



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**Γεωδαιτική τεκμηρίωση μνημείων. Η περίπτωση του παραδοσιακού
νερόμυλου και γεφυριού στο Δολό Πωγωνίου**

Συγγραφέας

Βασίλης Μπέκος-Ρόκος

ΑΜ: 13091

Επιβλέπων:

Βασίλειος Παγούνης

Αθήνα, Μάρτιος 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF SURVEYING AND GEOINFORMATICS

Diploma Thesis

**Geodetic documentation of monuments. The case of the
traditional watermill and bridge at Dolo Pogoniou**

Student name and surname: Vasileios Bekos

Registration Number: 13091

Supervisor name and surname:

Vasileios Pagounis

Athens, March 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**«Γεωδαιτική τεκμηρίωση μνημείων. Η περίπτωση του
παραδοσιακού νερόμυλου και γεφυριού στο Δολό Πωγωνίου»**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Βασίλειος Παγούνης	Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.	
2	Δημήτριος Αναστασίου	Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.	
3	Ευαγγελία Πέππα	Επιστημονικός Συνεργάτης ΠΑ.Δ.Α.	

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό
στο docs.gov.gr/validate



Κωδικός εγγράφου: m-wxrhBnD1JFAnXys41Z5Q

: 1/1

Υπογραφή:
ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΠΕΠΠΑ
Πατρώνυμο: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΑΦΜ: 043465478

Ημ. Υπογραφής: 29/03/2023 19:27:47

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Μπέκος-Ρόκος Βασίλειος του Ελευθερίου, με αριθμό μητρώου 13091 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

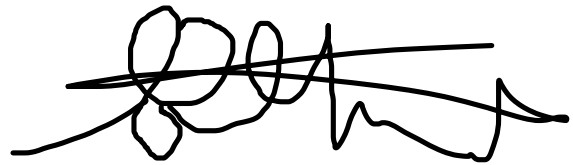
«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό 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».

**Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι 25/03/2023 και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή*

Ο Δηλών

Βασίλειος Μπέκος-Ρόκος



***Παγούνης Βασίλειος Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.**

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

**** Σε εξαιρετικές περιπτώσεις και μετά από αιτιολόγηση και έγκριση του επιβλέποντα, προβλέπεται χρονικός περιορισμός πρόσβασης (embargo) 6-12 μήνες. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υπογράψει ψηφιακά ο επιβλέπων καθηγητής, για να γνωστοποιεί ότι είναι ενημερωμένος και συναινεί. Οι λόγοι χρονικού αποκλεισμού πρόσβασης περιγράφονται αναλυτικά στις πολιτικές του Ι.Α. (σελ. 6):***

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

.....
© **Copyright** Μπέκος-Ρόκος Βασίλειος, 2023

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.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πολιτιστική κληρονομιά ενός τόπου ή μιας χώρας γενικότερα αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ιστορίας της, η δε διαφύλαξη και ανάλυσή της χαρακτηρίζει την ταυτότητα και το επίπεδό της. Βασική προϋπόθεση μεταξύ άλλων μιας αναπτυγμένης χώρας είναι να θέτει σε προτεραιότητα την προστασία των μνημείων της, κάθε εποχής και μορφής. Οι σημαντικές διαδικασίες της αποκατάστασης και συντήρησης απαιτούν πρώτα την λεπτομερή καταγραφή τους. Μια καταγραφή σε επίπεδο χωρικό επιτυγχάνεται μέσω της γεωμετρικής τεκμηρίωσης, η οποία επιτυγχάνει ολοένα και πιο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα μέσω των τεχνολογιών που αναπτύσσονται στον επιστημονικό τομέα της τοπογραφίας-γεωδαισίας. Η δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων που απεικονίζουν το κάθε μνημείο και τα σχέδια που μπορούν να παραχθούν μέσω αυτών των μοντέλων και να αναπαραστήσουν την πληροφορία με χωρική υπόσταση και ακρίβεια, είναι το πλέον αναγκαίο και υψίστης σημασίας κομμάτι της κατανόησης και άρα διαφύλαξης και διαχείρισης της πολιτιστικής κληρονομιάς γενικά και ειδικότερα του κάθε μνημείου ξεχωριστά.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αντικείμενο μελέτης αποτελεί η γεωμετρική τεκμηρίωση του πέτρινου γεφυριού και νερόμυλου που βρίσκονται βόρεια της θέσης του χωριού Δολό του νομού Ιωαννίνων. Πέρα από την ανάδειξή τους σαν μνημεία της περιοχής, αξία βρίσκεται και στο γεγονός ότι πρόκειται για κατασκευές παραδοσιακά χτισμένες, κλασικό παράδειγμα της τεχνικής της ηπειρώτικης γεφυροποιίας και τοιχοποιίας με πέτρα.

Η διαδικασία της γεωμετρικής τεκμηρίωσης εν προκειμένω έγινε με την χρήση επίγειου σαρωτή laser. Μέσω αυτής της τεχνικής κατέστη εφικτή η γεωμετρική τεκμηρίωση των δύο μνημείων, με τη μορφή τρισδιάστατου μοντέλου αρχικά νέφους σημείων και στη συνέχεια αρχιτεκτονικών σχεδίων (κάτοψη, όψη, τομή). Ειδικότερα, παρουσιάζεται η διαδικασία λήψης δεδομένων με τον επίγειο σαρωτή Leica BLK360 και η επακόλουθη επεξεργασία αυτών για να ολοκληρωθεί η γεωμετρική του τεκμηρίωση, αφού πρώτα επεξηγηθούν οι ορισμοί και οι διαδικασίες αναφορικά με τον τρόπο αποτύπωσης, το αντικείμενο προς τεκμηρίωση, την ιστορία και πρόσβαση της τοποθεσίας του και πρωτίστως η απάντηση στο ερώτημα γιατί η αποτύπωση με σαρωτή laser αποτελεί την πλέον σύγχρονη και κατάλληλη μέθοδο αποτύπωσης.

ABSTRACT

The cultural heritage of a place or a country in general is an integral part of its history, and its preservation and analysis characterises its identity and its level. One of the basic requirements of a developed country is that it should give priority to the protection of its monuments, in every period and in every form. The important processes of restoration and conservation require first of all their detailed recording. A spatial recording is achieved through geometrical documentation, which is achieving increasingly accurate and reliable results through the technologies developed in the scientific field of topography-geodesy. The creation of three-dimensional models representing each monument and the drawings that can be produced using these models and that can represent the information with spatial substance and precision is the most necessary and essential part of understanding and therefore preserving and managing cultural heritage in general and, in particular, each monument individually.

