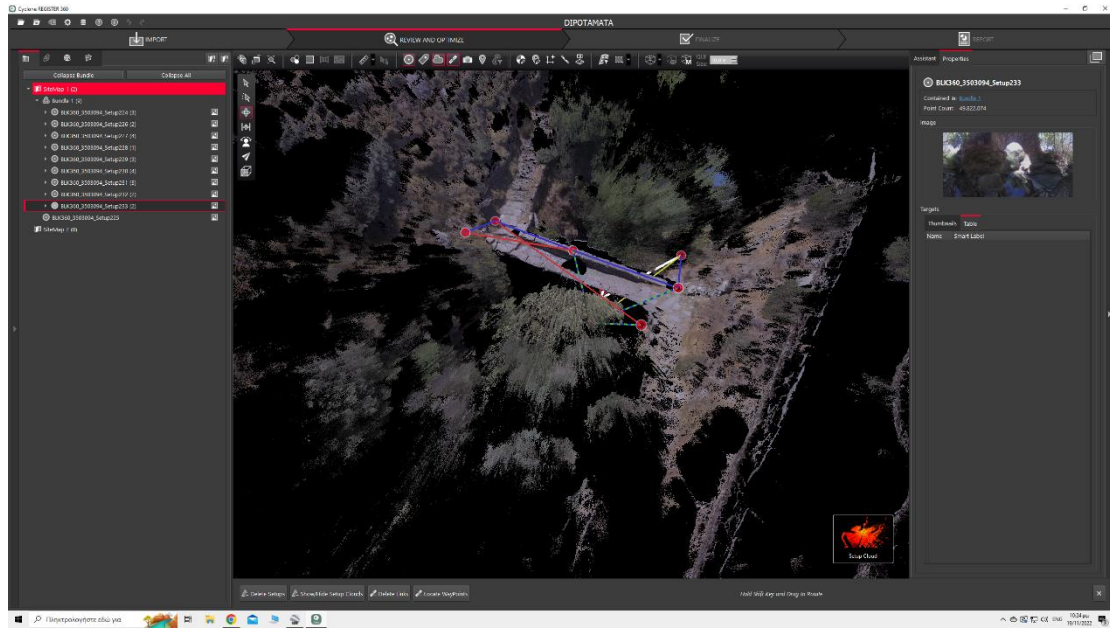
Εικόνα 6.16: Διάταξη των στάσεων του σαρπητή

Για την καλύτερη απόδοση του τρισδιάστατου μοντέλου χρειάζεται να γίνουν πολλές δοκιμές σύνδεσης ανάμεσα στα νέφη με επαναλαμβανόμενες διαδικασίες. Έτσι φτάνουμε στο τελικό αποτέλεσμα.

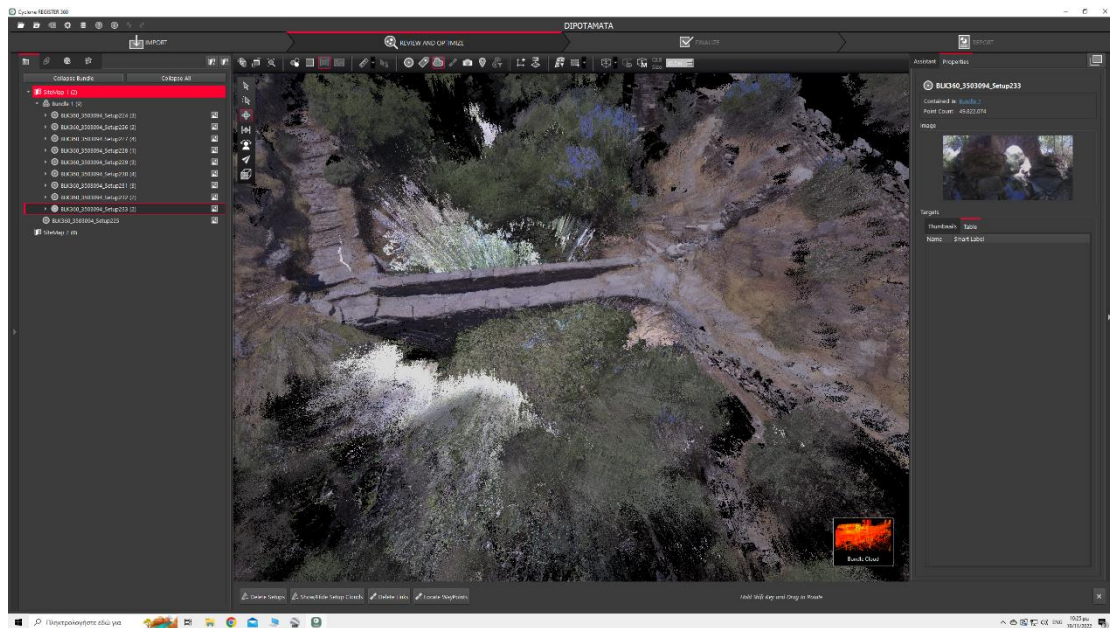


Εικόνα 6.17: Τελική διαμόρφωση των συνδέσεων του μοντέλου

Στο παραπάνω στιγμιότυπο φαίνεται η πλειοψηφία των συνδέσεων με πράσινο χρώμα, που σημαίνει μικρό σφάλμα και αποδεκτή ταύτιση των νεφών.



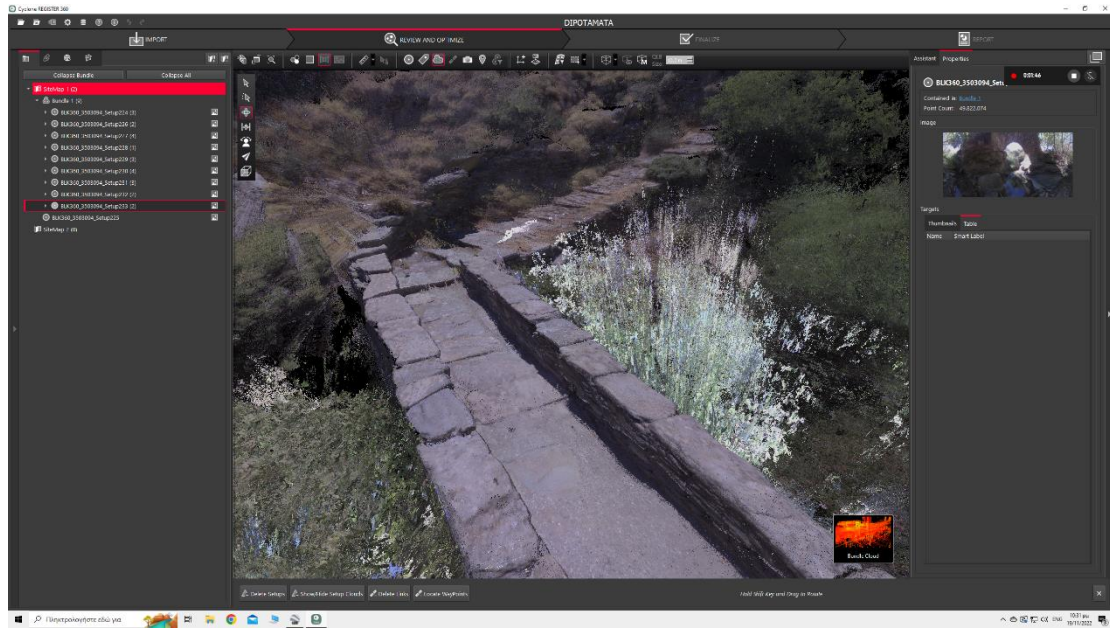
Εικόνα 6.18: Άποψη τελικού μοντέλου με εμφανείς τις συνδέσεις ανάμεσα στα νέφη



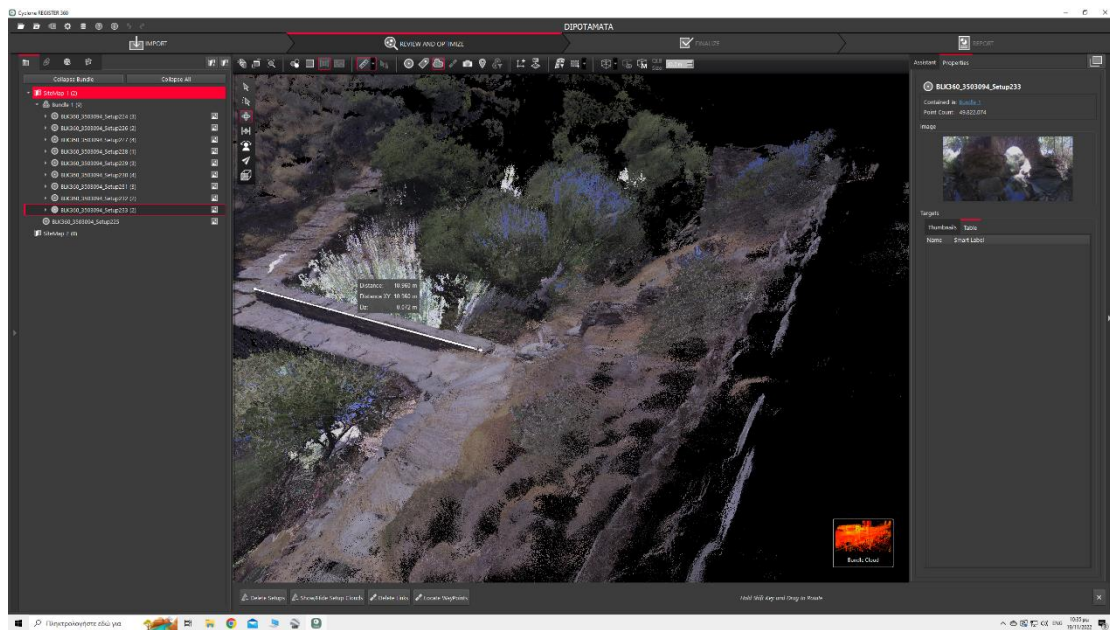
Εικόνα 6.19: Άποψη τελικού μοντέλου

Πολλά ευδιάκριτα φυσικά χαρακτηριστικά σημεία όπως οι αρμοί ανάμεσα στις πέτρες και οι ακμές του γεφυριού χρησιμοποιήθηκαν ως ομόλογα σημεία για τη σύνδεση των νεφών. Τα καλύτερα σημεία ταύτισης είναι σημεία μη συνευθειακά, μη συνεπίπεδα και μη κοντινά που θα φέρουν το καλύτερο αποτέλεσμα.





Εικόνα 6.20: Άποψη τελικού μοντέλου

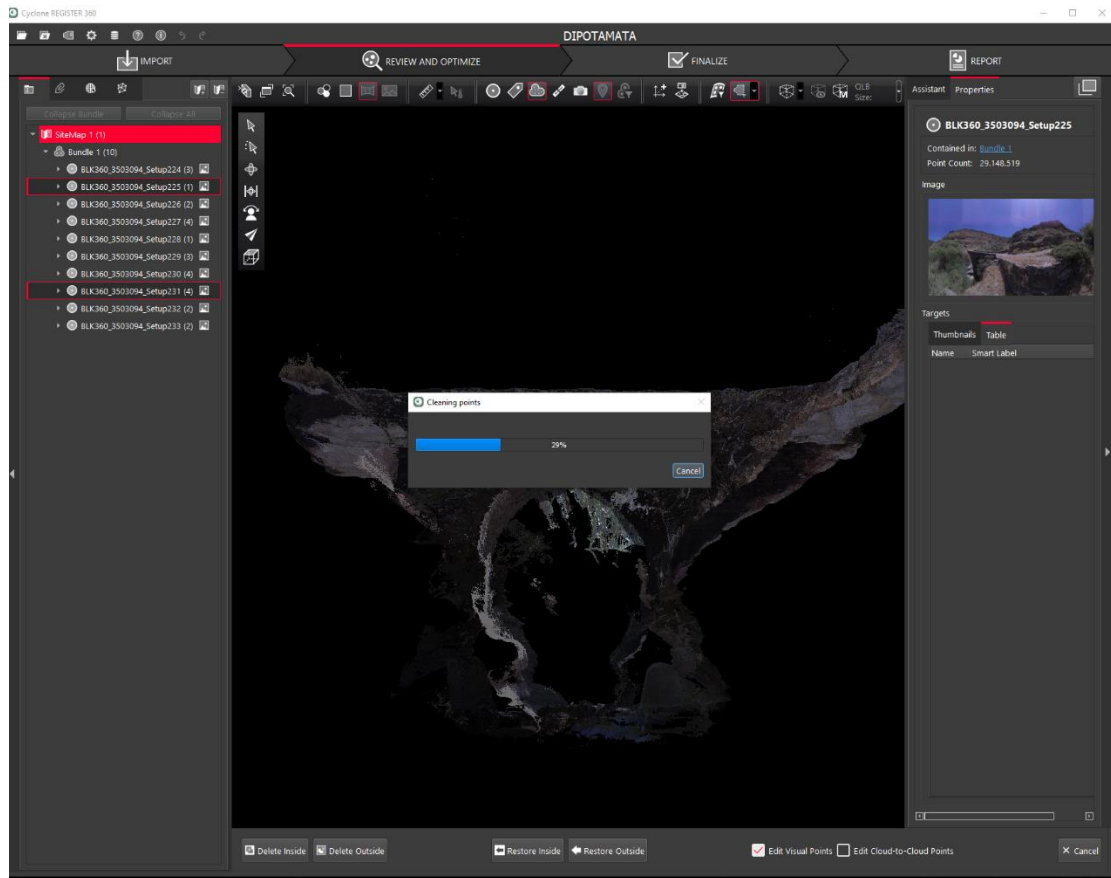


Εικόνα 6.21: Άποψη τελικού μοντέλου

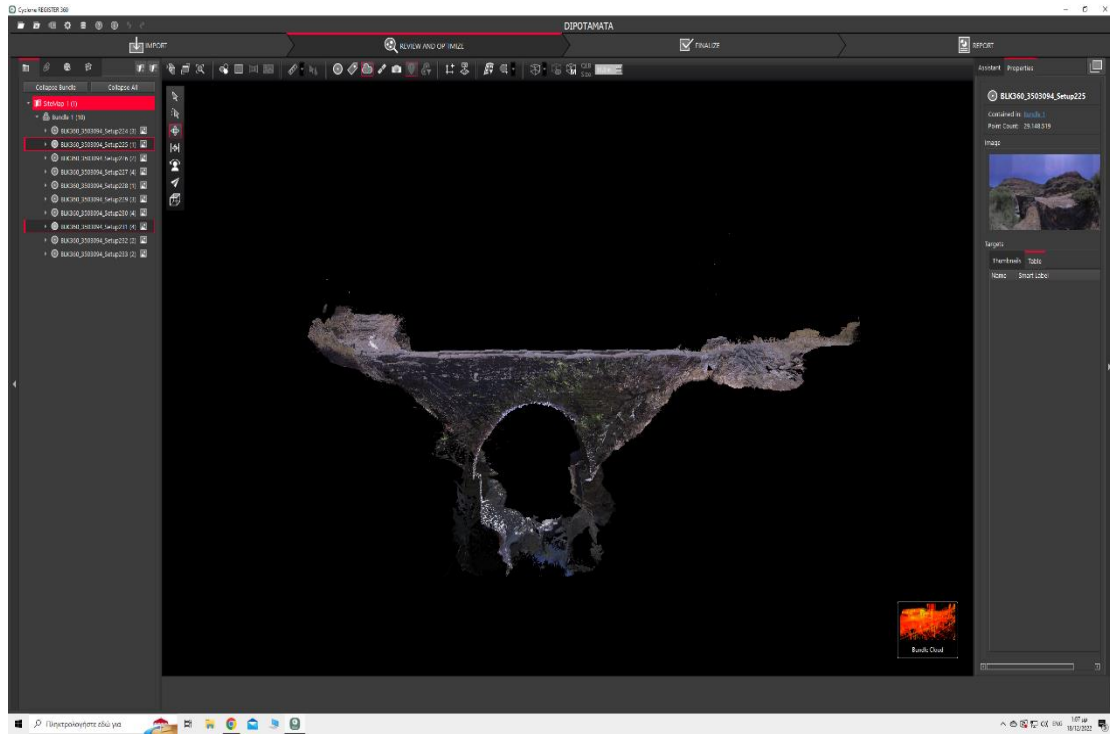
Πολύ σημαντική είναι η μετρητική πληροφορία που εμπεριέχεται στο τελικό τρισδιάστατο μοντέλο. Τα πάντα μπορούν να μετρηθούν.

Αφού φτάσουμε σε ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα όσον αφορά στην ταύτιση όλων των νεφών, τη σύνδεσή τους και τη δημιουργία ενός ενιαίου μοντέλου, μπορούμε να το καθαρίσουμε από σημεία γύρω του που δε μας ενδιαφέρουν και “βαραίνουν” το αποτέλεσμα. Στην προκειμένη περίπτωση, έχουμε πολλά περιττά σημεία γύρω από το γεφύρι λόγω βλάστησης. Επίσης, μπορούμε να αφαιρέσουμε σε δεύτερη φάση, μεγάλο μέρος από

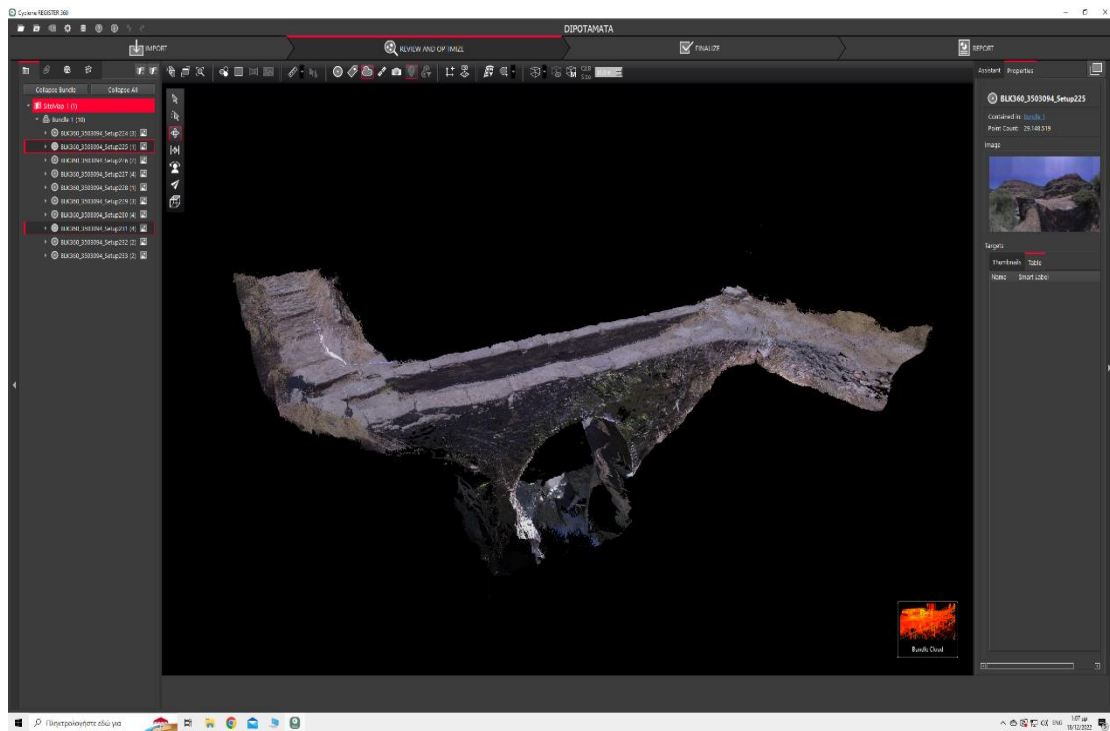
τον περιβάλλοντα χώρο που έχει σαρωθεί αλλά δεν μας ενδιαφέρει στη συγκεκριμένη περίπτωση. Σκοπός μας είναι το καθαρότερο και απαλλαγμένο από “θόρυβο” τελικό τρισδιάστατο μοντέλο, για την ευκολότερη απεικόνιση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του γεφυριού. Αυτό μπορούμε να το καταφέρουμε, φτιάχνοντας πολύγωνα και περικλείοντας μέσα σημεία περιττά που θέλουμε να αφαιρέσουμε. Κάνοντας αυτή την διαδικασία αρκετές φορές έτσι ώστε να αφαιρέσουμε με όσο γίνεται μεγαλύτερη ακρίβεια, σημεία που δεν μας ενδιαφέρουν, χωρίς να χάσουμε τα σημεία του αντικειμένου, καταλήγουμε στο τελικό τρισδιάστατο μοντέλο.



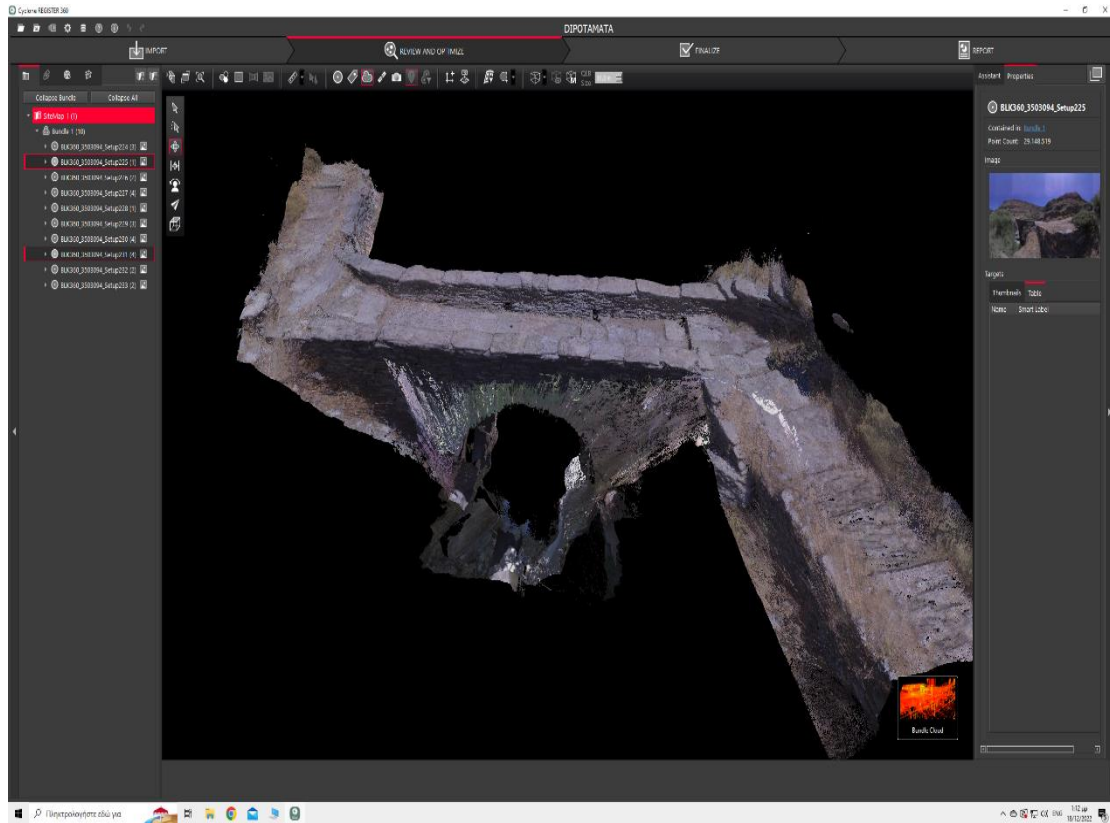
Εικόνα 6.22: Καθαρισμός περιττών σημείων



Εικόνα 6.23: Τελική όψη γεφυριού

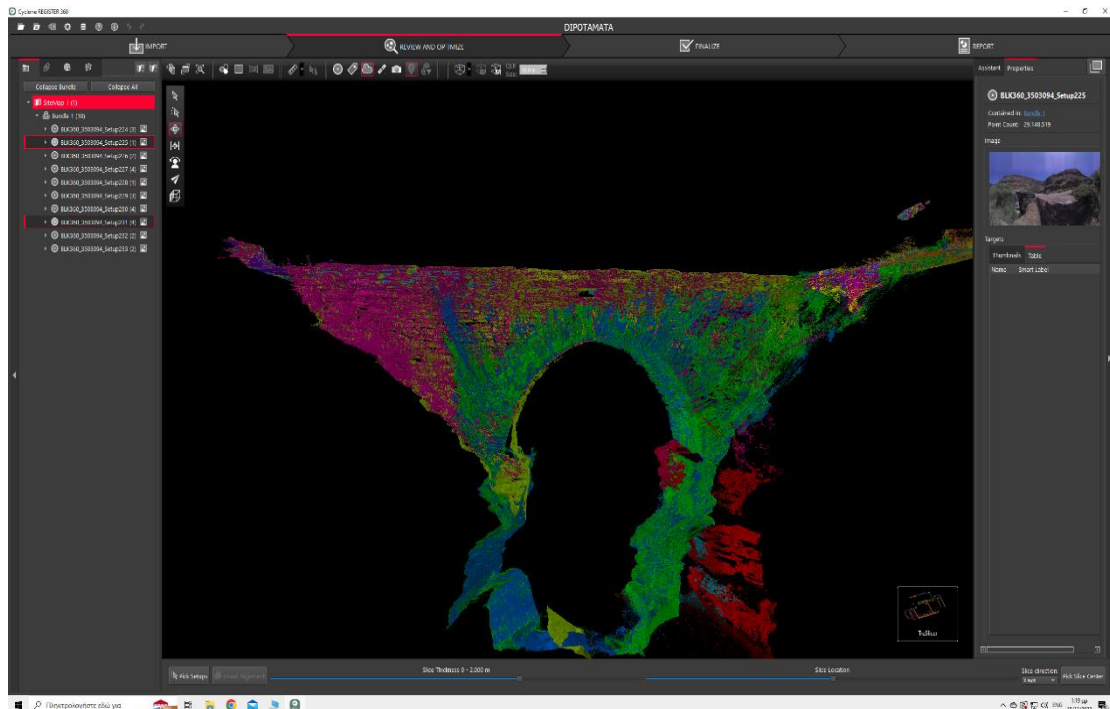


Εικόνα 6.24: Αποψη γεφυριού

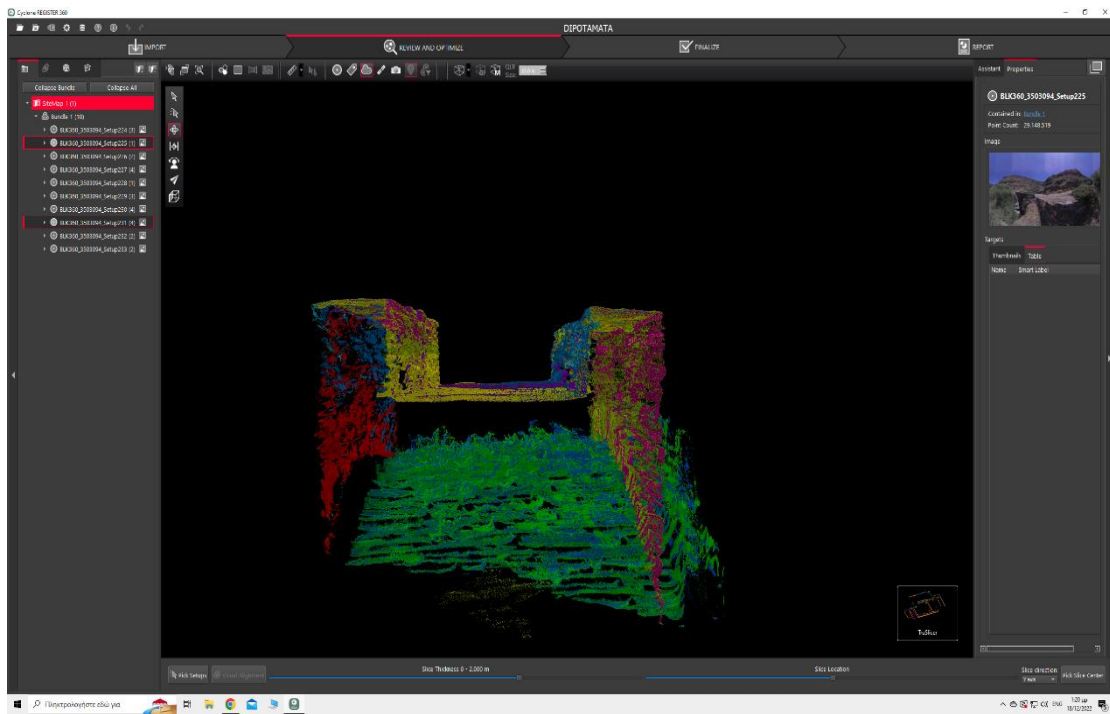


Εικόνα 6.25: Άποψη γεφυριού

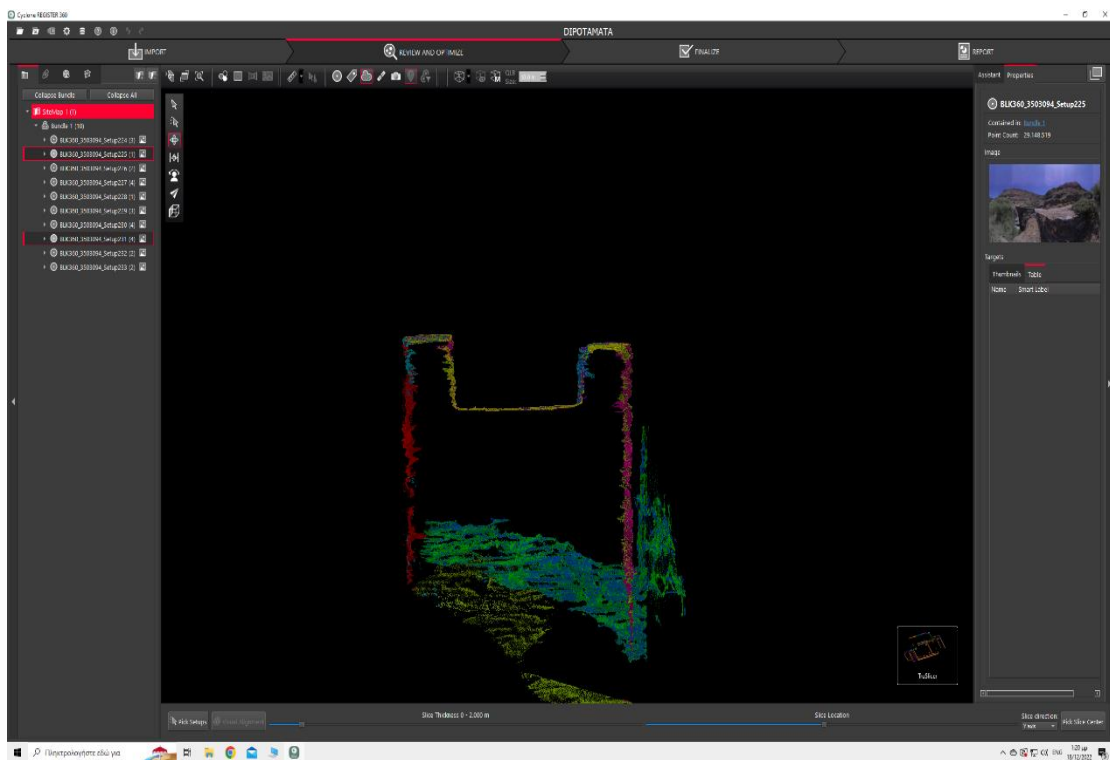
Με την παρακάτω διαδικασία (truslicer - > slice thickness / slice location / slice direction) υπάρχει η δυνατότητα να τροποποιήσω το μοντέλο μου σε πιο αφαιρετικό και να κάνω τομές με σκοπό την καλύτερη απόδοση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και την σχεδίαση κατόψεων και τομών.



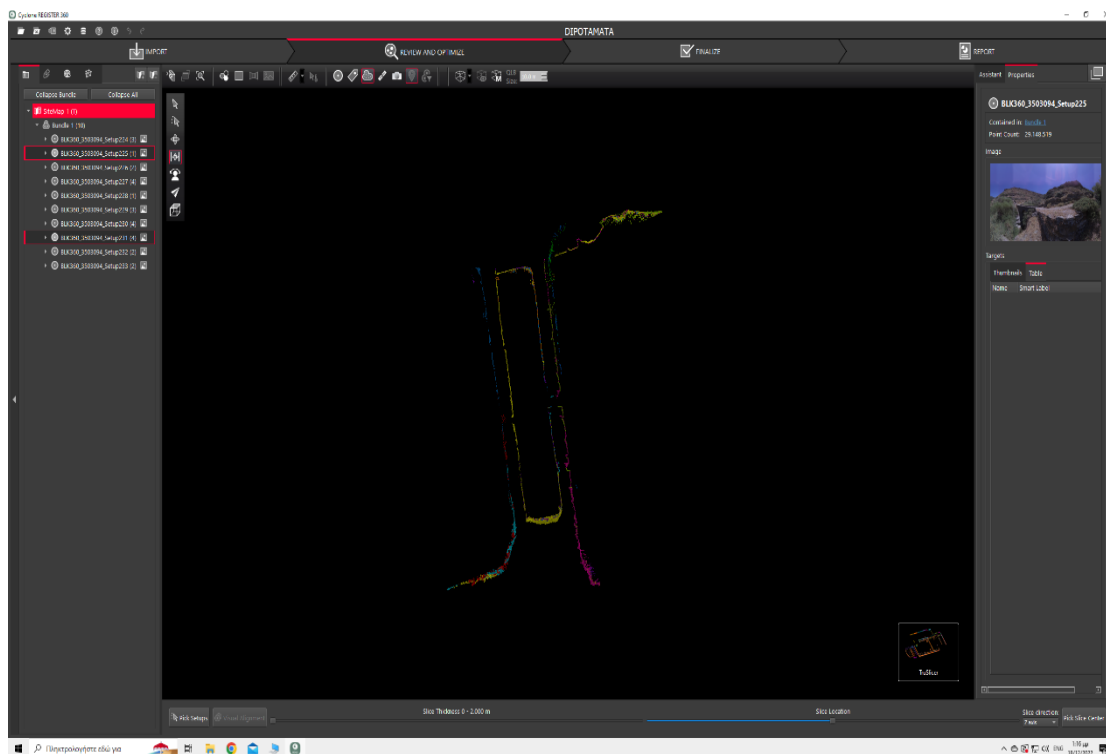
Εικόνα 6.26: Άποψη γεφυριού (truslicer)



Εικόνα 6.27: Εγκάρσια τομή γεφυριού (truslicer)



Εικόνα 6.28: Εγκάρσια τομή γεφυριού (truslicer)



Εικόνα 6.29: Οριζόντια τομή γεφυριού (trussicer)

Τέλος, οριστικοποιούμε το τελικό μοντέλο, εξάγοντας την αναφορά του σε αρχείο .pdf και το αρχείο .rct το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στο λογισμικό Autocad για την σχεδίαση κάτοψης και τομής.

#### 6.4. Γεφύρι Στοιχειωμένης – εργασίες πεδίου

Οι σαρώσεις για την τρισδιάστατη αποτύπωση του γεφυριού της Στοιχειωμένης στο πεδίο έγιναν στις 16.07.2022. Η περιοχή όπου βρίσκεται το γεφύρι είναι αρκετά δύσβατη, για την προσέγγιση στο σημείο. Η προσέγγιση έγινε από μη αμαξητό κλιμακωτό μονοπάτι μεγάλης κλίσης.



*Εικόνα 6.30: Κλιμακωτό μονοπάτι που οδηγεί στο γεφύρι Στοιχειωμένης*

Κατά την προσέγγιση στο σημείο του γεφυριού, εμφανές ήταν το πρώτο πρόβλημα που θα αντιμετωπίζαμε κατά την σάρωση και αυτό ήταν η πολύ πυκνή και μεγάλου ύψους βλάστηση εκατέρωθεν του γεφυριού. Ο καιρός ήταν αρκετά καλός χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα. Κατόπιν, έγινε η επιλογή των θέσεων σάρωσης, η οποίες ήταν συνολικά οκτώ στάσεις, από δύο στάσεις εκατέρωθεν του γεφυριού, τρεις στάσεις εντός του καταστρώματος και μία στάση μετά δυσκολίας κάτω από το γεφύρι, εντός του ρέματος.



Εικόνα 6.31: Το γεφύρι Στοιχειωμένης



Και αυτή η περίπτωση αποτύπωσης δεν εντάχθηκε στο ΕΓΣΑ '87. Επίσης δεν τοποθετήθηκαν ειδικοί στόχοι στα ομόλογα σημεία. Τοποθετήθηκε ο σαρωτής στην πρώτη θέση σάρωσης και διαδοχικά στις υπόλοιπες θέσεις.