In this thesis, the object of study is the geometric documentation of the stone bridge and watermill located north of the village of Dolo in the prefecture of Ioannina. Apart from their promotion as monuments of the region, their value lies in the fact that they are traditionally built structures, a classic example of the technique of continental bridge building and stone masonry.

The process of geometric documentation in this case was carried out using a ground-based laser scanner. Through this technique it was possible to visualize the two monuments in the form of a 3D model, first as a point cloud and then as architectural drawings (plan, elevation, section). In particular, the process of data acquisition with the Leica BLK360 ground scanner and the subsequent processing of these data to complete the geometric documentation is presented, after first explaining the definitions and procedures regarding the imaging method, the object to be documented, the history and access to its location and, above all, the answer to the question why laser scanner imaging is the most modern and appropriate method of imaging.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής κύριο Παγούνη Βασίλειο, τόσο για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, όσο και για την απεριόριστη υπομονή και κατανόηση που επέδειξε κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο μου Αντρέα για την κοινή μας πορεία και την συζήτηση των προβληματισμών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και ειδικά τον αδερφό μου για την συμπαράσταση του όλων αυτών τον καιρό της φοίτησής μου στο Τμήμα Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής του ΠΑ.Δ.Α.

Πίνακας Περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Πρόλογος.....	1
1.2 Αντικείμενο και Σκοπός της Εργασίας	2
1.3 Δομή της Εργασίας.....	2
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	4
2.1 Η τρισδιάστατη σάρωση και η συμβολή της στην καταγραφή των μνημείων	4
2.2 Το Ρωμαϊκό ωδείο Πατρών	5
2.3 Το Θέατρο του Διονύσου και το Ωδείο του Περικλέους	6
2.4 Ο Ιερός Ναός της Αγίας Σοφίας στη Δράμα	6
2.5 Ο Ιερός Ναός του Αρχάγγελου Μιχαήλ στον Πεδουλά Κύπρου	7
2.6 Το Φρούριο Α'Famosa στη Μελάκα της Μαλαισίας.....	8
3. ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER	10
3.1 Αρχές Λειτουργίας	10
3.2 Κατηγορίες Σαρωτών Laser	14
3.2.1 Laser Scanner τριγωνισμού	15
3.2.2 Laser Scanner φάσης	16
3.2.3 Laser Scanner παλμού	17
3.3 Σφάλματα επίγειων σαρωτών laser	18
3.3.1 Σφάλματα χρήστη.....	18
3.3.2 Κατασκευαστικά σφάλματα σαρωτών laser.....	19
3.3.3 Σφάλματα ακτίνας laser.....	19
3.3.4 Σφάλματα αντικειμένου μελέτης.....	20
4. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ.....	22
4.1 Ορισμός Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης	22
4.2 Μέθοδοι Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης.....	24

4.2.1 Τοπομετρική (εμπειρική) μέθοδος	25
4.2.2 Τοπογραφική μέθοδος	26
4.2.3. Φωτογραμμετρική μέθοδος	29
4.2.4 Γεωδαιτικές μέθοδοι ακριβείας	30
5. ΠΕΤΡΙΝΗ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΑ & ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ	33
5.1 Πέτρινη παραδοσιακή γεφυροποιία	33
5.1.1 Ιστορική αναδρομή πέτρινων γεφυριών	34
5.1.2 Οι μάστορες των πέτρινων γεφυριών	37
5.1.3 Χαρακτηριστικά πέτρινων γεφυριών	39
5.1.4 Κατασκευή πέτρινου γεφυριού.....	46
5.2 Παραδοσιακή πέτρινη Τοιχοποιία.....	51
5.2.1 Τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους.....	51
5.2.2 Χαρακτηριστικά πέτρινης παραδοσιακής τοιχοποιίας	57
6. Ο ΠΕΤΡΙΝΟΣ ΝΕΡΟΜΛΥΟΣ ΚΑΙ ΤΟ ΓΕΦΥΡΙ ΤΗΣ ΝΟΝΟΥΛΩΣ ΣΤΟ ΔΟΛΟ ΠΩΓΩΝΙΟΥ	62
6.1 Το Δολό.....	62
6.2 Το πέτρινο γεφύρι της Νονούλας	67
6.3 Οι διαδικτυακές πύλες καταγραφής και περιήγησης της ελληνικής πολιτισμικής κληρονομιάς	72
7. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	75
7.1 Μέθοδος προσέγγισης και σάρωσης των μνημείων.....	75
7.2 Συνένωση νεφών σημείων – δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων	77
8. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΠΕΤΡΙΝΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΙΟΥ ΤΗΣ ΝΟΝΟΥΛΩΣ	83
8.1 Επεξεργασία νεφών σημείων	83
8.2 Παράρτημα σχεδίων.....	86
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	87

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.2.1: Μοντέλο νέφους σημείων Ρωμαϊκού ωδείου Πάτρας (Αρχοντάκης 2012), Σελίδα 5

Εικόνα 2.2.2: Λεπτομέρεια ψηφιδωτού Ρωμαϊκού ωδείου Πάτρας από νέφος σημείων. (Βλάχου 2012), Σελίδα 5

Εικόνα 2.3.1: Λεπτομέρεια των πετρών επί του ΒΑ Αναλήμματος του Διονυσιακού Θεάτρου (Κατωγιάννης 2013), Σελίδα 6

Εικόνα 2.4.1: Βόρεια Όψη νέφους σημείων και παραγόμενου σχεδίου I.N. Αγίας Σοφίας, Δράμα (Αντωνιάδη 2020), Σελίδα 7

Εικόνα 2.5.1: Συνενωμένο νέφος σημείων εξωτερικά του ναού (Γαβριήλ 2015), Σελίδα 8

Εικόνα 2.6.1: Εξωτερική όψη φρουρίου A'Famosa, Malaysia, (Chee Wei 2010), Σελίδα 9

Εικόνα 2.6.2: Τρισδιάστατο μοντέλο φρουρίου A'Famosa, Malaysia, (Chee Wei 2010), Σελίδα 9

Εικόνα 3.1.1: Επίγειοι Σαρωτές Laser παλαιότερης γενιάς κυκλοφορίας 2007-2010
α) Leica ScanStation 2 β) Leica ScanStation C10 γ) FARO Photon, Σελίδα 11

Εικόνα 3.1.2: Σύγχρονοι Επίγειοι Σαρωτές Laser α) Leica RTC360 β) Leica BLK360
γ) FARO Focus, Σελίδα 11