*Εικόνα 6.32: Πρώτη θέση σάρωσης*

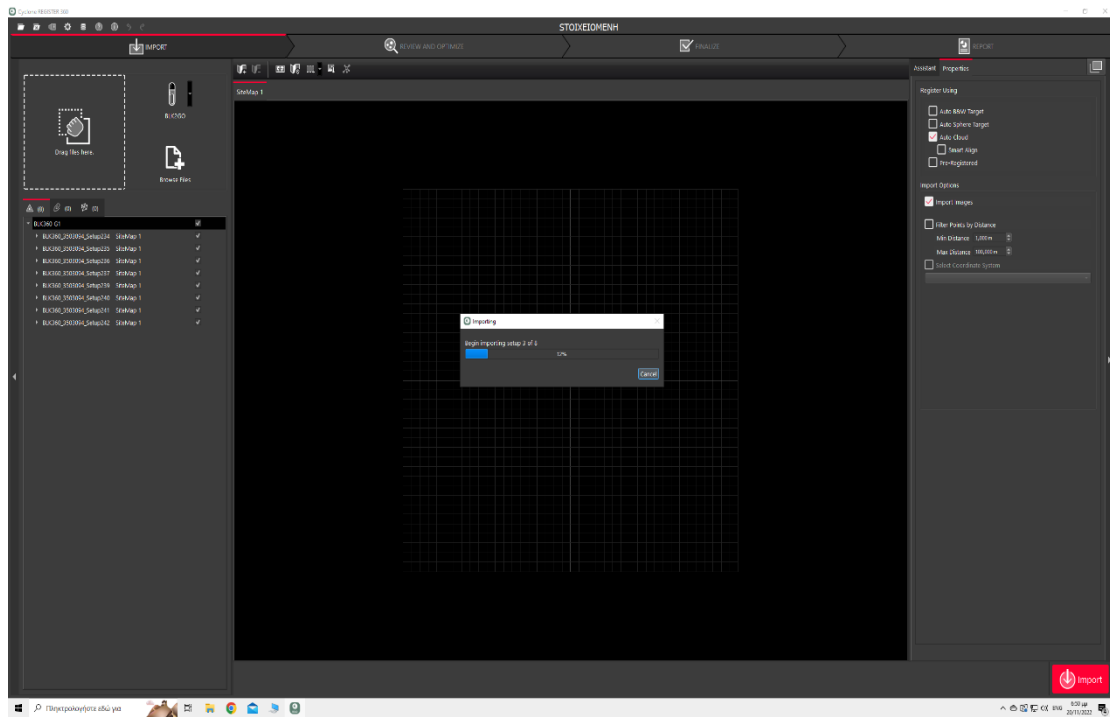


*Εικόνα 6.33: Θέση σάρωσης*

## 6.5. Επεξεργασία δεδομένων

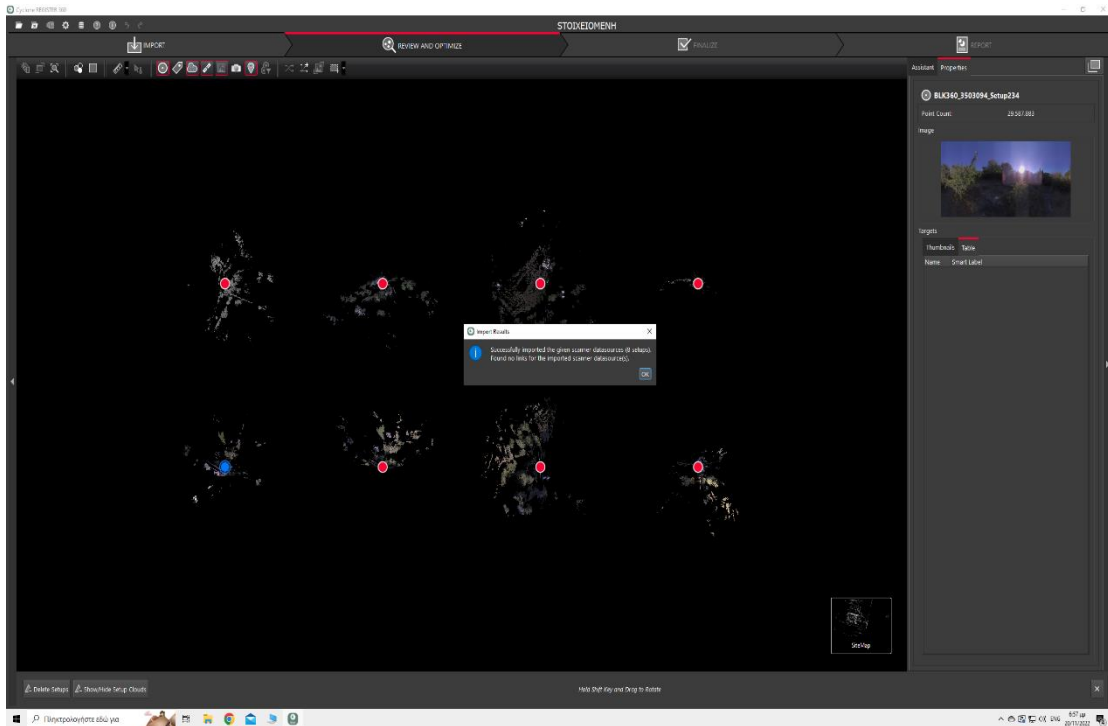
Μετά τις εργασίες στο πεδίο ακολουθεί η διαδικασία όπου γίνεται επεξεργασία των δεδομένων της σάρωσης, έτσι ώστε να καταλήξουμε στο τρισδιάστατο μοντέλο του γεφυριού. Τα αρχεία του συγκεκριμένου σαρωτή είναι της μορφής .blk και συγκεκριμένα είναι οκτώ στον αριθμό για την περίπτωση της Στοιχειωμένης, όσες και οι στάσεις που πραγματοποιήθηκαν. Καταρχήν, δημιουργείται μία βάση δεδομένων (database) για το κάθε γεφύρι, όπου εισάγουμε τα αρχεία. Με τη βοήθεια του Cyclone, μπορούμε να ανοίξουμε το κάθε αρχείο (δεξί κλικ -> open trusspace). Από τα εργαλεία του λογισμικού, επιλέγουμε την χρωματική παλέτα που θέλουμε να εμφανίζονται τα νέφη σημείων του κάθε αρχείου, στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούμε τα χρώματα της σάρωσης (tools -> use color from scanner). Στη συνέχεια, αφού ανοίξουμε το λογισμικό Cyclone Register 360 και ονομάσουμε το project, εισάγουμε τα δέκα αρχεία.

Παρακάτω παρουσιάζονται στιγμιότυπα με όλα τα βήματα που αναφέρονται παραπάνω:

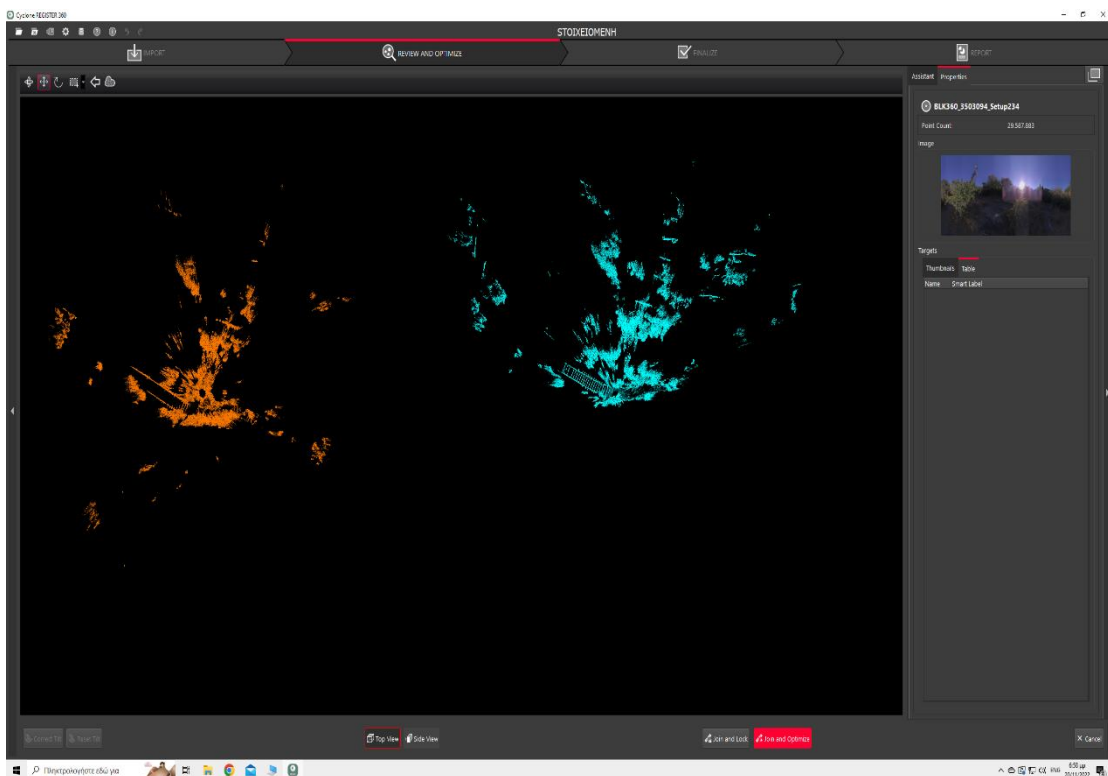


Εικόνα 6.34: Εισαγωγή αρχείων στο Cyclone Register 360

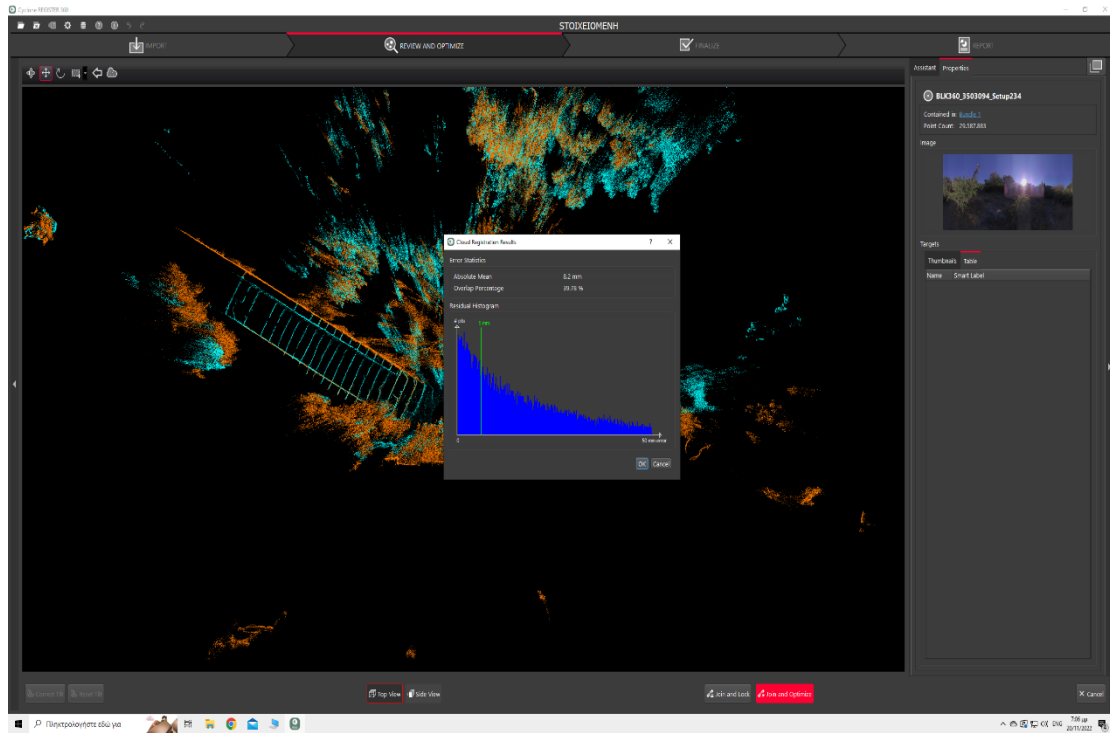
Στη συνέχεια και αφού ταξινομηθούν τα νέφη, έτσι ώστε να είναι διαδοχικά και να έχουν επικαλυπτόμενες περιοχές, ανά δύο νέφη σημείων γίνεται η ένωση με βάση τα ομόλογα σημεία στις επικαλυπτόμενες περιοχές του κάθε νέφους.



Εικόνα 6.35: Αρχική απεικόνιση των νεφών σημείων της κάθε σάρωσης

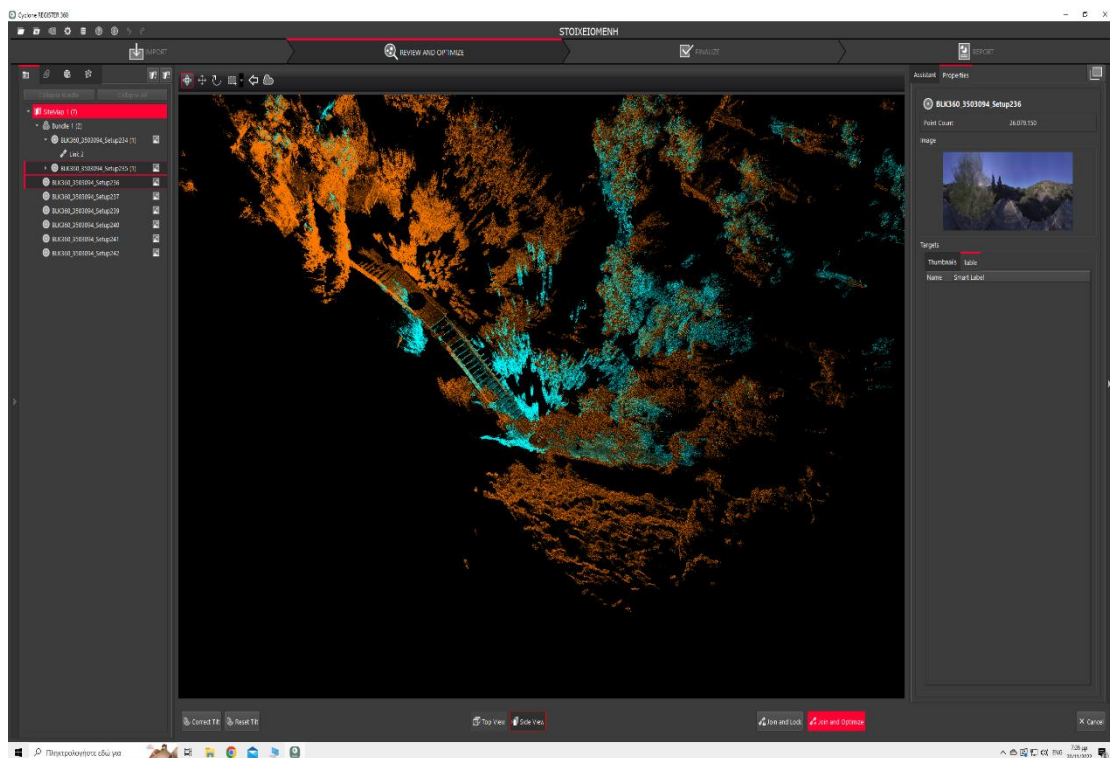


Εικόνα 6.36: Δύο νέφη σημείων με διαφορετικά χρώματα προς ταύτιση

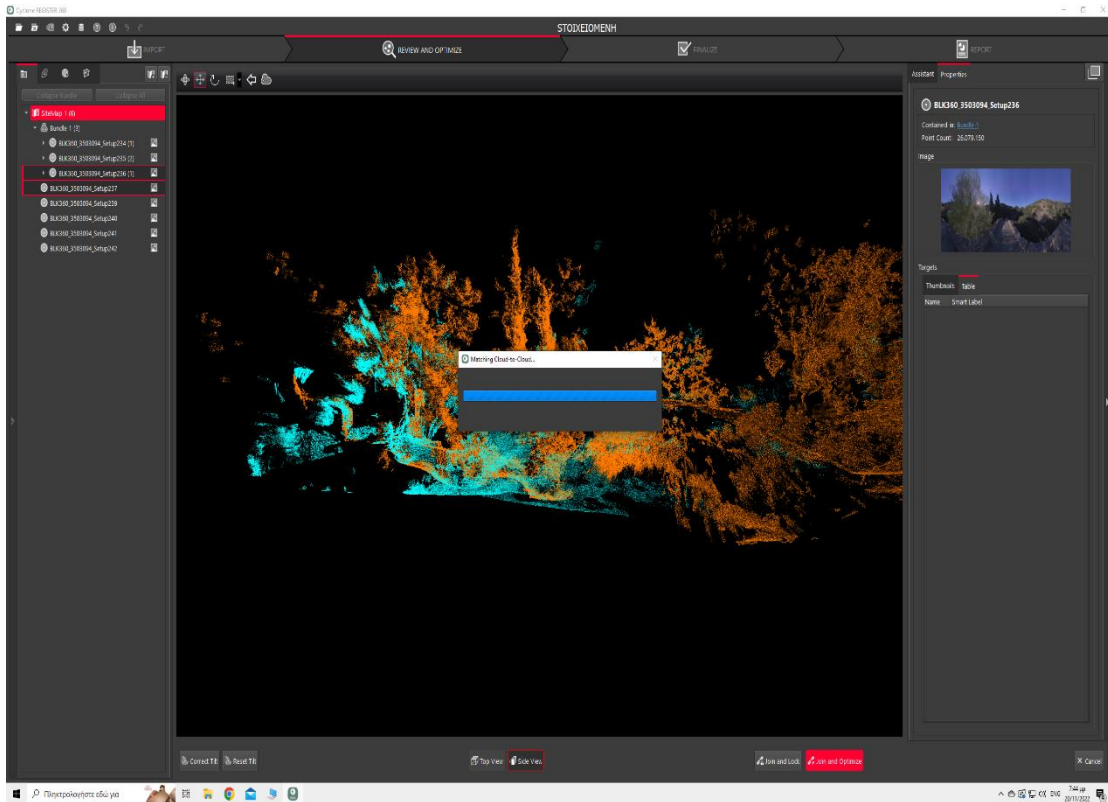


Εικόνα 6.37: Δύο νέφη σημείων υπό επεξεργασία

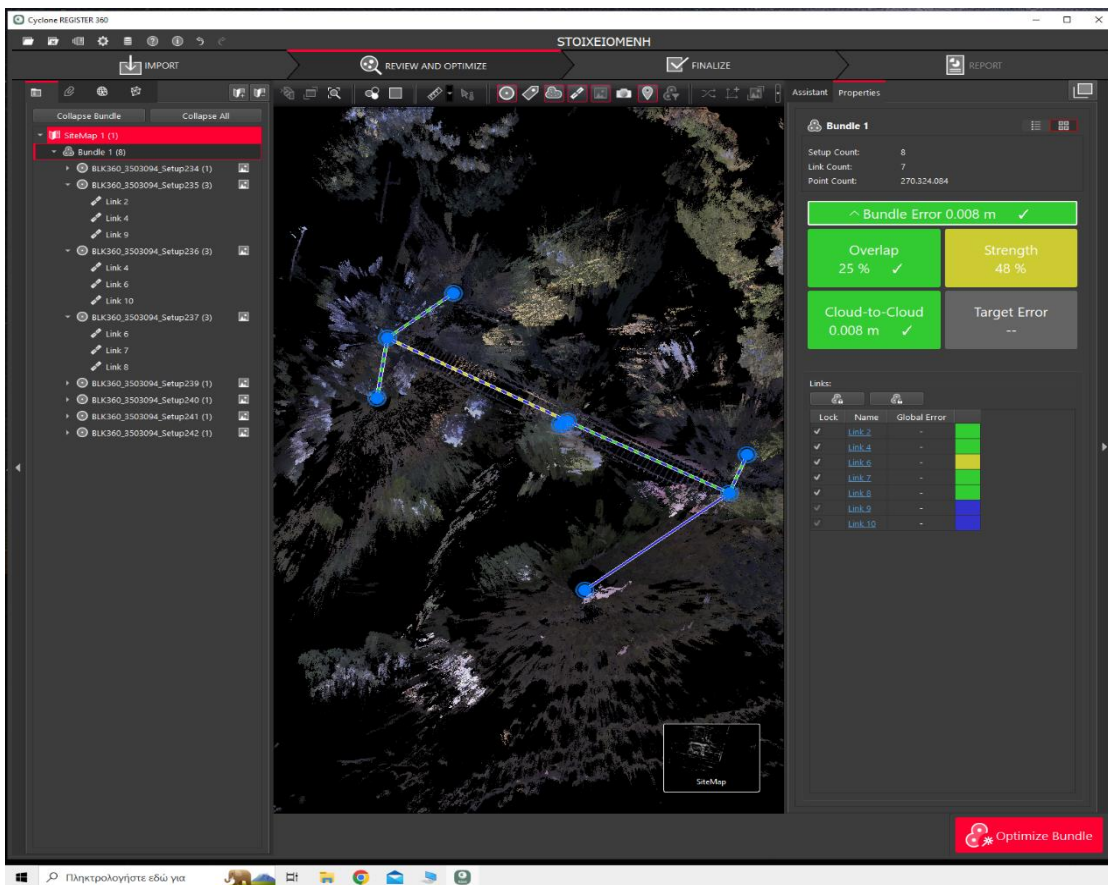
Πολύ σημαντικό είναι να γίνεται η ταύτιση των νεφών οριζόντια και κατακόρυφα (visual alignment -> top view / side view)