Εικόνα 3.1.3: Ο επίγειος σαρωτής laser Trimble X7 και η ταμπλέτα Trimble T100, Σελίδα 13

Εικόνα 3.1.4: Εφαρμογή Leica Cyclone Filed 360 σε συμβατό tablet. Παρακολούθηση όδευσης σαρώσεων στο περιβάλλον των μετρούμενων νεφών σημείων, Σελίδα 13

Εικόνα 3.1.5: Εφαρμογή Leica Cyclone Filed 360 σε συμβατό κινητό τηλέφωνο. Παρακολούθηση όδευσης σαρώσεων στο περιβάλλον των ληφθείσων φωτογραφιών, Σελίδα 14

Εικόνα 3.2.1: Κατηγοριοποίηση επίγειων σαρωτών laser (Συμεωνίδης, 2007), Σελίδα 15

Εικόνα 3.2.2: Αρχή λειτουργίας Triangulation based measurement Laser Scanner (Παπακόστας 2011), Σελίδα 16

Εικόνα 3.2.3: Οι δύο διαφορετικές εκπεμπόμενες φέρουσες συχνότητες από τον σαρωτή προς το αντικείμενο, Σελίδα 17

Εικόνα 3.3.1: Η κωνοειδής φύση της ακτίνας laser και η διόρθωσή του επί της επιφάνειας πρόσπτωσης, Σελίδα 20

Εικόνα 4.2.1: α) Ψηφιακό όργανο χειρός μέτρησης απόστασης με χρήση laser της εταιρείας Leica β) Κλασική μετροταινία γ) Μεταλλικό μέτρο, Σελίδα 25

Εικόνα 4.2.2: Χρήση μετροταινίας και νήματος στάθμης. Αποτύπωση Ρωμαϊκής γέφυρας Πατρών, Σελίδα 26

Εικόνα 4.2.3: Μετρήσεις φωτοσταθερών με τον ΟΓΣ Leica TCRP1202 επί της εσωτερικής κιονοστοιχίας της δυτικής πλευράς του Παρθενώνα με σκοπό την αποκατάστασή τους. (Φεβρ. 2022, προσωπικό αρχείο), Σελίδα 28

Εικόνα 4.2.4: Σαρωμένο μοντέλο με απόδοση φωτοϋφής τοποθετημένο στο περιβάλλον της φωτογραφίας (Γεωμετρική τεκμηρίωση του έργου «Εγκιβωτισμένη Έκρηξη». Αιγάλεω 2019, προσωπικό αρχείο), Σελίδα 30

Εικόνα 4.2.5: Ο ΟΓΣ και επίγειος σαρωτής laser Trimble SX12, Σελίδα 31

Εικόνα 4.2.6: Ο γεωδαιτικός ρομποτικός εικονοσταθμός Trimble S9 με την ενσωματωμένη φωτογραφική κάμερα να διακρίνεται κάτω από το τηλεσκόπιο, Σελίδα 32

Εικόνα 4.2.7: Ο γεωδαιτικός πολυσταθμός Leica Nova MS60 SmartStation με την ενσωματωμένη φωτογραφική κάμερα να διακρίνεται πάνω από το τηλεσκόπιο και τον δέκτη GNSS στην κορυφή, Σελίδα 32

Εικόνα 5.1.1: Γέφυρα του Αγίου Άγγελου, Ποταμός Τίβερης, Ρώμη. Διακρίνονται τα πλήρη ημικυκλικά τόξα, Σελίδα 34

Εικόνα 5.1.2: Τύποι Ρωμαϊκών γεφυριών (Γαλερίδης, 1995), Σελίδα 35

Εικόνα 5.1.3: Το γεφύρι του Κοντοδήμου ή Λαζαρίδη κατασκευής 1753. Διακρίνονται οι γενέσεις επί των οχθών και το καμπύλο κατάστρωμα εξοπλισμένο με αρκάδες ασφαλείας, Σελίδα 37

Εικόνα 5.1.4: Ηπειρώτικο μπουλούκι επί τω έργω. Επισκευή γέφυρας Κόνιτσα, Αωός ποταμός, 1913, Σελίδα 38

Εικόνα 5.1.5: Μονότοξο Γεφύρι Κοκκόρου, Ζαγοροχώρια. Το Τόξο. Το βασικό κατασκευαστικό χαρακτηριστικό των γεφυριών της εποχής, Σελίδα 40

Εικόνα 5.1.6: Μονότοξο γεφύρι του Ατσιλόχου στον ποταμό Λούσιο με το χαρακτηριστικό οξύκορφο ισλαμίζον τόξο, Σελίδα 41

Εικόνα 5.1.7: Χαρακτηριστικά στοιχεία πέτρινου τοξωτού γεφυριού (πηγή: Τα πέτρινα τοξωτά γεφύρια της Ελλάδας, Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Μακρινίτσα, Δεκέμβριος 2007), Σελίδα 42

Εικόνα 5.1.8: Γεφύρι Παλιοκαρυάς. Τόξο αρχόμενο πιο ψηλά από τη γένεσή του (Πετρονώτης, 2012), Σελίδα 43

Εικόνα 5.1.9: Γεφύρι Σαρακίνας, Πηνειός ποταμός. Διακρίνονται τα τρία τεταρτοκυκλικά ανακουφιστικά τόξα και το ένα ισλαμίζον (πηγή: Γαλερίδης, Θεσσαλικά Γεφύρια, 1995), Σελίδα 44

Εικόνα 5.1.10: Το τετράτοξο πέτρινο γεφύρι της Άρτας. Διακρίνονται τα τόξα μεταβλητής ακτίνας, τα ανακουφιστικά τόξα σε κάθε βάθρο και τα βάθρα με τα έμβολά τους, Σελίδα 45

Εικόνα 5.1.11: Το τρίτοξο γεφύρι Πλακίδα στο κεντρικό Ζαγόρι, εφοδιασμένο με προεξοχές επί των βάθρων και αρκάδες επί του καταστρώματος αλλά χωρίς ανακουφιστικά τόξα, Σελίδα 45

Εικόνα 5.1.12: Αρχικά βήματα κατασκευής τοξωτού γεφυριού (Πετρονώτης, 2012), Σελίδα 47

Εικόνα 5.1.13: Βήματα καλούπωσης τοξωτού γεφυριού. (Πετρονώτης, 2012), Σελίδα 48

Εικόνα 5.1.14: Τοποθέτηση κλειδιού ή σφήνας στην καμάρα (Πετρονώτης, 2012), Σελίδα 49