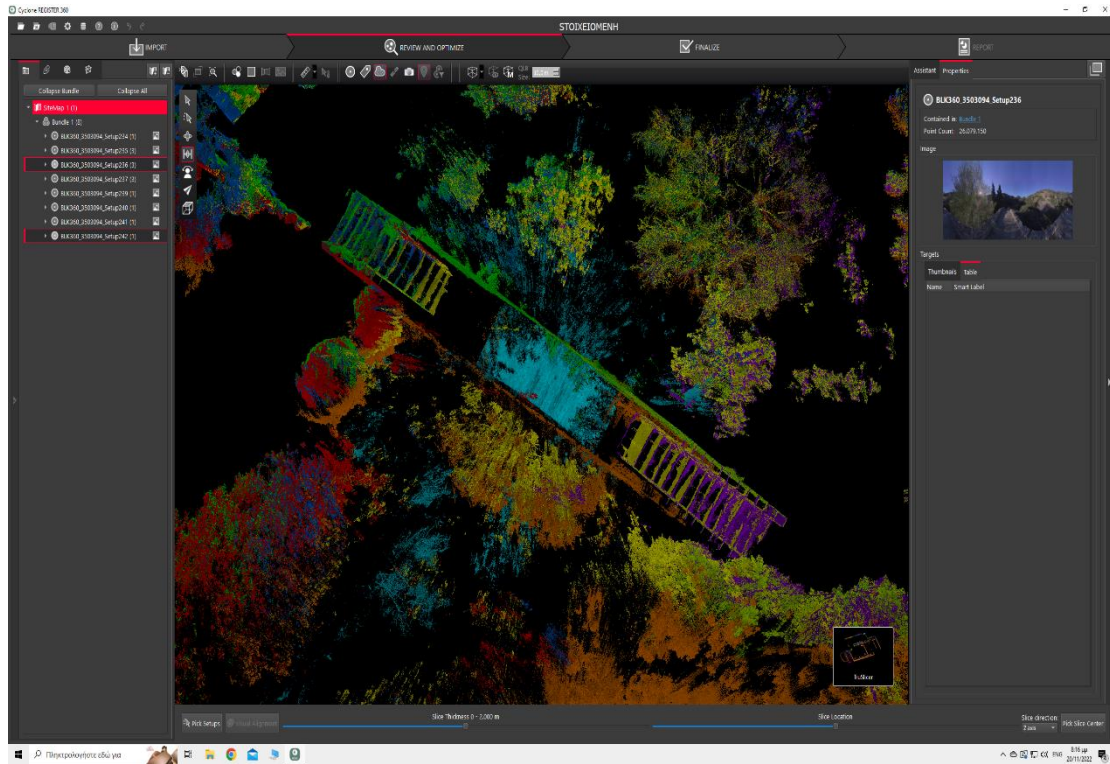
Εικόνα 6.38: Δύο νέφη σημείων υπό επεξεργασία



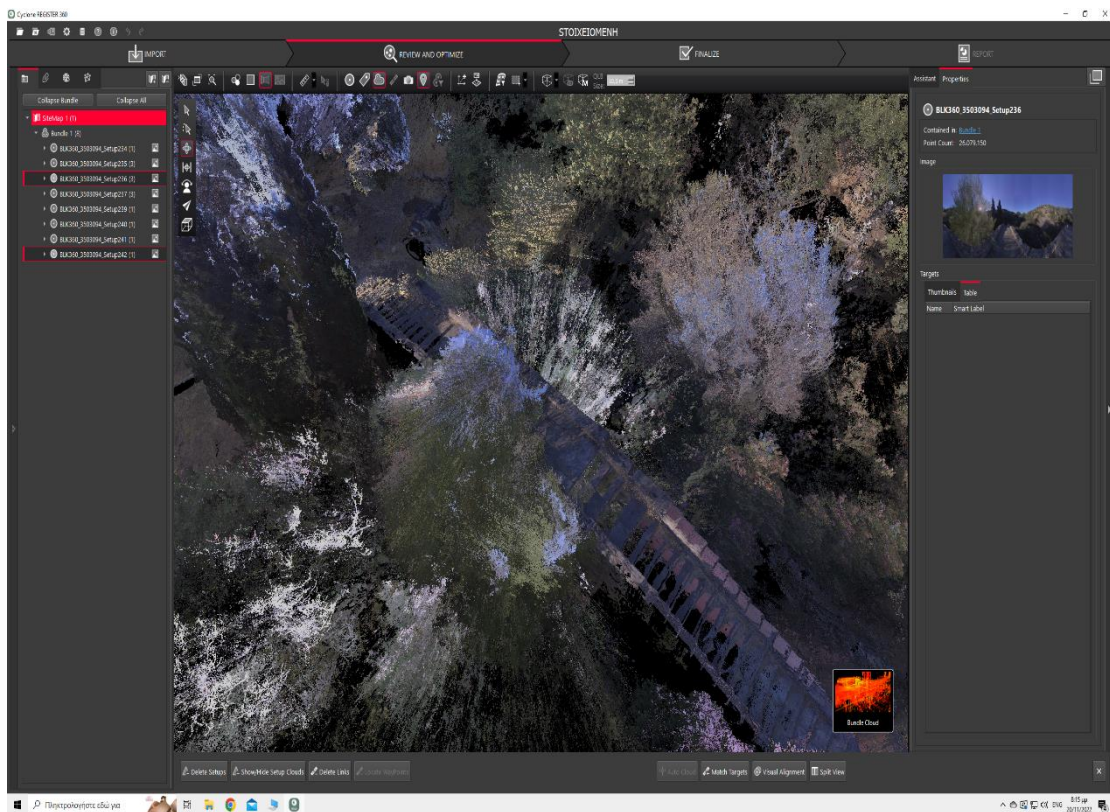
Εικόνα 6.39: Δύο νέφη σημείων υπό επεξεργασία



Εικόνα 6.40: Διάταξη των στάσεων του σαρωτή

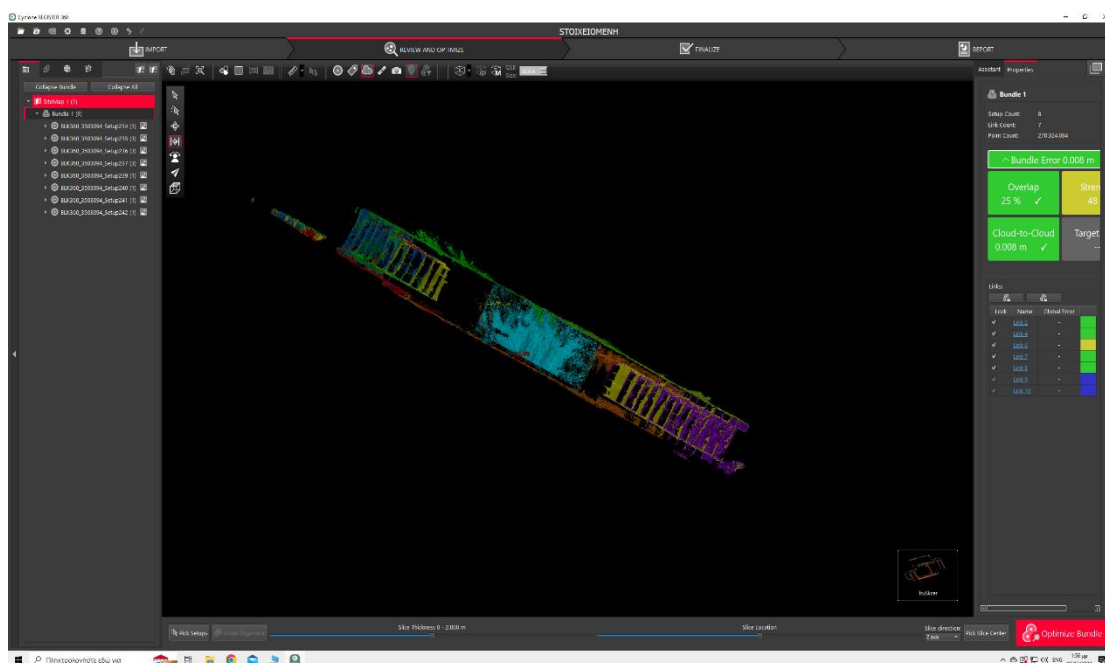


Εικόνα 6.41: Γενική κάτοψη γεφυριού (trussicer)



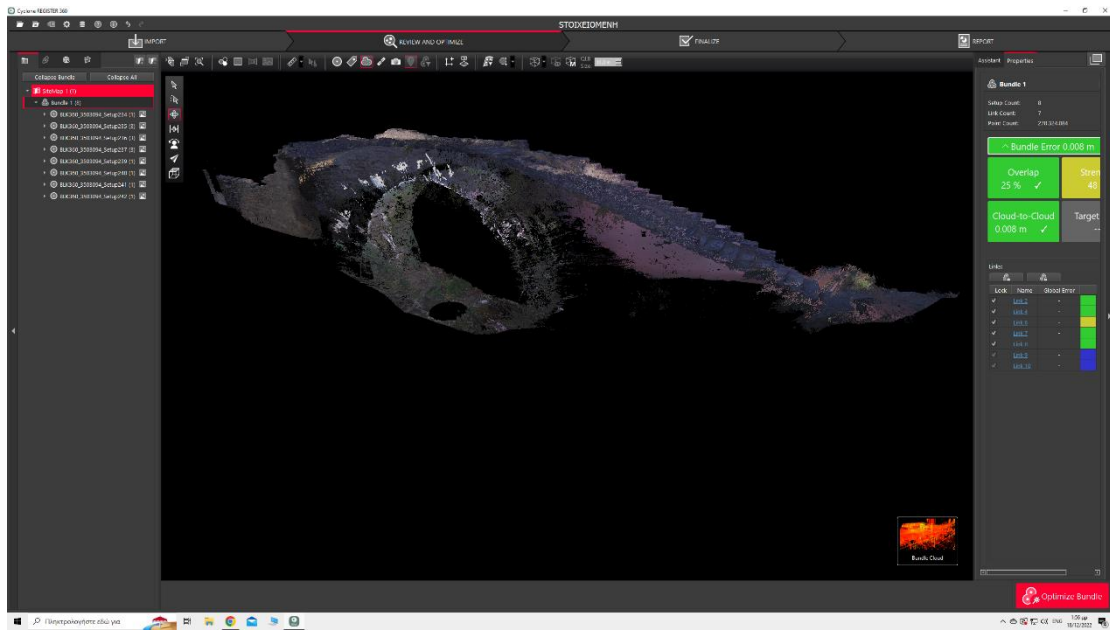
Εικόνα 6.42: Γενική κάτοψη γεφυριού

Αφού φτάσουμε σε ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα όσον αφορά στην ταύτιση όλων των νεφών, τη σύνδεσή τους και τη δημιουργία ενός ενιαίου μοντέλου, μπορούμε να το καθαρίσουμε από σημεία γύρω του που δε μας ενδιαφέρουν και “βαραίνουν” το αποτέλεσμα. Στην προκειμένη περίπτωση, έχουμε πολλά περιττά σημεία γύρω από το γεφύρι λόγω βλάστησης. Επίσης, μπορούμε να αφαιρέσουμε σε δεύτερη φάση, μεγάλο μέρος από τον περιβάλλοντα χώρο που έχει σαρωθεί αλλά δεν μας ενδιαφέρει στη συγκεκριμένη περίπτωση. Σκοπός μας είναι το καθαρότερο και απαλλαγμένο από “θόρυβο” τελικό τρισδιάστατο μοντέλο, για την ευκολότερη απεικόνιση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του γεφυριού. Αυτό μπορούμε να το καταφέρουμε, φτιάχνοντας πολύγωνα και περικλείοντας μέσα σημεία περιττά που θέλουμε να αφαιρέσουμε. Κάνοντας αυτή την διαδικασία αρκετές φορές έτσι ώστε να αφαιρέσουμε με όσο γίνεται μεγαλύτερη ακρίβεια, σημεία που δεν μας ενδιαφέρουν, χωρίς να χάσουμε τα σημεία του αντικειμένου, καταλήγουμε στο τελικό τρισδιάστατο μοντέλο.

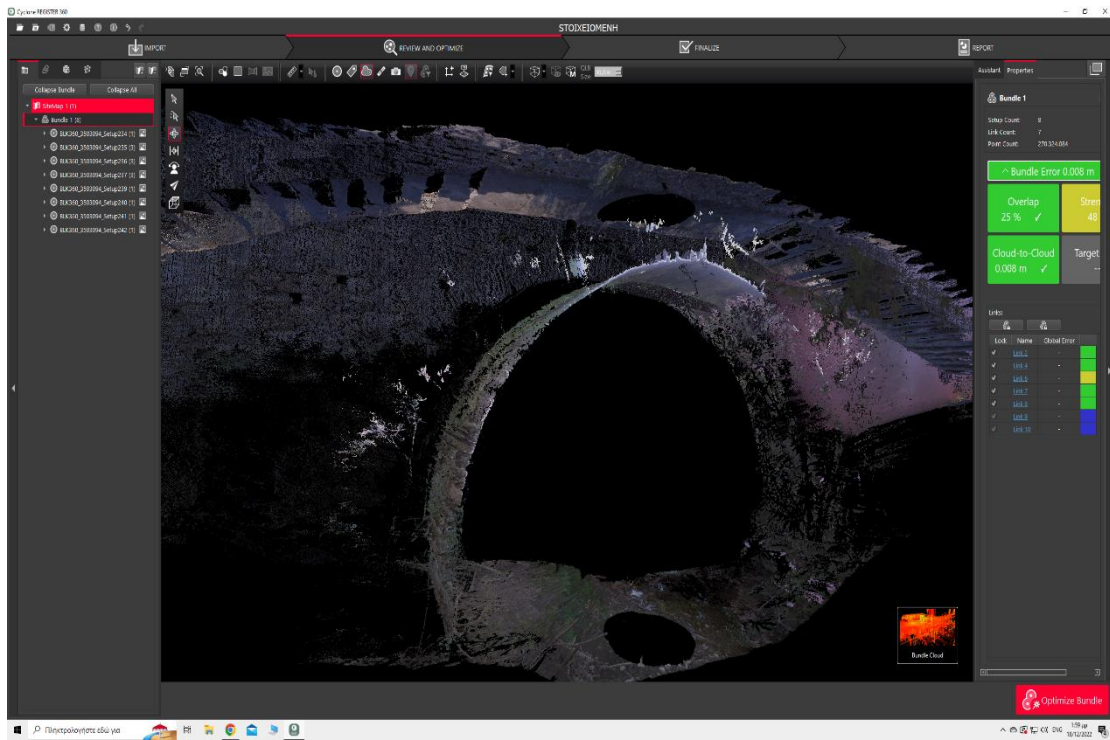


Εικόνα 6.43: Γενική κάτοψη γεφυριού (truslicer) χωρίς στοιχεία περιβάλλοντα χώρου

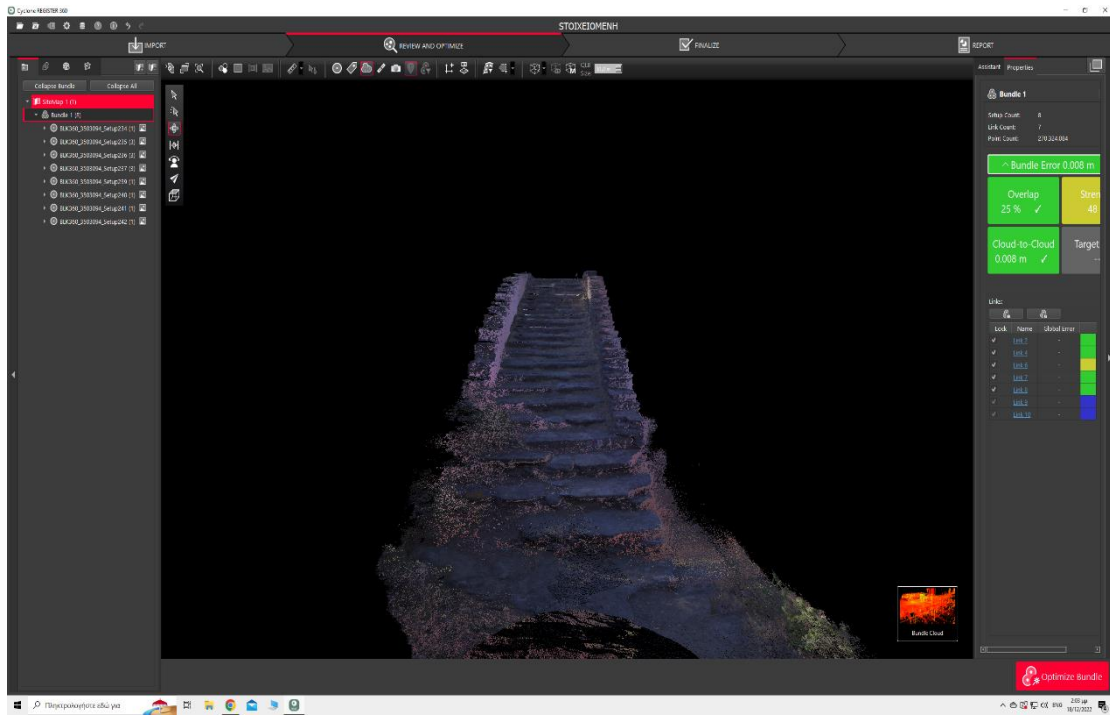




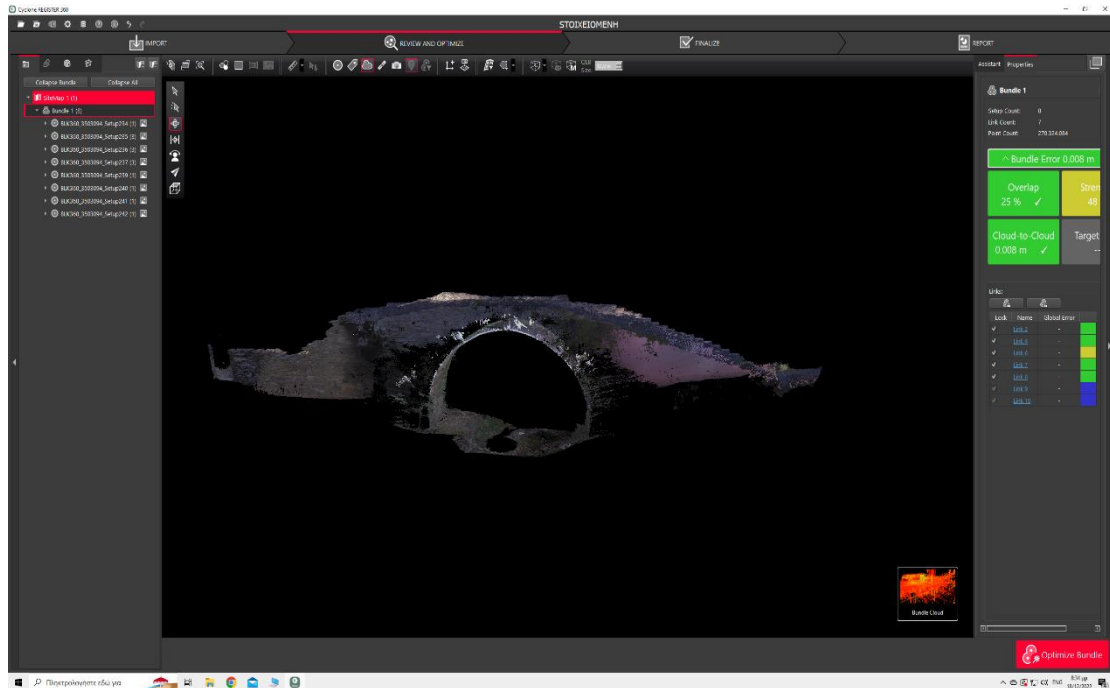
Εικόνα 6.44: Άποψη γεφυριού



Εικόνα 6.45: Άποψη γεφυριού



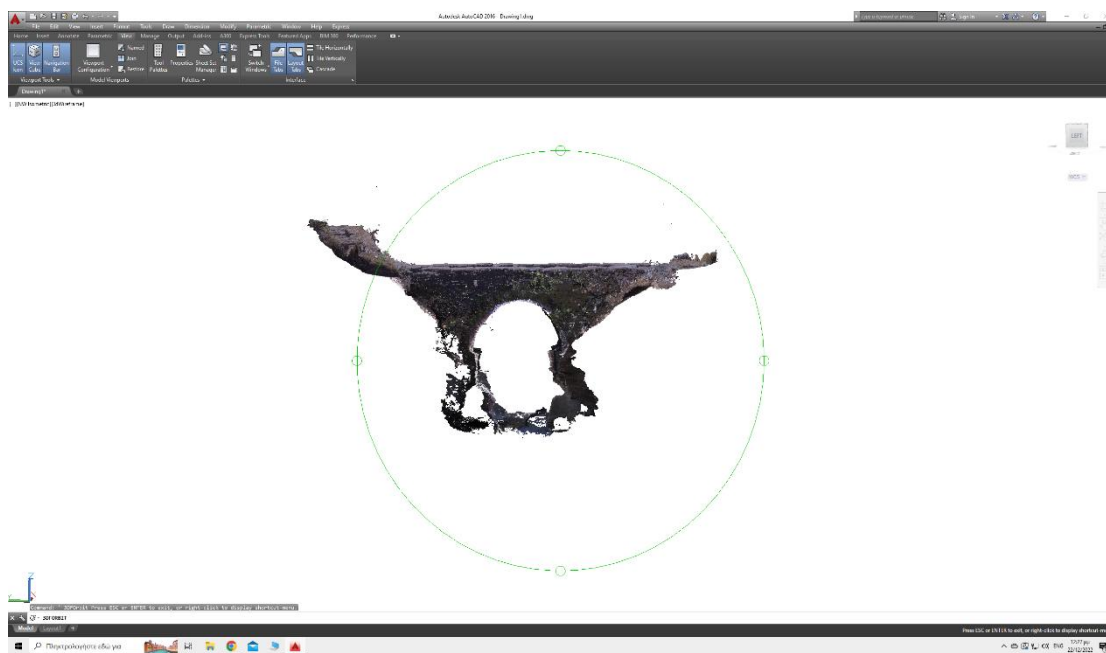
Εικόνα 6.46: Αποψη γεφυριού



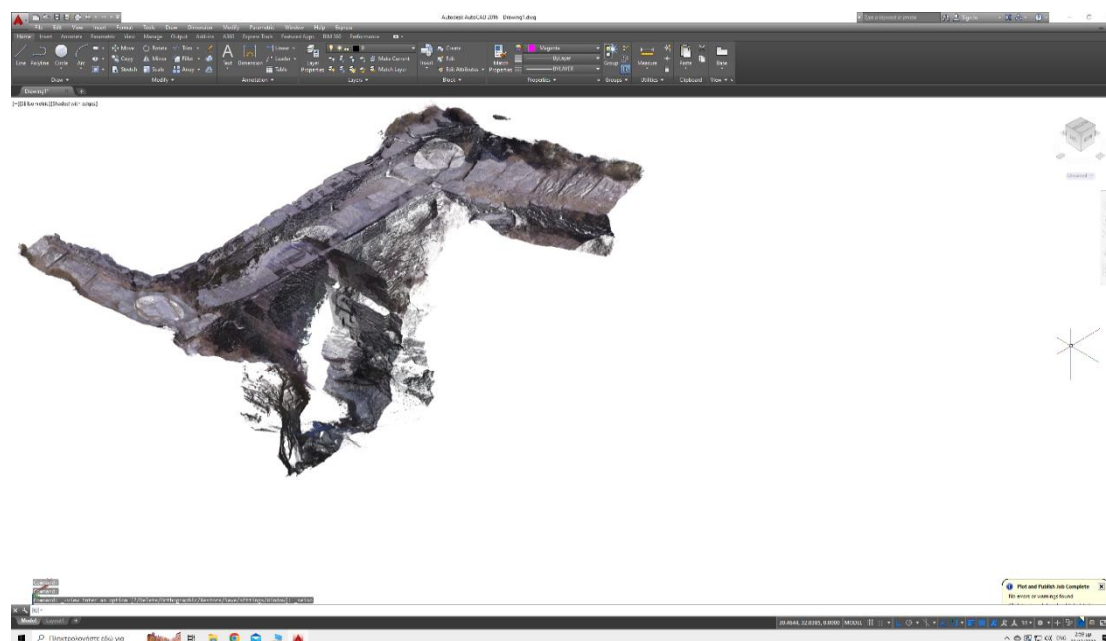
Εικόνα 6.47: Αποψη γεφυριού

## Κεφάλαιο 7ο. ΣΧΕΔΙΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

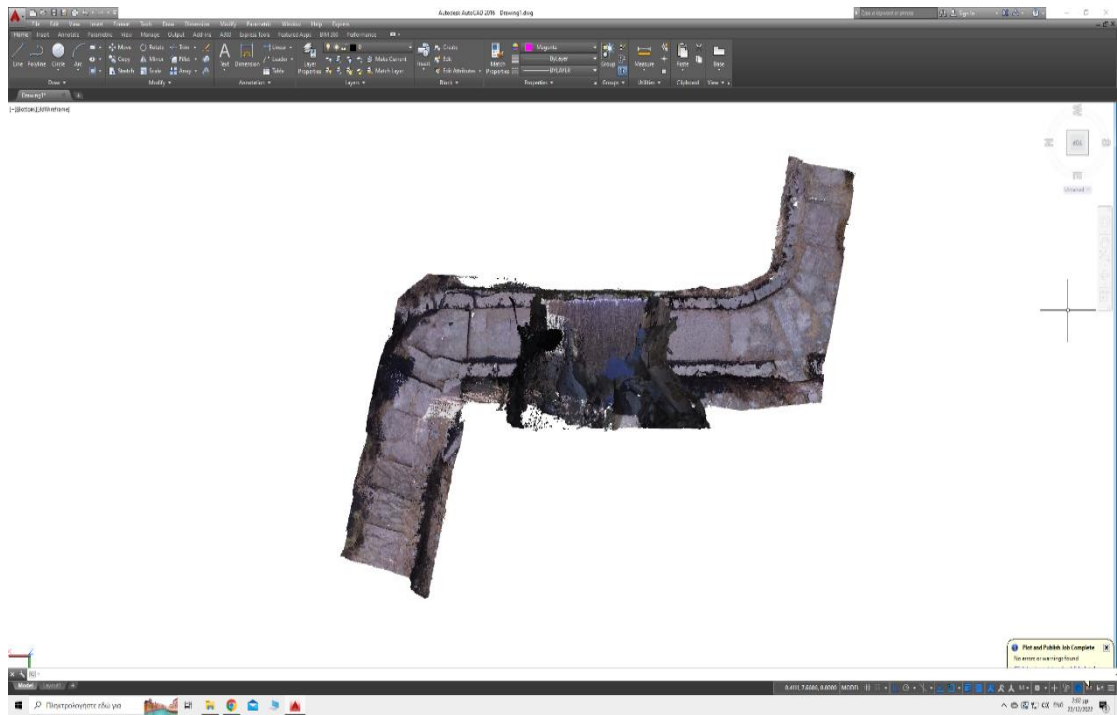
Το επόμενο βήμα για την παραγωγή των σχεδίων που προκύπτουν από τα δύο τρισδιάστατα τελικά μοντέλα των δύο γεφυριών είναι η εισαγωγή τους σε λογισμικό cad και συγκεκριμένα στο Autocad. Τα αρχεία που έχουν εξαχθεί από το λογισμικό Cyclone Register 360 είναι της μορφής .rcp και είναι αυτά που θα εισαχθούν στο λογισμικό Autocad έτσι ώστε να παραχθούν τα δύο διαστάσεων σχέδια (κατόψεις, τομές). Η εισαγωγή του νέφους στο λογισμικό Autocad γίνεται, αφού ανοίξουμε το λογισμικό, με την εντολή insert -> attach και έτσι εισάγεται το αρχείο .rcp στο λογισμικό.



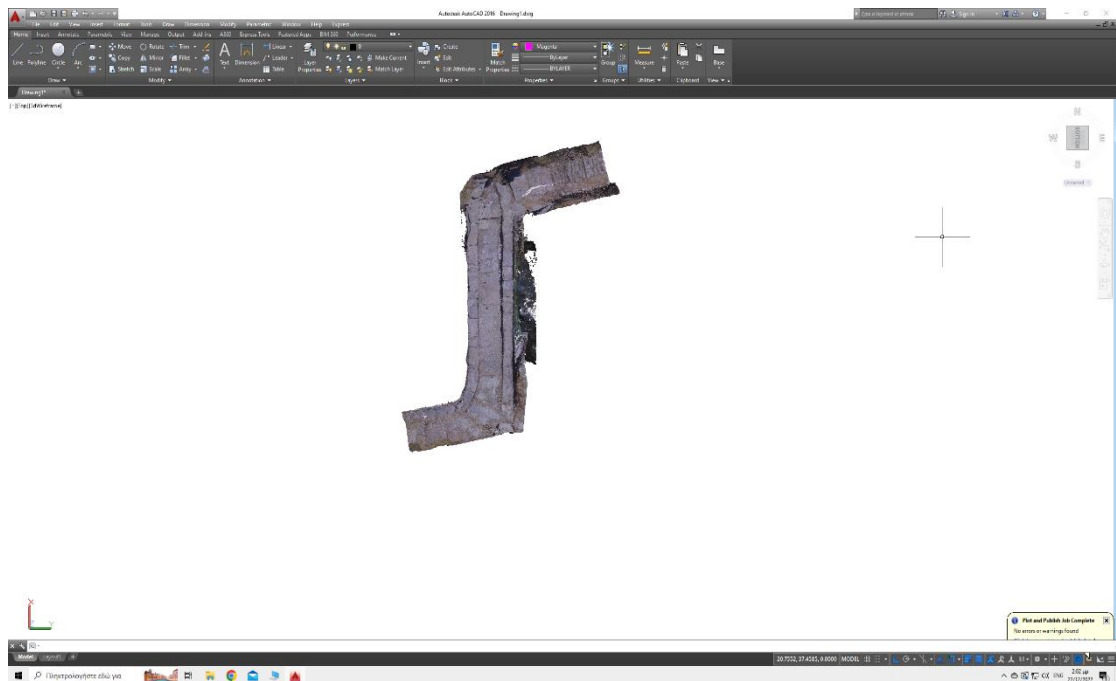
Εικόνα 7.1: Εισαγωγή νέφους Διποταμάτων στο Autocad



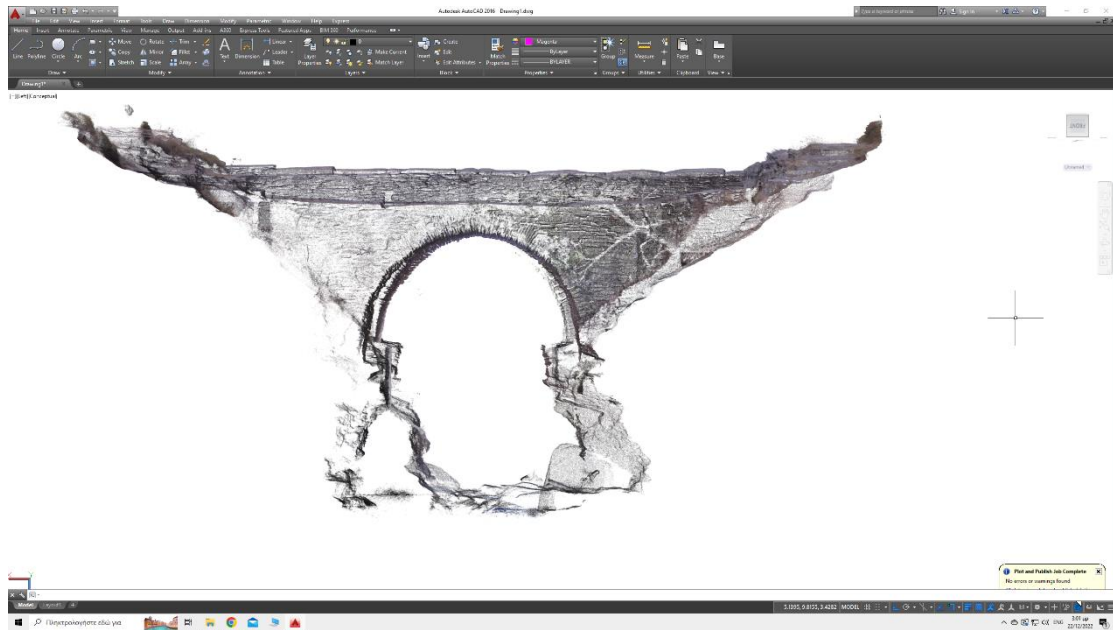
Εικόνα 7.2: Άποψη γεφυριού Διποταμάτων (σε περιβάλλον Autocad)



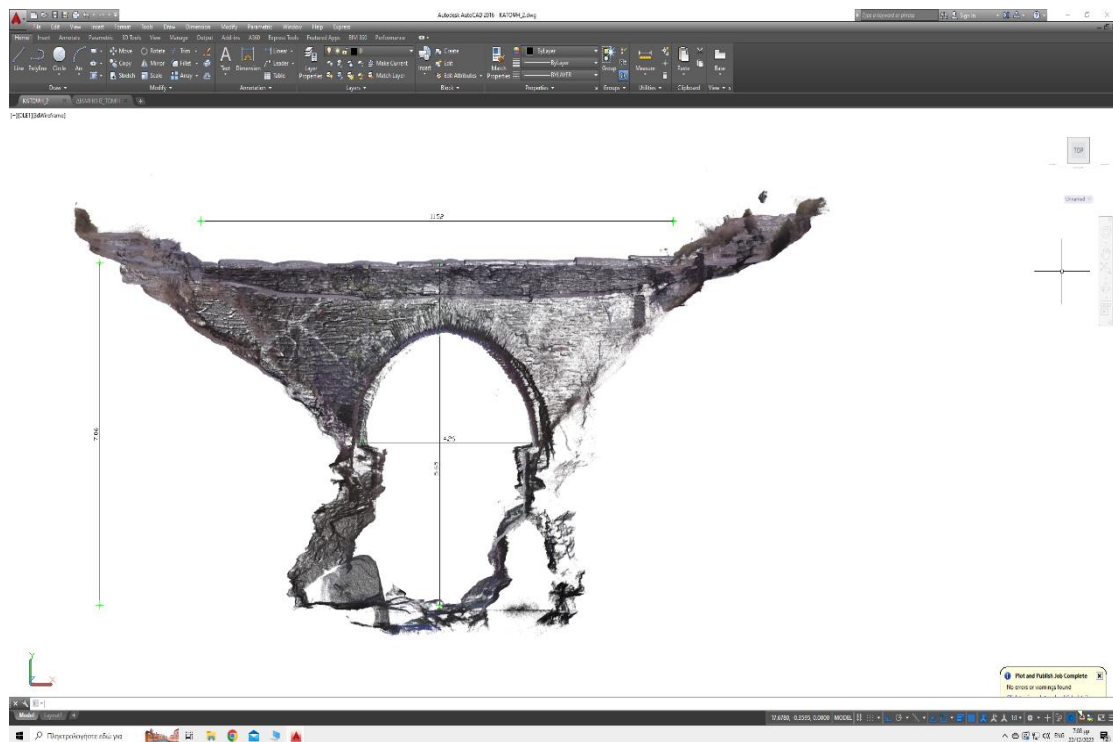
Εικόνα 7.3: Άποψη γεφυριού Διποταμάτων (σε περιβάλλον Autocad)