Εικόνα 5.2.1: Σειρά ξερολιθιών σε υψομετρική διαφορά, Σελίδα 52

Εικόνα 5.2.2: Σκαρίφημα λαξευτής τοιχοποιίας, Σελίδα 53

Εικόνα 5.2.3: Ενδεικτική αργολιθοδομή, Σελίδα 54

Εικόνα 5.2.4: Σκαρίφημα κροκαλολιθοδρομής, Σελίδα 55

Εικόνα 5.2.5: Σκαρίφημα ενδεικτικής πλακολιθοδομής (Καραντώνη, 2012), Σελίδα 55

Εικόνα 5.2.6: Κατασκευή χυτής τοιχοποιίας του νότιου τοίχου του Ρωμαϊκού ωδείου της Πάτρας, Σελίδα 56

Εικόνα 5.2.7: Ορθή αρμολόγηση λιθοδομής, Σελίδα 58

Εικόνα 5.2.8: Συμπαγής τοιχοποιία αριστερά και δεξιά τοιχοποιία με πυρήνα εφοδιασμένη με σύνδεσμο (Καραντώνη, 2012), Σελίδα 59

Εικόνα 5.2.9: Η δομή των λαξευμένων γωνιόλιθων, Σελίδα 60

Εικόνα 5.2.10: Όψη αργολιθοδομής και τα χαρακτηριστικά της στοιχεία (Καραντώνη, 2012), Σελίδα 61

Εικόνα 6.1.1: Η θέση του χωριού Δολό εντός της περιφερειακής ενότητας Ιωαννίνων, Σελίδα 62

Εικόνα 6.1.2: Τα διοικητικά όρια του Δήμου Πωγωνίου, Σελίδα 63

Εικόνα 6.1.3: Τα διοικητικά όρια του δημοτικού διαμερίσματος Πωγωνιανής εντός της Π.Ε. Ιωαννίνων, Σελίδα 63

Εικόνα 6.1.4: Ο Ι.Ν. του Αγίου Νικολάου και η πλατεία του στο Δολό, Σελίδα 64

Εικόνα 6.1.5: Τοπογραφικό σκαρίφημα του Δολού συντασσόμενο Σεπτέμβριο του 1995 (Υφαντής, 1996), Σελίδα 66

Εικόνα 6.2.1: Σήμανση καθοδήγησης προς το γεφύρι της Νονούλως, Σελίδα 67

Εικόνα 6.2.2: Πανοραμική άποψη του γεφυριού της Νονούλως και του πέτρινου νερόμυλου, Σελίδα 68

Εικόνα 6.2.3: Κατάντη όψη του πέτρινου γεφυριού και νερόμυλου της Νονούλως, Σελίδα 69

Εικόνα 6.2.4: Ο πέτρινος νερόμυλος δίπλα από το γεφύρι της Νονούλως, Σελίδα 70

Εικόνα 6.2.5: Σκαρίφημα τομής διάταξης νερόμυλου με εγκάρσια φτερωτή, Σελίδα 71

Εικόνα 6.2.6: Απόσπασμα χάρτη Αρχαιολογικού Κτηματολογίου, Σελίδα 73

Εικόνα 6.2.7: Χάρτης πύλης Οδυσσεύς, Σελίδα 74

Εικόνα 6.2.8: Πληροφορίες μνημείου από το Αρχαιολογικό Κτηματολόγιο. Τα στοιχεία του γεφυριού της Νονούλως, Σελίδα 74

Εικόνα 7.1.1: Ο σαρωτής laser Leica BLK360, Σελίδα 75

Εικόνα 7.1.2: «Τρύπα» μειωμένης πληροφορίας στο τρισδιάστατο μοντέλο του γεφυριού λόγω στάσης επί του σημείου, Σελίδα 77

Εικόνα 7.2.1: Το νέφος σημείων της σάρωσης από τη στάση S12. Διακρίνεται ότι έχει σαρωθεί η βορειοανατολική πλευρά του νερόμυλου και πόσα σημεία μετρήθηκαν, Σελίδα 79

Εικόνα 7.2.3: Η διαδοχική ένωση των νεφών σημείων μέχρι την δημιουργία του ενιαίου τρισδιάστατου μοντέλου για τον νερόμυλο και το γεφύρι της Νονούλως, Σελίδα 80

Εικόνα 7.2.4: Βορειοδυτική άποψη του ενιαίου νέφους σημείων του νερόμυλου, Σελίδα 81

Εικόνα 7.2.5: Ύπαρξη θορύβου επί του δυτικού εσωτερικού τοίχου, Σελίδα 81

Εικόνα 7.2.6: Απώλεια πληροφορίας επί του δυτικού εσωτερικού τοίχου, Σελίδα 82

Εικόνα 7.2.7: Νοτιοδυτική άποψη του ενιαίου νέφους σημείων του γεφυριού της Νονούλως, Σελίδα 82

Εικόνα 8.1.1: Ορισμός αξόνων επί του δυτικού τοίχου με σκοπό την σχεδίαση της όψης του, Σελίδα 84

Εικόνα 8.1.2: Το κόσμιμο της επιφάνειας σε περιβάλλον κάτοψης με σκοπό την σχεδίαση της δυτικής όψης του νερόμυλου, Σελίδα 84

Εικόνα 8.1.3: Το κόψιμο της επιφάνειας της εικόνας 8.1.2 σε περιβάλλον όψης, με απομονωμένη πλέον την επιφάνεια ενδιαφέροντος για την σχεδίαση της δυτικής όψης του νερόμυλου, Σελίδα 85

Εικόνα 8.1.4: Σημείωση επί του ενιαίου μοντέλου των κοψιμάτων επιφανειών που έχουν πραγματοποιηθεί, Σελίδα 86

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Πρόλογος

Το παραδοσιακά χτισμένο πέτρινο γεφύρι της Νονούλως και ο νερόμυλος που το συνοδεύει, βρίσκονται λίγο βόρεια από το χωριό Δολό στο Νομό Ιωαννίνων. Κατασκευάστηκαν το 1880, για να καλύψουν την ανάγκη διάβασης του υδάτινου ρέματος που χρησιμοποιούσαν όσοι μετακινούνταν από το Δολό προς τη Πωγωνιανή. Και τα δύο αποτελούν μνημείο και παράδειγμα της ηπειρώτικης πέτρινης παραδοσιακής γεφυροποιίας και τοιχοποιίας. Επίσης κατέχουν μια ιδιαίτερη θέση συναισθηματικά για τους τοπικούς κατοίκους, καθώς για τους προγόνους τους μιας και κάλυπτε με ασφάλεια πλέον μια ζωτική τους ανάγκη.