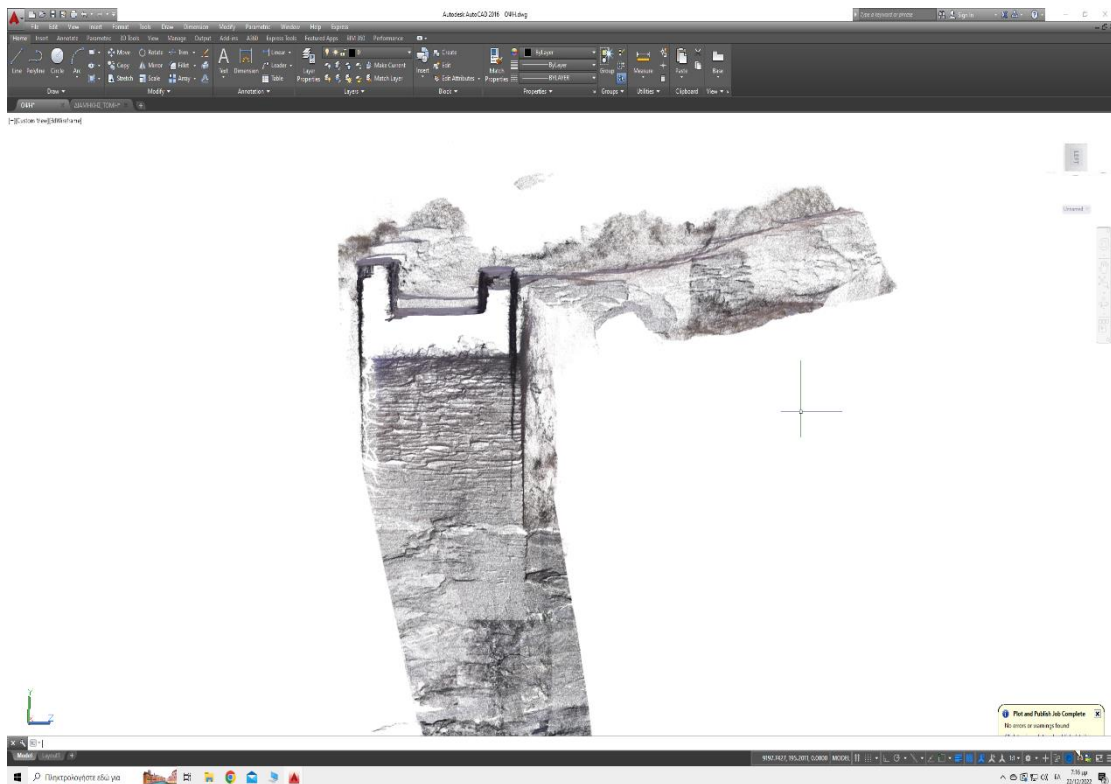
Εικόνα 7.4: Άποψη γεφυριού Διποταμάτων (σε περιβάλλον Autocad)



Εικόνα 7.5: Εικόνα Αποψη γεφυριού Διποταμάτων (σε περιβάλλον Autocad)

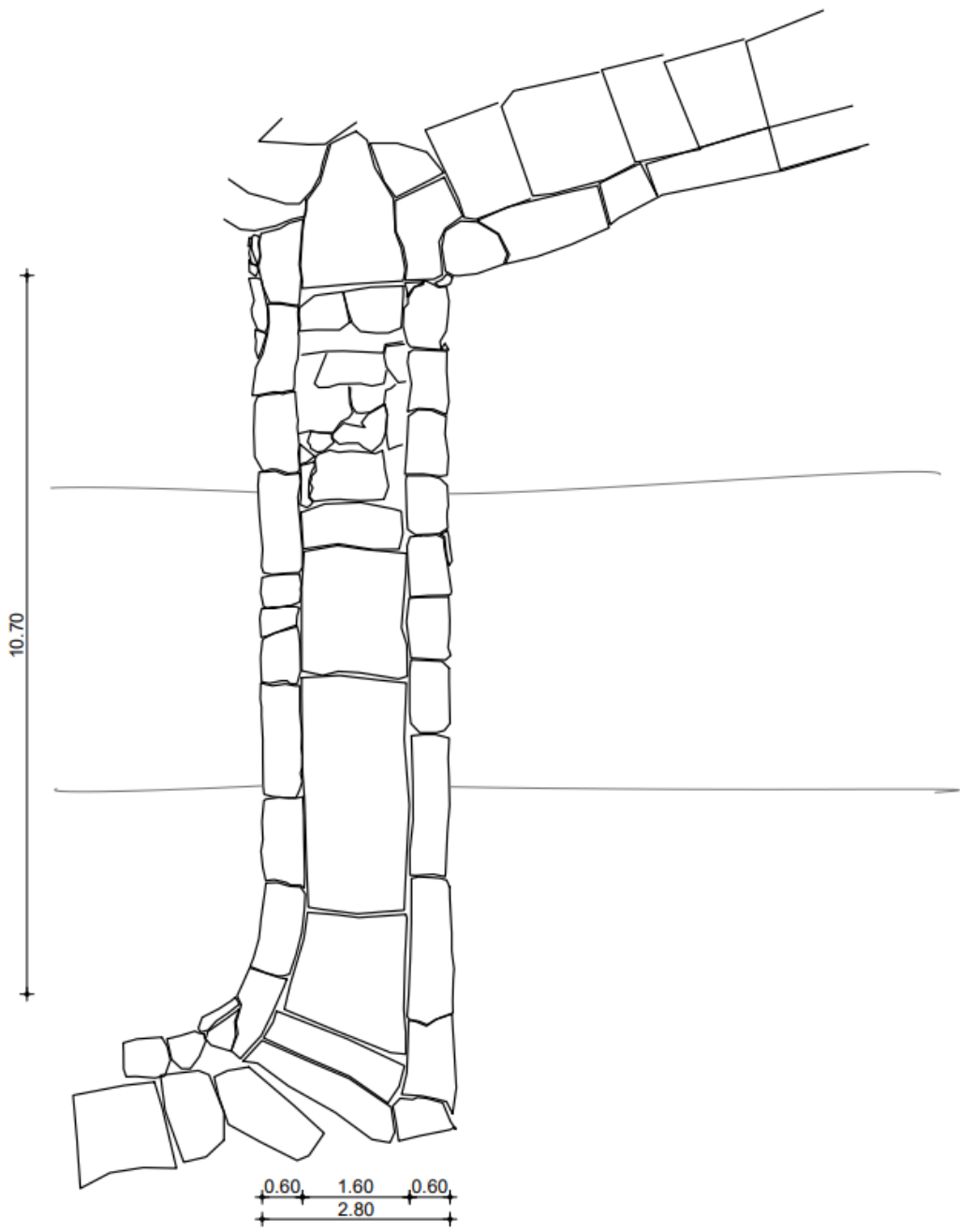


Εικόνα 7.6: Αποψη γεφυριού Διποταμάτων (σε περιβάλλον Autocad)

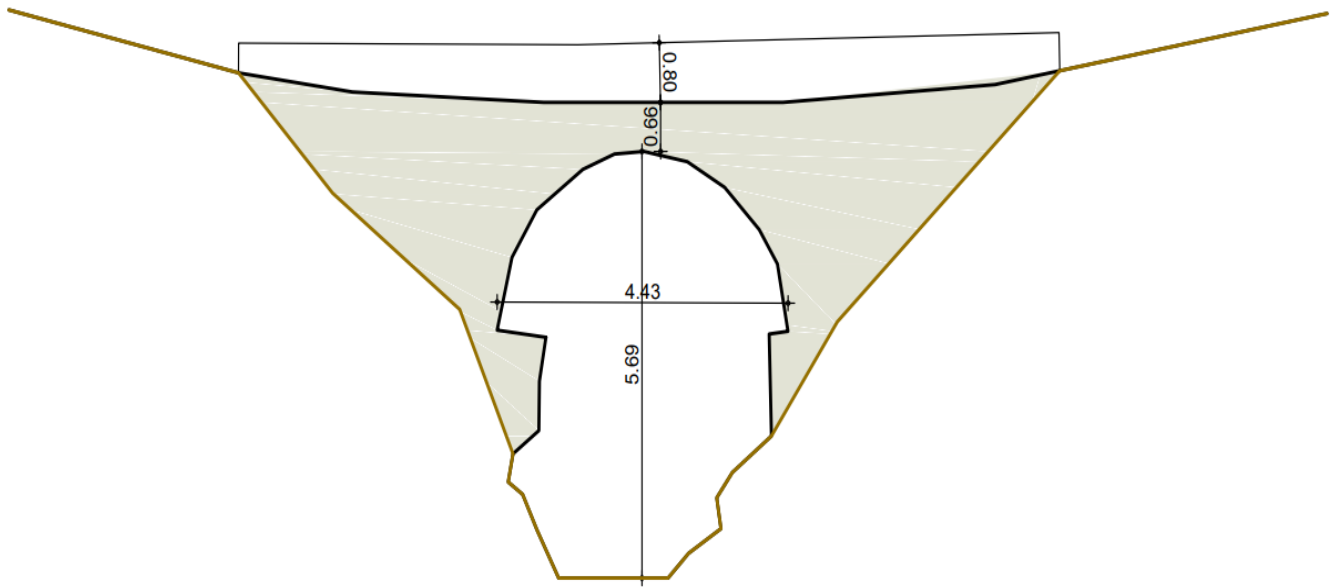


Εικόνα 7.7: Εγκάρσια τομή γεφυριού Διποταμάτων (σε περιβάλλον Autocad)

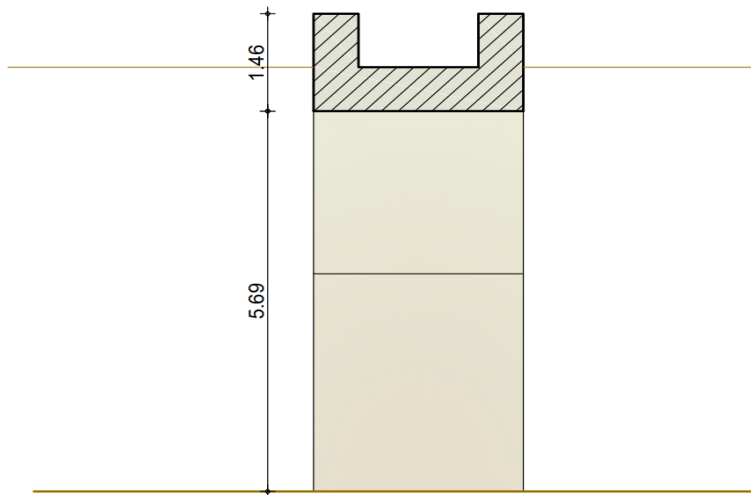
Από το τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε για το γεφύρι Διποταμάτων μπορούμε να το εντάξουμε σύμφωνα με τον Πίνακα 1 τυπολογίας των γεφυριών στα γεφύρια με μορφολογία άντυγος αψίδα δύο κέντρων και στο αμφιέριστο σύστημα. Εκατέρωθεν του γεφυριού υπήρχε πυκνή βλάστηση με αποτέλεσμα να μη μπορούν να αποτυπωθούν με ακρίβεια οι όψεις του γεφυριού. Επίσης για τον ίδιο λόγο ήταν δύσκολη η πρόσβαση εντός του ποταμού με σκοπό την αποτύπωση του κάτω μέρους του καθώς και της εξασφάλισης ιδανικών επικαλυπτόμενων περιοχών μεταξύ των σαρώσεων. Το τελικό σφάλμα του μοντέλου είναι 0.009 m σύμφωνα με την παρακάτω αναφορά.



ΚΑΤΟΨΗ



ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΤΟΜΗ



ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΤΟΜΗ



**Cyclone REGISTER 360**  
Registration Report



Δεκ 18, 2022

Certified by:



SiteMap 1

### Overall Quality

#### Error Results for Bundle 1

Setup Count: 10  
Link Count: 13  
Strength: 66 %  
Overlap: 49 %

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| Bundle Error<br>0.009 m ✓ |                    |
| Overlap<br>49 % ✓         | Strength<br>66 % ✓ |
| Cloud-to-Cloud            | Target Error       |

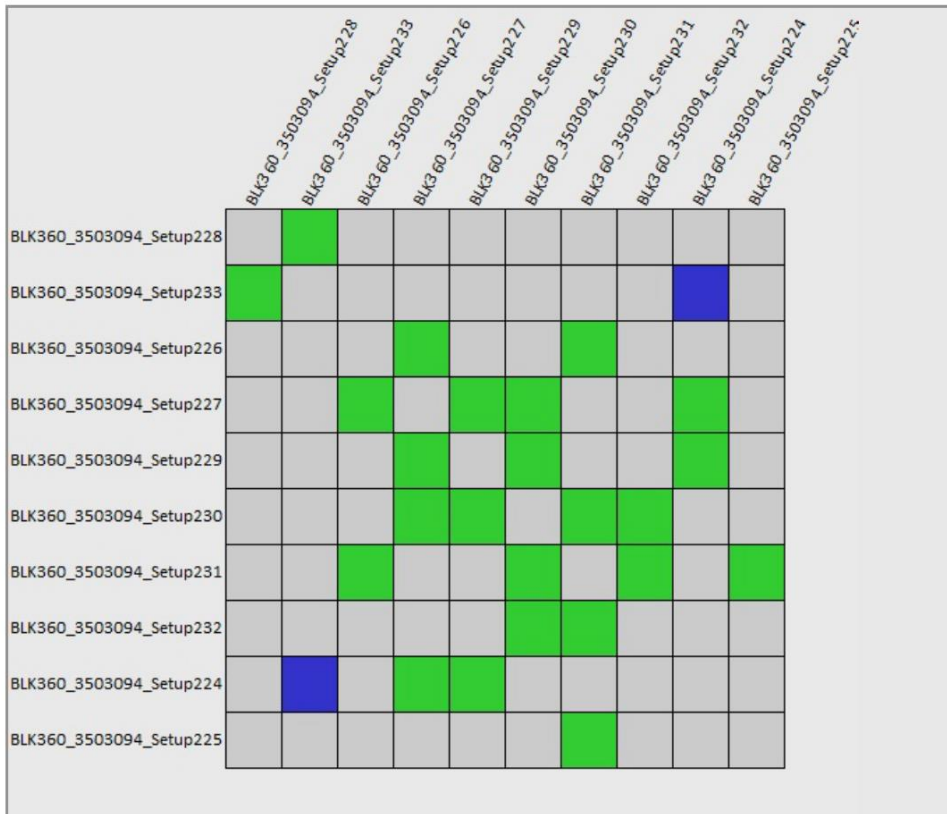
0.009 m ✓

Max error of 0.015 m.

Max error of 0.020 m.

Error greater than 0.020 m.

Link-Quality Matrix #1 -



## Link Error Results

### 1 Overview

| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|-------------------------|-------------------------|---------|-----------------|
| Link 1    | BLK360_3503094_Setup228 | BLK360_3503094_Setup233 | 86 %    | 0.007 m         |
| Link 2    | BLK360_3503094_Setup226 | BLK360_3503094_Setup227 | 44 %    | 0.009 m         |
| Link 3    | BLK360_3503094_Setup227 | BLK360_3503094_Setup229 | 26 %    | 0.013 m         |
| Link 4    | BLK360_3503094_Setup227 | BLK360_3503094_Setup230 | 27 %    | 0.012 m         |
| Link 5    | BLK360_3503094_Setup230 | BLK360_3503094_Setup231 | 63 %    | 0.010 m         |
| Link 6    | BLK360_3503094_Setup226 | BLK360_3503094_Setup231 | 39 %    | 0.012 m         |
| Link 7    | BLK360_3503094_Setup231 | BLK360_3503094_Setup232 | 69 %    | 0.009 m         |
| Link 8    | BLK360_3503094_Setup230 | BLK360_3503094_Setup232 | 60 %    | 0.012 m         |
| Link 9    | BLK360_3503094_Setup224 | BLK360_3503094_Setup229 | 79 %    | 0.010 m         |
| Link 10   | BLK360_3503094_Setup224 | BLK360_3503094_Setup227 | 22 %    | 0.012 m         |
| Link 11   | BLK360_3503094_Setup233 | BLK360_3503094_Setup224 | 5 %     | 0.000 m         |
| Link 12   | BLK360_3503094_Setup229 | BLK360_3503094_Setup230 | 62 %    | 0.012 m         |
| Link 13   | BLK360_3503094_Setup231 | BLK360_3503094_Setup225 | 60 %    | 0.007 m         |