Η πολιτιστική κληρονομιά ενός τόπου είναι αναπόσπαστο κομμάτι της ιστορίας, μια μαρτυρία της ανθρώπινης συμπεριφοράς του παρελθόντος (Hanke & Grussenmyer, 2002). Γίνεται λοιπόν εύκολα αντιληπτό ότι είναι σημαντικό και πολύτιμο να διαφυλαχθεί και να διατηρηθεί ένα τοπικό πολιτιστικό μνημείο και η κληρονομιά του. Προς αυτή τη κατεύθυνση, έρχεται η παρούσα τεχνολογία και τα εργαλεία της για να συμβάλλει με την τεχνική κυρίως της τρισδιάστατης σάρωσης και γεωμετρικής τεκμηρίωσης με έμφαση στην ακρίβεια και την αξιοπιστία των παραγόμενων δεδομένων. Δεδομένα τα οποία περιλαμβάνουν τη γεωμετρική διάσταση του κάθε αντικειμένου στο σύνολό του και επεξεργάζονται μέσα από την τεχνική και τα όργανα τα οποία παρέχουν την τρισδιάστατη σάρωση.

Η αποτύπωση προσδιορίζει μετρητικά ένα μνημείο κατά μέγεθος και μορφή και το αποδίδει σε κλίμακα. Διερευνά τη δομή, τη λειτουργία του, τις συνθετικές του αρχές, τα υλικά και τις διάφορες οικοδομικές του φάσεις και είναι απαραίτητη προϋπόθεση, ώστε να ακολουθήσει η συντήρηση, αποκατάστασή του (Γιαννακούλα, 2018). Συγκεκριμένα αποτελεί προϋπόθεση η γεωμετρική τεκμηρίωση για το επόμενο βήμα της συντήρησης ή/και αποκατάστασης.

Ένα μνημείο μπορεί να αποκαθίσταται και να προστατεύεται, μόνο αν έχει τεκμηριωθεί πλήρως η ανάπτυξή του σε σχέση με το περιβάλλον γύρω του και αν αποθηκεύονται οι πληροφορίες του (Hanke & Grussenmyer, 2002). Σήμερα, η τρισδιάστατη ψηφιακή καταγραφή του είναι το «πάγωμα» της υπάρχουσας κατάστασης του, τη στιγμή της τεκμηρίωσης και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να πραγματοποιηθεί συγκριτική μελέτη ερμηνείας και παρακολούθησης της εξέλιξης των

φθορών του και να εξασφαλιστεί η μελλοντική επεξεργασία των δεδομένων του (Λιανός, 2017).

1.2 Αντικείμενο και Σκοπός της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία φέρει τον τίτλο: «Γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων. Η περίπτωση του πέτρινου νερόμυλου και γεφυριού στο Δολό Πωγωνίου.» Αναφέρεται στο πέτρινο Γεφύρι της Νονούλως και τον πέτρινο Νερόμυλο στην θέση Δολό του Νομού Ιωαννίνων, και έχει ως στόχο την γεωμετρική τεκμηρίωση και την αναλυτική τρισδιάστατη αναπαράσταση των δύο αυτών κατασκευών. Αυτό επιτυγχάνεται με την συλλογή δεδομένων μέσω μετρήσεων με σαρωτή laser και στην συνέχεια επεξεργασία και παρουσίαση αυτών με τα κατάλληλα λογισμικά προγράμματα.

1.3 Δομή της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από οκτώ κεφάλαια, καθένα με περιεχόμενο όπως αυτό αναφέρεται παρακάτω.

Κεφάλαιο 1

Στο πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά στο γεφύρι και νερόμυλο της Νονούλως και στη σημασία του για την πολιτιστική κληρονομιά του ως παραδοσιακές πέτρινα χτισμένες κατασκευές.

Κεφάλαιο 2

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται βιβλιογραφικά παραδείγματα ανάδειξης της πολιτιστικής κληρονομιάς μνημείων με την μέθοδο της τρισδιάστατης σάρωσης και την χρησιμότητα αυτής.

Κεφάλαιο 3

Το κεφάλαιο αυτό αναλύει αποκλειστικά τους επίγειους τρισδιάστατους σαρωτές (Laser Scanners) περιγράφοντας τους διάφορους τύπους αυτών, την

μεθοδολογία της τρισδιάστατης σάρωσης, την ακρίβεια των μετρήσεών τους και κυρίως τα σφάλματα και οι αιτίες τους που προκύπτουν από αυτές τις διαδικασίες.

Κεφάλαιο 4

Εδώ περιέχεται ο ορισμός και οι διάφορες μέθοδοι της Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

Κεφάλαιο 5

Περιλαμβάνει τις τεχνικές και την ιστορία της πέτρινης παραδοσιακής κατασκευής γεφυριών και κτιρίων.

Κεφάλαιο 6

Παρουσιάζονται τα πολιτιστικά στοιχεία και η πρόσβαση το χώρο του πέτρινου γεφυριού και γενικότερα για το χωριό Δολό και την γεωγραφική και ιστορική του θέση.

Κεφάλαιο 7

Αναπτύσσεται το ζήτημα της αποτύπωσης και γενικότερα των εργασιών πεδίου με σκοπό την συλλογή δεδομένων των δύο πέτρινων κατασκευών και τον τρόπο δημιουργίας του τρισδιάστατου μοντέλου.

Κεφάλαιο 8

Στο τελευταίο αυτό κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων, και η παραγωγή των εκάστοτε αρχιτεκτονικών σχεδίων.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Η τρισδιάστατη σάρωση και η συμβολή της στην καταγραφή των μνημείων