### 2 Details

| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                 | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 1    | BLK360_3503094_Setup228 | BLK360_3503094_Setup233 | 86 %               | 0.007 m         |
|           |                         | <b>Cloud to Cloud</b>   |                    | 0.007 m         |
|           |                         | <b>Target</b>           | Mean Target Error: | --              |

| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                 | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 2    | BLK360_3503094_Setup226 | BLK360_3503094_Setup227 | 44 %               | 0.009 m         |
|           |                         | <b>Cloud to Cloud</b>   |                    | 0.009 m         |
|           |                         | <b>Target</b>           | Mean Target Error: | --              |

| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                 | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 3    | BLK360_3503094_Setup227 | BLK360_3503094_Setup229 | 26 %               | 0.013 m         |
|           |                         | Cloud to Cloud          |                    | 0.013 m         |
|           |                         | Target                  | Mean Target Error: | --              |

| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                 | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 4    | BLK360_3503094_Setup227 | BLK360_3503094_Setup230 | 27 %               | 0.012 m         |
|           |                         | Cloud to Cloud          |                    | 0.012 m         |
|           |                         | Target                  | Mean Target Error: | --              |

| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                 | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 5    | BLK360_3503094_Setup230 | BLK360_3503094_Setup231 | 63 %               | 0.010 m         |
|           |                         | Cloud to Cloud          |                    | 0.010 m         |
|           |                         | Target                  | Mean Target Error: | --              |

| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                 | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 6    | BLK360_3503094_Setup226 | BLK360_3503094_Setup231 | 39 %               | 0.012 m         |
|           |                         | Cloud to Cloud          |                    | 0.012 m         |
|           |                         | Target                  | Mean Target Error: | --              |

| Link Name | Setup 1                     | Setup 2                     | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 7    | BLK360_3503094_S<br>etup231 | BLK360_3503094_S<br>etup232 | 69 %               | 0.009 m         |
|           |                             | <b>Cloud to Cloud</b>       |                    | 0.009 m         |
|           |                             | <b>Target</b>               | Mean Target Error: | --              |

| Link Name | Setup 1                     | Setup 2                     | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 8    | BLK360_3503094_S<br>etup230 | BLK360_3503094_S<br>etup232 | 60 %               | 0.012 m         |
|           |                             | <b>Cloud to Cloud</b>       |                    | 0.012 m         |
|           |                             | <b>Target</b>               | Mean Target Error: | --              |

| Link Name | Setup 1                     | Setup 2                     | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 9    | BLK360_3503094_S<br>etup224 | BLK360_3503094_S<br>etup229 | 79 %               | 0.010 m         |
|           |                             | <b>Cloud to Cloud</b>       |                    | 0.010 m         |
|           |                             | <b>Target</b>               | Mean Target Error: | --              |

| Link Name | Setup 1                     | Setup 2                     | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 10   | BLK360_3503094_S<br>etup224 | BLK360_3503094_S<br>etup227 | 22 %               | 0.012 m         |
|           |                             | <b>Cloud to Cloud</b>       |                    | 0.012 m         |
|           |                             | <b>Target</b>               | Mean Target Error: | --              |

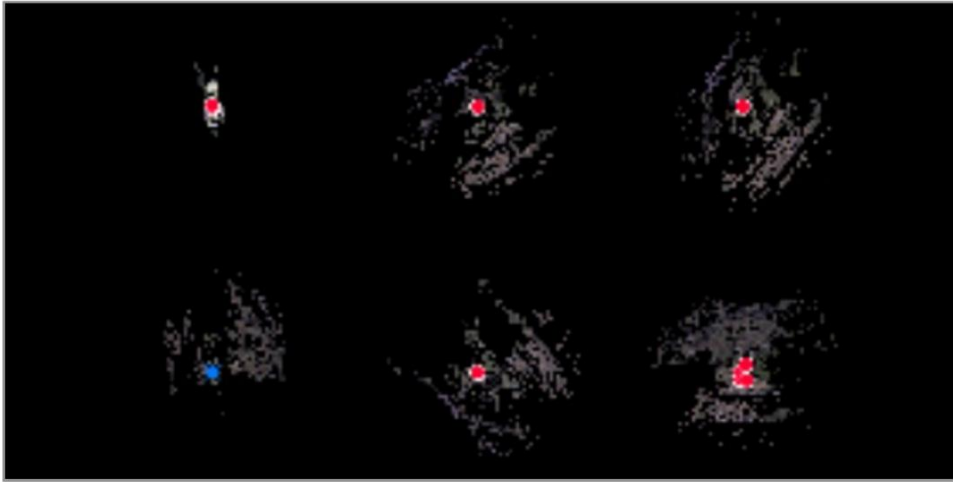
| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                 | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 11   | BLK360_3503094_Setup233 | BLK360_3503094_Setup224 | 5 %                | 0.000 m         |
|           |                         | Cloud to Cloud          |                    | 0.000 m         |
|           |                         | Target                  | Mean Target Error: | --              |

| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                 | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 12   | BLK360_3503094_Setup229 | BLK360_3503094_Setup230 | 62 %               | 0.012 m         |
|           |                         | Cloud to Cloud          |                    | 0.012 m         |
|           |                         | Target                  | Mean Target Error: | --              |

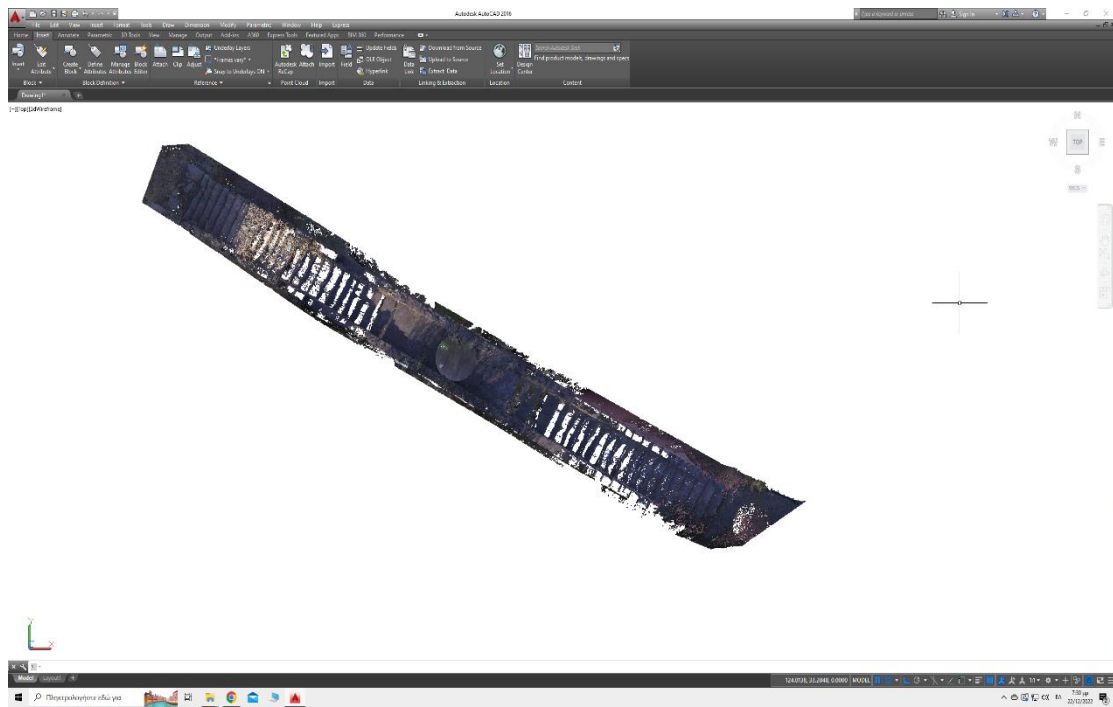
| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                 | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 13   | BLK360_3503094_Setup231 | BLK360_3503094_Setup225 | 60 %               | 0.007 m         |
|           |                         | Cloud to Cloud          |                    | 0.007 m         |
|           |                         | Target                  | Mean Target Error: | --              |

## Graphics

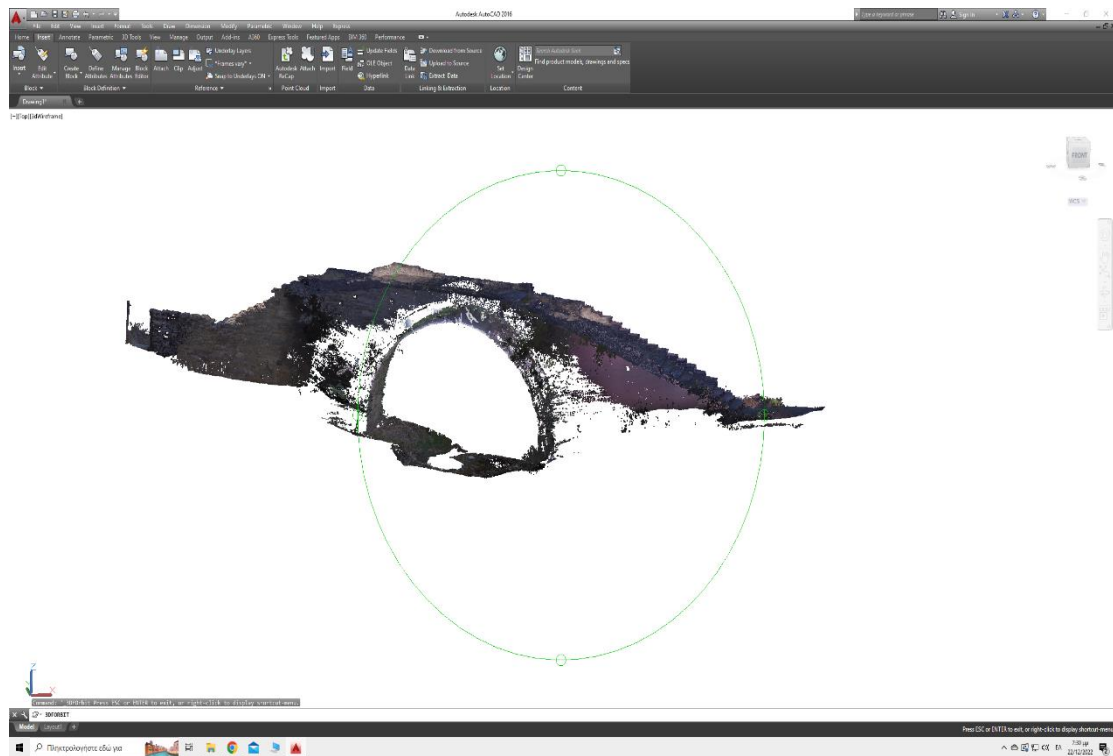
---



ProjectIcon

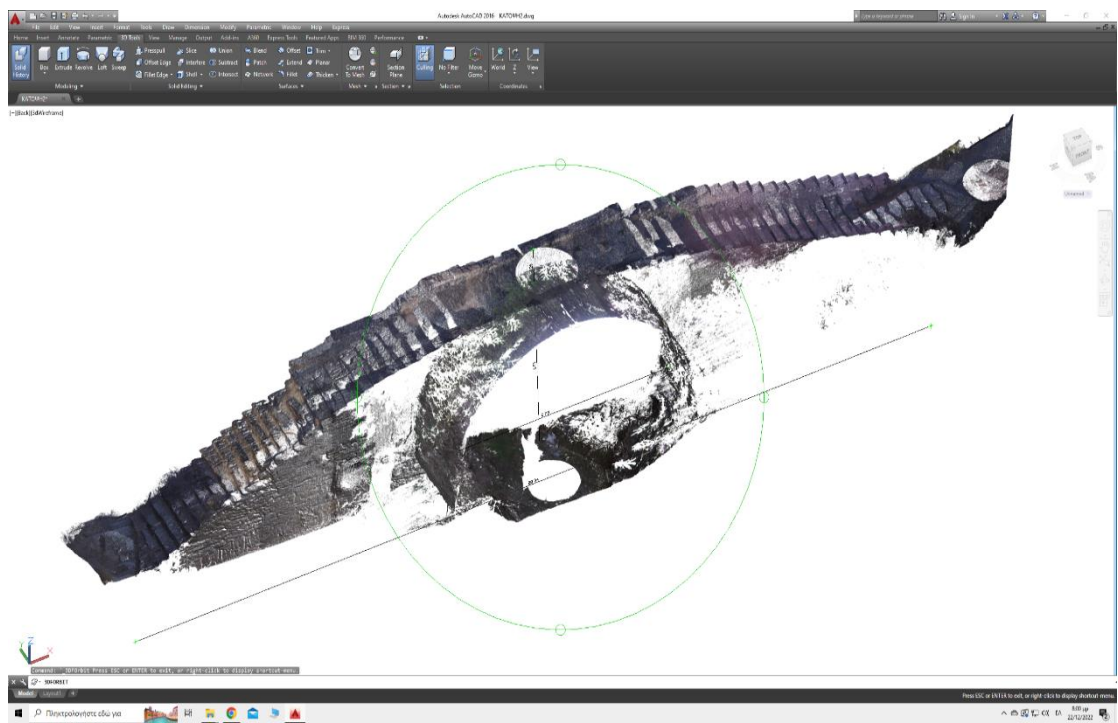


Εικόνα 7.8: Εισαγωγή νέφους Στοιχειωμένης στο Autocad

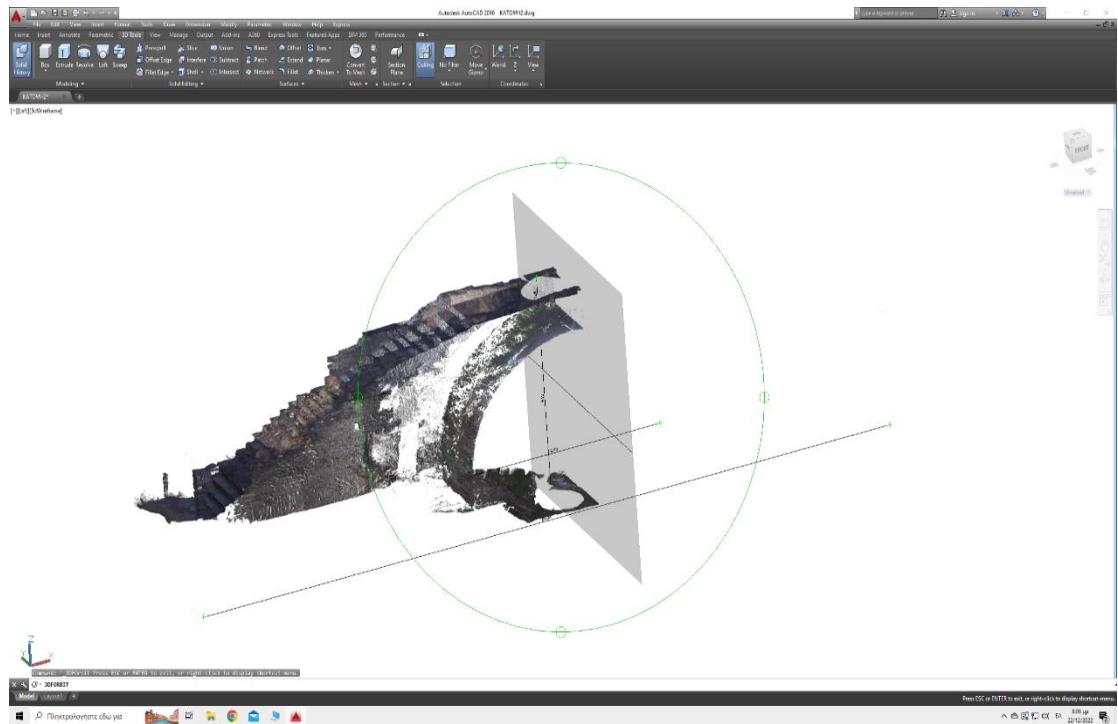


Εικόνα 7.9: Αποψη γεφυριού Στοιχειωμένης (σε περιβάλλον Autocad)

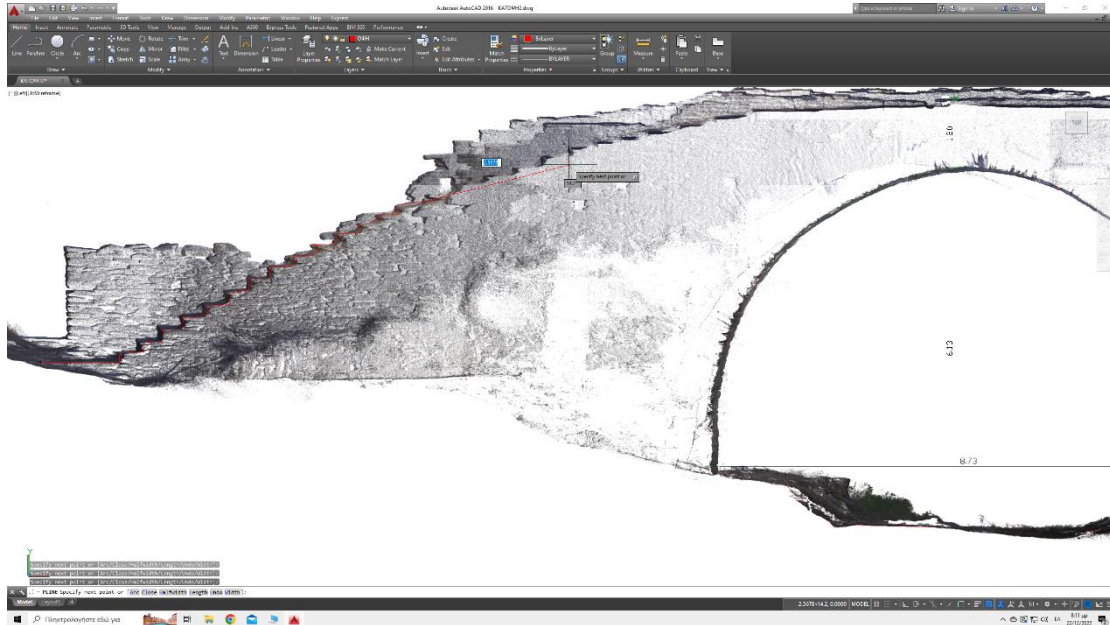




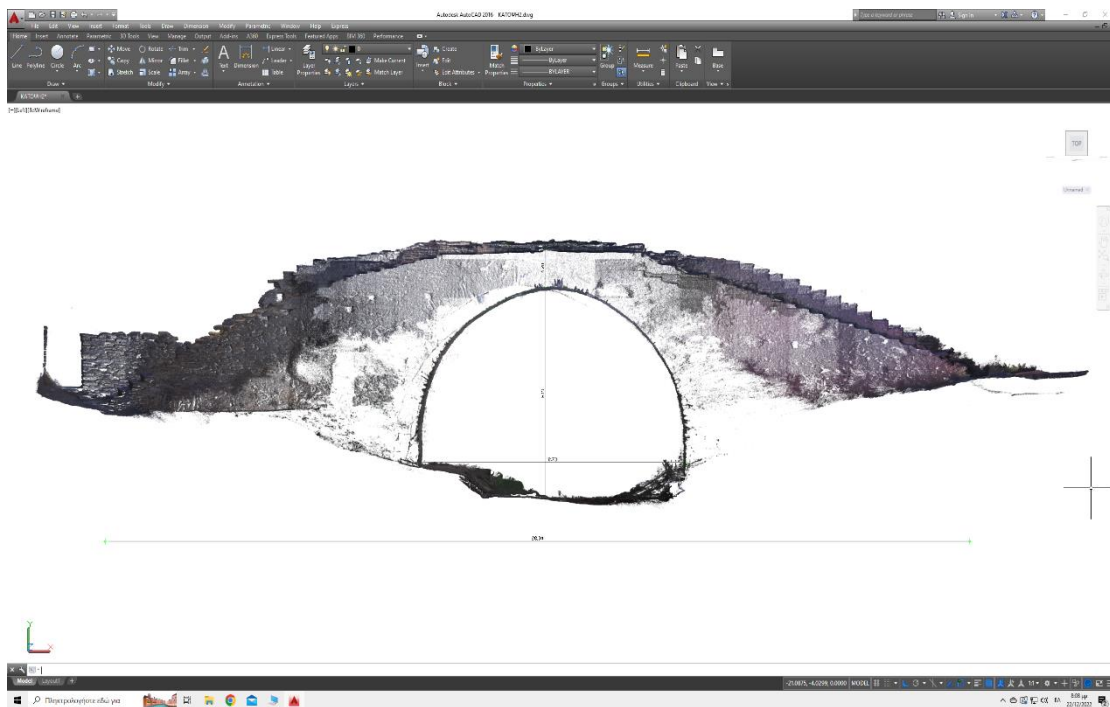
Εικόνα 7.10: Άποψη γεφυριού Στοιχειωμένης (σε περιβάλλον Autocad)



Εικόνα 7.11: Εγκάρσια τομή γεφυριού Στοιχειωμένης (σε περιβάλλον Autocad)

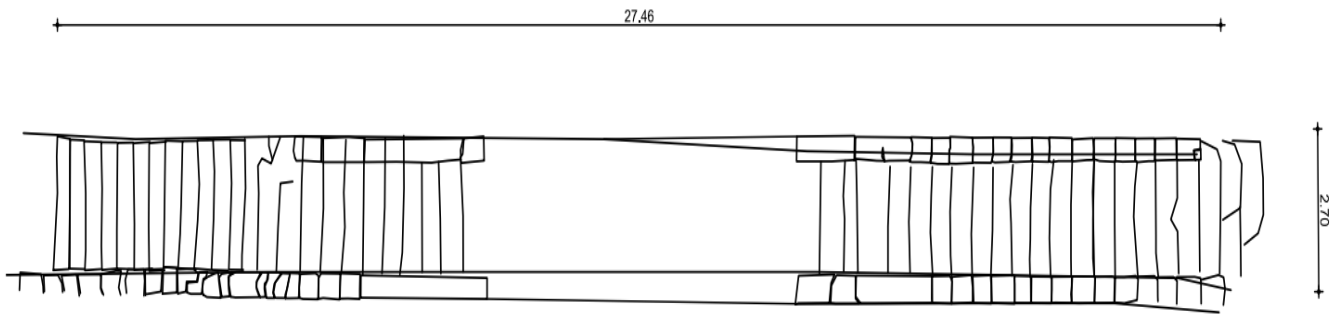


Εικόνα 7.12: Τμήμα όψης γεφυριού Στοιχειωμένης (σε περιβάλλον Autocad)

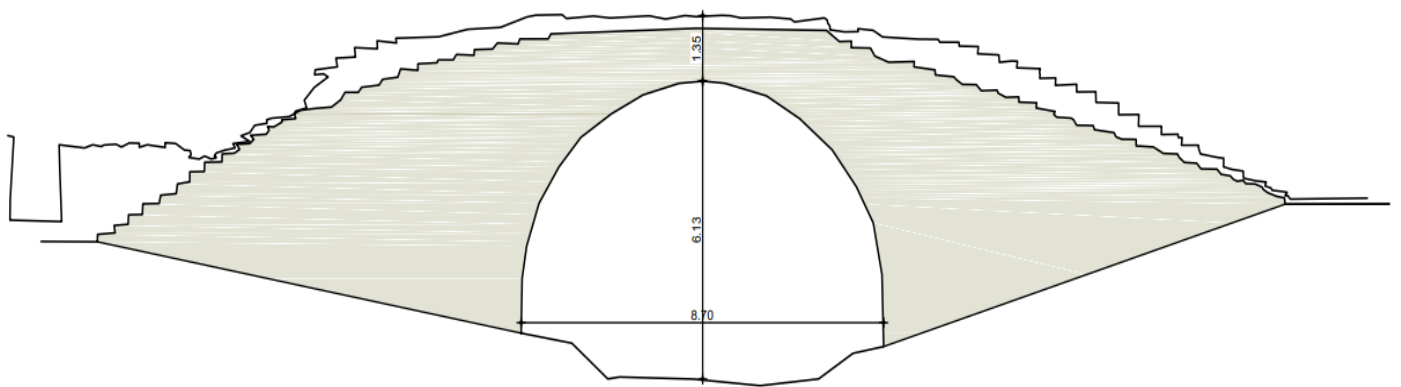


Εικόνα 7.13: Τμήμα όψης γεφυριού Στοιχειωμένης (σε περιβάλλον Autocad)

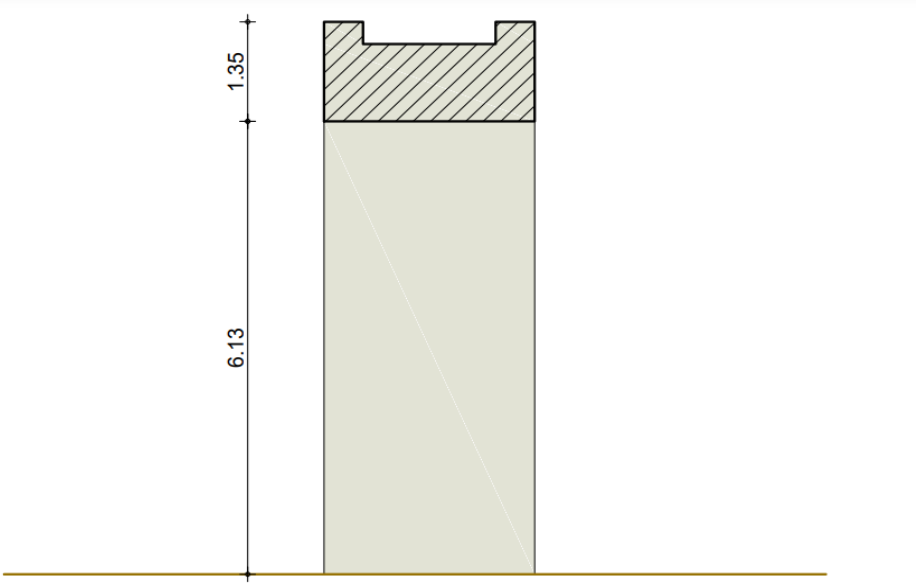
Από το τρισδιάστατο μοντέλο που προέκυψε για το γεφύρι Στοιχειωμένης μπορούμε να το εντάξουμε σύμφωνα με τον Πίνακα 1 τυπολογίας των γεφυριών στα γεφύρια με μορφολογία άντυγος ημικυκλική και στο εκφορικό σύστημα. Εκατέρωθεν του γεφυριού υπήρχε πυκνή βλάστηση με αποτέλεσμα να μη μπορούν να αποτυπωθούν με ακρίβεια οι όψεις του γεφυριού. Επίσης για τον ίδιο λόγο ήταν δύσκολη η πρόσβαση εντός του ποταμού με σκοπό την αποτύπωση του κάτω μέρους του καθώς και της εξασφάλισης ιδανικών επικαλυπτόμενων περιοχών μεταξύ των σαρώσεων. Το τελικό σφάλμα του μοντέλου είναι 0.008 m σύμφωνα με την παρακάτω αναφορά.



КАТОЧН



ОУН



ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΤΟΜΗ



**Cyclone REGISTER 360**  
Registration Report



Δεκ 18, 2022

Certified by:



SiteMap 1

### Overall Quality

#### Error Results for Bundle 1

Setup Count: 8  
Link Count: 7  
Strength: 48 %  
Overlap: 25 %

|                           |                  |
|---------------------------|------------------|
| Bundle Error<br>0.008 m ✓ |                  |
| Overlap<br>25 % ✓         | Strength<br>48 % |
| Cloud-to-Cloud            | Target Error     |

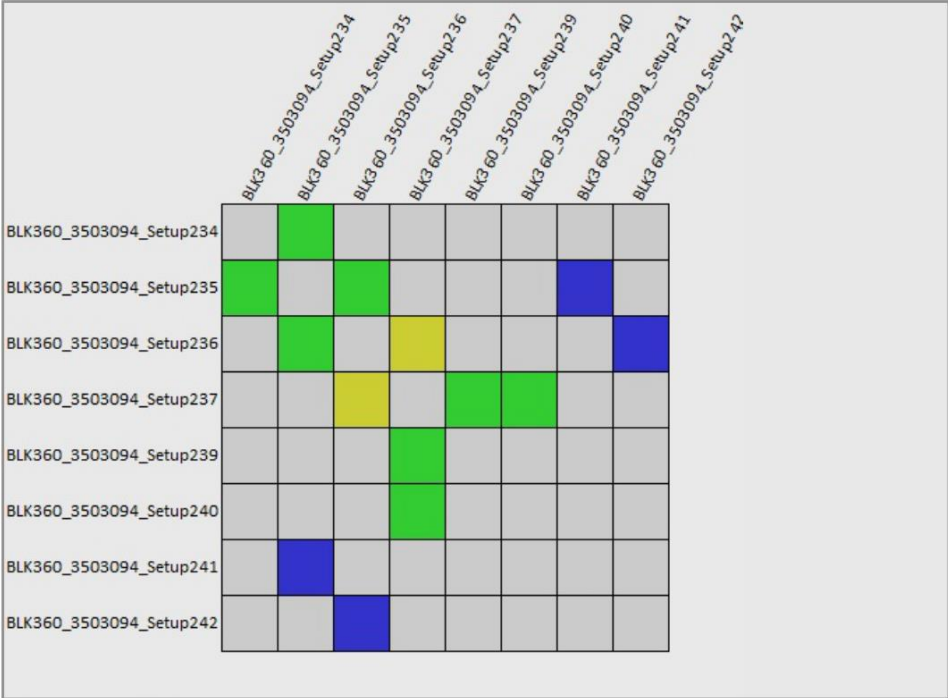
0.008 m ✓

Max error of 0.015 m.

Max error of 0.020 m.

Error greater than 0.020 m.

Link-Quality Matrix #1 -



## Link Error Results

### 1 Overview

| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                 | Overlap | Abs. Mean Error |
|-----------|-------------------------|-------------------------|---------|-----------------|
| Link 2    | BLK360_3503094_Setup234 | BLK360_3503094_Setup235 | 40 %    | 0.008 m         |
| Link 4    | BLK360_3503094_Setup236 | BLK360_3503094_Setup235 | 30 %    | 0.010 m         |
| Link 6    | BLK360_3503094_Setup236 | BLK360_3503094_Setup237 | 19 %    | 0.009 m         |
| Link 7    | BLK360_3503094_Setup239 | BLK360_3503094_Setup237 | 25 %    | 0.008 m         |
| Link 8    | BLK360_3503094_Setup237 | BLK360_3503094_Setup240 | 24 %    | 0.008 m         |
| Link 9    | BLK360_3503094_Setup235 | BLK360_3503094_Setup241 | 36 %    | 0.000 m         |
| Link 10   | BLK360_3503094_Setup236 | BLK360_3503094_Setup242 | 1 %     | 0.000 m         |

### 2 Details

| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                      | Overlap                   | Abs. Mean Error      |
|-----------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Link 2    | BLK360_3503094_Setup234 | BLK360_3503094_Setup235      | 40 %                      | 0.008 m              |
|           |                         | <b>Cloud to Cloud Target</b> | <b>Mean Target Error:</b> | <b>0.008 m</b><br>-- |

| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                      | Overlap                   | Abs. Mean Error      |
|-----------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Link 4    | BLK360_3503094_Setup236 | BLK360_3503094_Setup235      | 30 %                      | 0.010 m              |
|           |                         | <b>Cloud to Cloud Target</b> | <b>Mean Target Error:</b> | <b>0.010 m</b><br>-- |

| Link Name | Setup 1                 | Setup 2                      | Overlap                   | Abs. Mean Error      |
|-----------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Link 6    | BLK360_3503094_Setup236 | BLK360_3503094_Setup237      | 19 %                      | 0.009 m              |
|           |                         | <b>Cloud to Cloud Target</b> | <b>Mean Target Error:</b> | <b>0.009 m</b><br>-- |

| Link Name | Setup 1                     | Setup 2                     | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 7    | BLK360_3503094_S<br>etup239 | BLK360_3503094_S<br>etup237 | 25 %               | 0.008 m         |
|           |                             | Cloud to Cloud              |                    | 0.008 m         |
|           |                             | Target                      | Mean Target Error: | --              |

| Link Name | Setup 1                     | Setup 2                     | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 8    | BLK360_3503094_S<br>etup237 | BLK360_3503094_S<br>etup240 | 24 %               | 0.008 m         |
|           |                             | Cloud to Cloud              |                    | 0.008 m         |
|           |                             | Target                      | Mean Target Error: | --              |

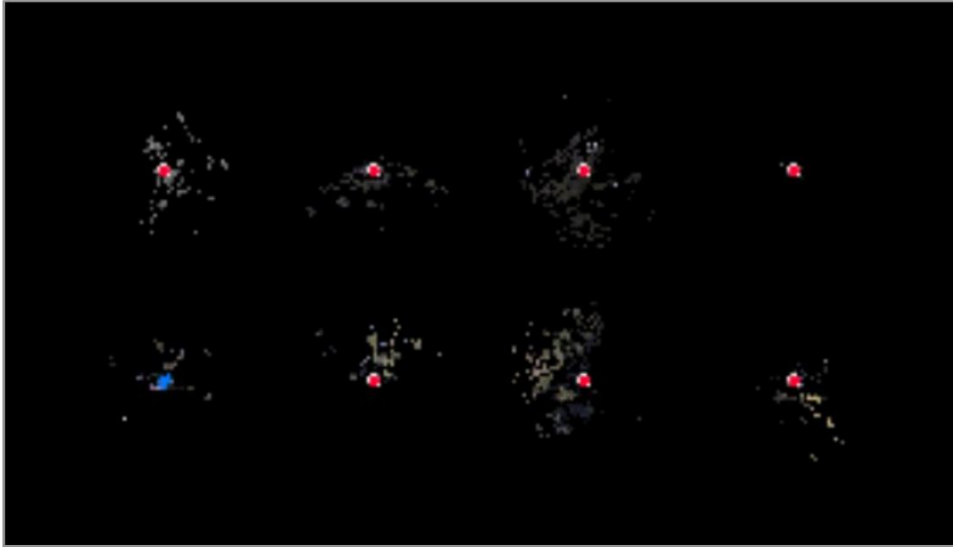
| Link Name | Setup 1                     | Setup 2                     | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 9    | BLK360_3503094_S<br>etup235 | BLK360_3503094_S<br>etup241 | 36 %               | 0.000 m         |
|           |                             | Cloud to Cloud              |                    | 0.000 m         |
|           |                             | Target                      | Mean Target Error: | --              |

| Link Name | Setup 1                     | Setup 2                     | Overlap            | Abs. Mean Error |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| Link 10   | BLK360_3503094_S<br>etup236 | BLK360_3503094_S<br>etup242 | 1 %                | 0.000 m         |
|           |                             | Cloud to Cloud              |                    | 0.000 m         |
|           |                             | Target                      | Mean Target Error: | --              |



## Graphics

---



ProjectIcon

## Κεφάλαιο 8ο. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

**Αικατερίνη Ρεβιθιάδου – Τσότσου**, Λίθινες τοξωτές γέφυρες της Άνδρου, Καΐρειος βιβλιοθήκη (2015)

**Νίκος Βασιλόπουλος**, Λατινοκρατία στην Άνδρο, Κάστρα Πύργοι Εκκλησίες και Φέουδα (2015)

**Ενάνδρο**, ηλεκτρονική εφημερίδα enandro.gr

<https://el.wikipedia.org/wiki/Ανδρος>

<https://andros-guide.gr/ανδρος>

**Νικόλαος Απ. Λιανός**, Η χρήση της τρισδιάστατης ψηφιακής μεθοδολογίας, στη μελέτη, προστασία και ανάδειξη μνημείων και ιστορικών συνόλων.

**Ερευνητικό Κέντρο Καινοτομίας στις Τεχνολογίες της Πληροφορικής των Επικοινωνιών και της Γνώσης**, Γεώργιος Παυλίδης Βασίλειος Σεβετλίδης Μαρία Χαραλαμπίδου, Μέθοδοι τρισδιάστατης ψηφιοποίησης αντικειμένων και χώρων (2014)

**Τοκμακίδης Κ.**, Αποτυπώσεις Μνημείων, Α.Π.Θ., Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας (2004)

**Κονσουλά Α.**, Τρισδιάστατη αποτύπωση στο Γενί Τζαμί Θεσσαλονίκης με σαρωτή Laser, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Α.Π.Θ., Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Δ.Π.Μ.Σ. Προστασία συντήρηση και αποκατάσταση μνημείων πολιτισμού (2012)

**Τσιούκας Β.**, Χρήση Νέων Τεχνολογιών στην 3D αποτύπωση μνημείων και χώρων (2005)

**Μπουρεζής Φώτης**, Διερεύνηση Ακριβούς Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Μνημείων με Χαμηλό Κόστος, Εφαρμογή στο Γεφύρι της Καρύταινας, Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ (2016)

**Barber D., Mills J., and Andrews D.**, 3D Laser Scanning for Heritage. Advice and Guidance to Users on Laser Scanning in Archaeology and Architecture. English Heritage Publishing (2011)

**Leica Geosystems**, Ανάκτηση από Leica RTC360 3D Laser Scanner: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc>

**Καραδήμου Α.**, Νόμος + Φύση. Ανάκτηση από Η ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΚΙΝΗΤΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΣΤΑ ΕΥΡΩΠΑΪΚΑ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗ ΚΕΙΜΕΝΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ: <https://nomosphysis.org.gr/18675/i-prostasia-ton-xoron-kai-ton-akiniton-mnimeion-staeyropaika-kai-diethni-keimena-prostasias-tis-politistikis-klironom> (2018, Νοέμβριος 16).

Ν.Κριθαράς, Χ.Κριτσιωτάκης, Ε.Μπακάλη, Μ.Παπακώστα, Α.Γεωργόπουλος, Δ.Μπαλοδήμος, Γεωμετρική τεκμηρίωση και τρισδιάστατη φωτορεαλιστική απεικόνιση του πέτρινου τοξωτού γεφυριού του Κοκκόρου ή Νούτσου στο Δήμο Κεντρικού Ζαγορίου (1999), [https://www.giannena-e.gr/Giannena/Gefyri\\_Kokorou\\_Geometriki\\_Tekmiriosi.aspx](https://www.giannena-e.gr/Giannena/Gefyri_Kokorou_Geometriki_Tekmiriosi.aspx)

Androshistoria, T1 & T3, Νικόλαος Βασιλόπουλος

<https://www.cyark.org>

<https://openheritage3d.org>