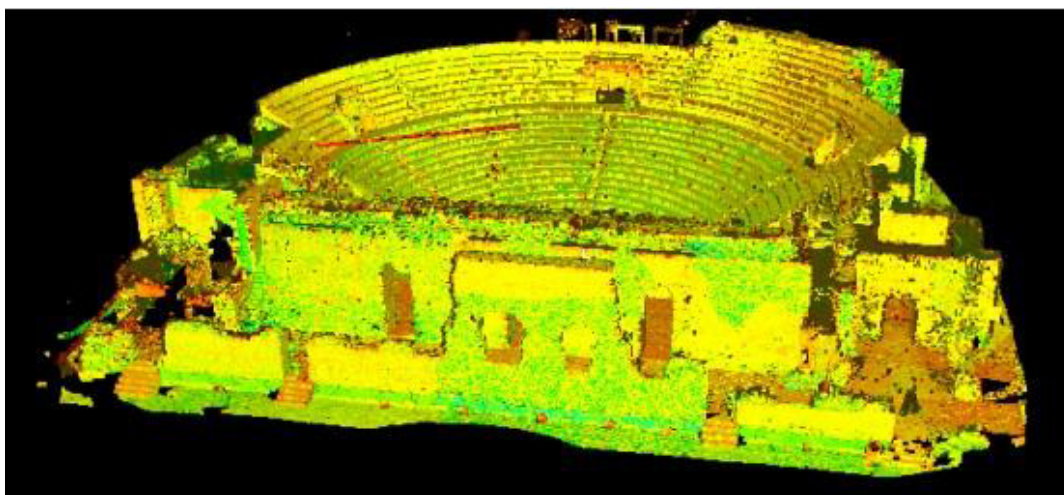
Η συλλογή δεδομένων με χρήση της τεχνολογίας της τρισδιάστασης σάρωσης laser είναι η πλέον διαδεδομένη για εργασίες που απαιτούν γρήγορη αλλά ταυτόχρονα ακριβής και αξιόπιστη αλλά και φθηνή σε κόστος. Αρχικά, η ταχύτητα εξασφαλίζει και το χαμηλό κόστος το οποίο κοστολογείται και σε ώρες εργασίας στο πεδίο. Γεγονός που προσθέτει και ευελιξία. Οι σαρωτές laser είναι όργανα με τεχνολογία που μπορούν και λαμβάνουν εκατομμύρια σημεία σε χρόνο λιγότερο της ώρας ανά θέση μέτρησης. Μάλιστα, η ίδια επιλογή θέσης ξεφεύγει από τις αγκυλώσεις περί σήμανσης οριζοντίωσης και κέντρωσης του παρελθόντος που επιφέρουν οι συμβατοί γεωδαιτικοί σταθμοί. Η μέθοδος δε βρίσκει απήχηση μόνο σε αρχαιολογικά ή νεότερα μνημεία, αλλά και κάθε είδους εργασία που απαιτεί λεπτομέρεια σε σύντομο διάστημα όπως διατηρητέα κτίρια, βιομηχανικές εγκαταστάσεις και μηχανολογικών εξαρτημάτων.

Συγκεκριμένα σε ότι αναφορά τα μνημεία ο μεγάλος όγκος δεδομένων που οι σαρωτές laser μπορούν να συλλέξουν καθιστούν μονόδρομο την χρήση τους. Η ποικιλία επεξεργασίας αλλά και αξιοποίησης των μετρήσεων αυτών σχετικά με την εξαγωγή μετρητικών πληροφοριών, την εκπόνηση παράγωγων αναλυτικών σχεδίων ακόμα και τον εμπλουτισμό επιπλέον πληροφοριών στα σχέδια αυτά με την πρόσφατη τεχνολογία του Building Information Modeling (BIM). Οι πληροφορίες αυτές μεταφέρονται σε διαδικτυακό περιβάλλον μιας απλής ιστοσελίδας και για κάθε μνημείο, δημιουργείται η έννοια του εικονικού τουρισμού. Από τον πιο γνωστό χώρο πολιτιστικής κληρονομιάς και ενδιαφέροντος, την Ακρόπολη και τον Παρθενώνα (<https://www.acropolisvirtualtour.gr/el.html>), μέχρι τη δημιουργία μιας ενιαίας ψηφιακής βιβλιοθήκης, μπορεί ο καθένας να περιηγηθεί και κυρίως να έχει στη διάθεση του με ακρίβεια όλες τις λεπτομέρειες του μνημείου που “επισκέπτεται”.

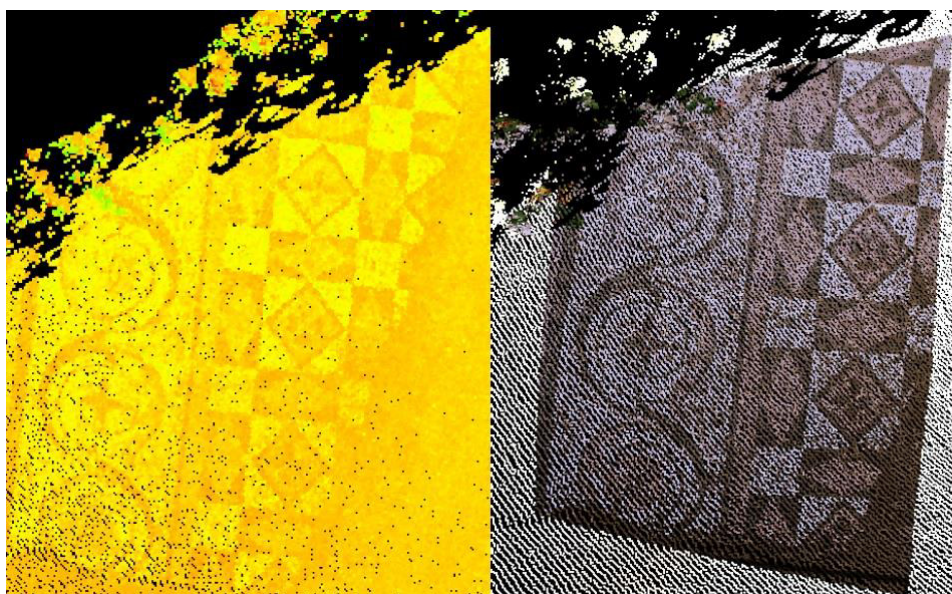
Καταληκτικά, η χρήση και μόνο επίγειου σαρωτή laser ανεξάρτητα από τη λήψη φωτογραφιών ή όχι, είναι ικανή και επαρκής να επιφέρει τα απαραίτητα δεδομένα για την ολοκλήρωση μιας πλήρους γεωμετρικής τεκμηρίωσης ενός πολιτιστικού μνημείου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικά περιπτώσεις μνημείων όπως ωδείων και ναών στον ελλαδικό χώρο αλλά και ενός στο εξωτερικό για τα οποία χρησιμοποιήθηκε σαρωτής laser για την περάτωση της γεωμετρικής τους τεκμηρίωσης.

2.2 Το Ρωμαϊκό ωδείο Πατρών

Για το συγκεκριμένο ιστορικό μνημείο εκπονήθηκαν δύο διπλωματικές εργασίες το 2012, με σκοπό την γεωμετρική τεκμηρίωση του ρωμαϊκού ωδείου στην Πάτρα και την ανάδειξή του και σαν γενική εικόνα με την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου του (Αρχοντάκης 2012) αλλά και των επιμέρους ψηφιδωτών του (Βλάχου 2012). Με την χρήση του σαρωτή laser Scan Station 2 της Leica κατέστη εφικτή η αποτύπωση των λεπτομερειών του ωδείου και η παραγωγή διανυσματικών σχεδίων αλλά και αυτών που περιείχαν υφή από εικόνα. Οι κάθετες και οριζόντιες ακμές ενός τέτοιου μνημείου όπως οι κερκίδες ή οι τοίχοι (εικ. 2.2.1) αλλά και τα ψηφιδωτά (εικ. 2.2.2) με τις λεπτομέρειες τους ανέδειξαν την χρησιμότητα της επίγειας σάρωσης με laser.



Εικόνα 2.2.1: Μοντέλο νέφους σημείων Ρωμαϊκού ωδείου Πάτρας (Αρχοντάκης 2012)



Εικόνα 2.2.2: Λεπτομέρεια ψηφιδωτού Ρωμαϊκού ωδείου Πάτρας από νέφους σημείων. (Βλάχου 2012)

2.3 Το Θέατρο του Διονύσου και το Ωδείο του Περικλέους

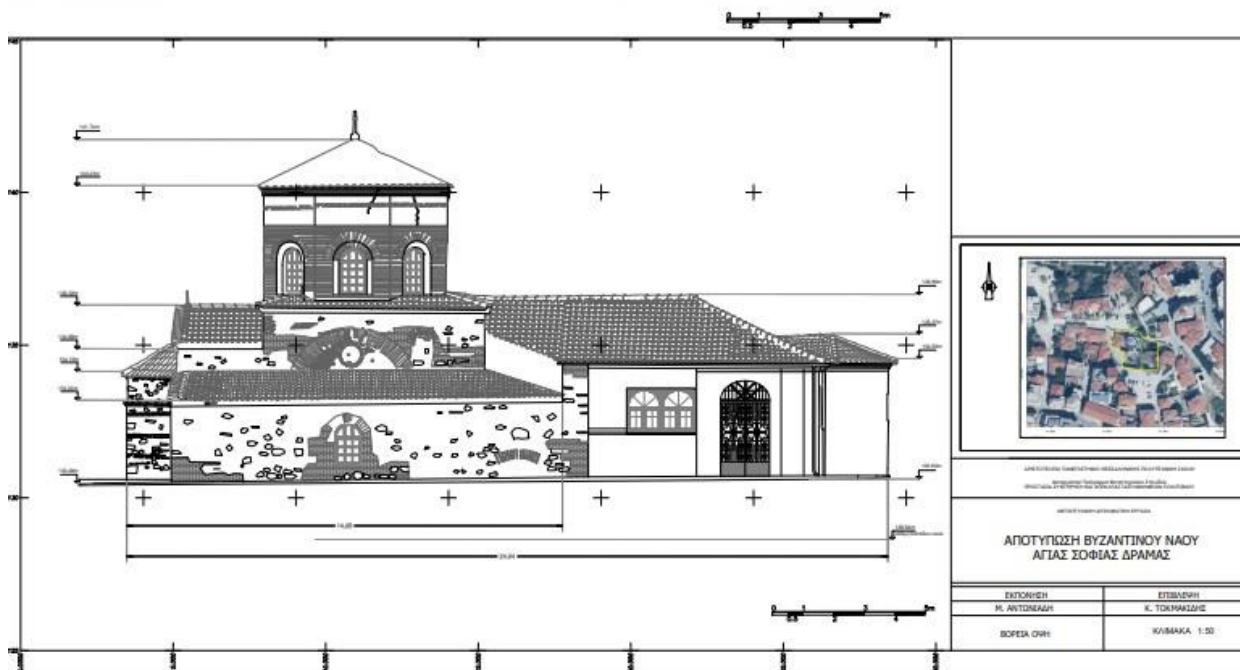
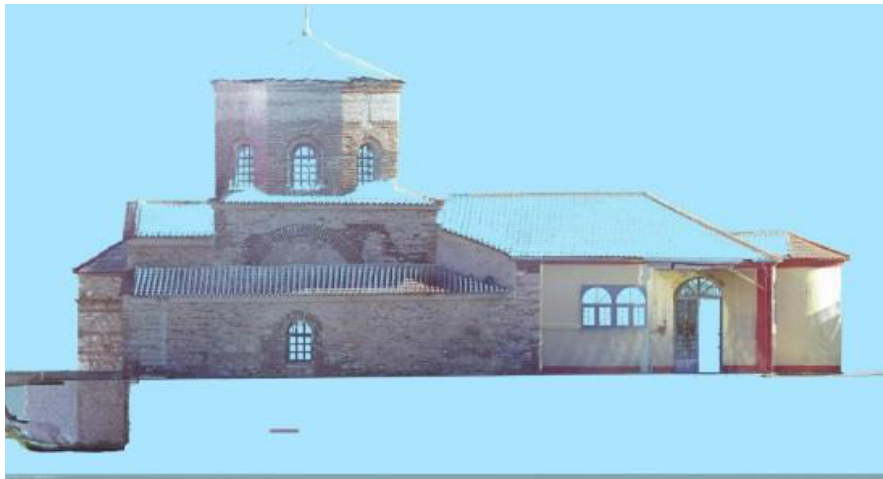
Σε αυτή τη διπλωματική εργασία αναλύεται η μέθοδος γεωμετρικής τεκμηρίωσης κομματιών των δύο μνημείων του 5^{ου} αιώνα π.Χ., συγκεκριμένα του ΒΑ Αναλήμματος για το Θέατρο του Διονύσου και του Βόρειου Τείχου για το Ωδείο του Περικλέους. Γίνεται χρήση τοπογραφικών μετρήσεων αλλά κυρίως του επίγειου σαρωτή laser Scan Station 2 της εταιρείας Leica που συμβάλλει τα μέγιστα στην γρήγορη και ακριβή ανάδειξη των στοιχείων των δύο μνημείων, αλλά και των παράγωγων σχεδίων με μετρητική αξία και σε κλίμακα που βοηθούν στην περαιτέρω κατανόηση του αντικειμένου.



Εικόνα 2.3.1: Λεπτομέρεια των πετρών επί του ΒΑ Αναλήμματος του Διονυσιακού Θεάτρου (Κατωγιάννης 2013)

2.4 Ο Ιερός Ναός της Αγίας Σοφίας στη Δράμα

Το 2020 πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μεταπτυχιακής διατριβής η γεωμετρική τεκμηρίωση με τη χρήση επίγειου σαρωτή laser στον βυζαντινό ναό της Αγία Σοφίας που αποτελεί σημαντικό στοιχείο πολιτιστικής κληρονομιάς για την πόλη της Δράμας. (Αντωνιάδη 2020). Η χρήση του επίγειου σαρωτή 3D Focus της εταιρείας FARO, είχε ως αποτέλεσμα την απόδοση του ναού σε τρισδιάστατο μοντέλο και μετά από κατάλληλη επεξεργασία την δημιουργία κατόψεων, ανόψεων και τομών όπως επιβάλλεται για την γεωμετρική τεκμηρίωση αντίστοιχων εκκλησιαστικών μνημείων.



Εικόνα 2.4.1: Βόρεια Όψη νέφους σημείων και παραγόμενου σχεδίου Ι.Ν. Αγίας Σοφίας, Δράμα(Αντωνιάδη 2020)

2.5 Ο Ιερός Ναός του Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά Κύπρου

Το 2015 πραγματοποιήθηκε η γεωμετρική τεκμηρίωση του Ιερού Ναού του Αρχαγγέλου Μιχαήλ στον Πεδουλά Κύπρου .Πρόκειται για μία πετρόχτιστη βυζαντινή εκκλησία που βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της οροσειράς του Τροόδους στην επαρχία της Λευκωσίας και εντάσσεται στον κατάλογο της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς της UNESCO. Και σε αυτή την περίπτωση έγινε χρήση επίγειου σαρωτή laser (Leica Scan Station 2) με ταυτόχρονη λήψη φωτογραφιών για την επιπλέον φωτορεαλιστική απεικόνιση του ναού. Με την σάρωση μετρήθηκαν τα φωτοσταθερά

και παρήχθησαν τα σχέδια που ολοκλήρωσαν την λεπτομερή γεωμετρική τεκμηρίωση του αντικειμένου.



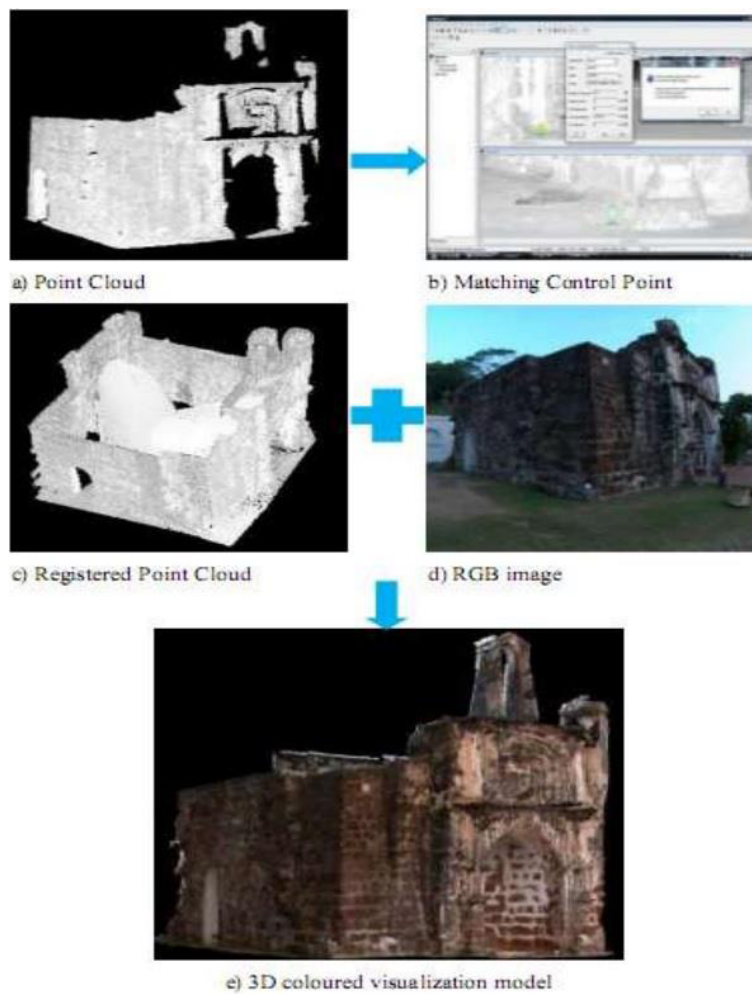
Εικόνα 2.5.1: Συνενωμένο νέφος σημείων εξωτερικά του ναού (Γαβριήλ 2015)

2.6 Το Φρούριο A’Famosa στη Μελάκα της Μαλαισίας

Το 2010 στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του φοιτητή Ong Chee Wei του τμήματος Γεωματικής και Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου της Μαλαισίας, επιλέχθηκε να τεκμηριωθεί γεωμετρικά με τη χρήση επίγειου σαρωτή laser, το Φρούριο A’Famosa στη περιοχή Μελάκα στα νότια της Μαλαισίας. Πρόκειται για ένα πετρόχτιστο μνημείο πορτογαλικής νεότερης αρχιτεκτονικής με τοπικά ανάγλυφα, το οποίο έχει ενταχθεί στη λίστα της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς από το 2008. Χρησιμοποιήθηκε για την τρισδιάστατη αποτύπωση του αντικειμένου ο σαρωτής Photon 120/20 της FARO. Με την ενοποίηση του νέφους σημείων σε ένα ενιαίο μοντέλο, ο μελετητής κατέγραψε τις αποστάσεις εισόδου και διαδρομής του φρουρίου μέχρι τον προθάλαμο και παρουσίασε αναλυτικά τη δομή του με τη βοήθεια επιπλέον πληροφορίας και αντίστοιχης επεξεργασίας μέσω λήψης φωτογραφιών.



Εικόνα 2.6.1: Εξωτερική όψη φρουρίου A'Famosa, Malaysia, (Chee Wei 2010)



Εικόνα 2.6.2: Τρισδιάστατο μοντέλο φρουρίου A'Famosa, Malaysia, (Chee Wei 2010)

3. ΕΠΙΓΕΙΟΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΣΑΡΩΤΕΣ LASER

3.1 Αρχές Λειτουργίας

Στη σημερινή παγκόσμια προσπάθεια για διαφύλαξη και διάδοση της πολιτιστικής κληρονομιάς η διεπιστημονική προσέγγιση, ο συνδυασμός τεχνικών και η αξιοποίηση της ψηφιακής τεχνολογίας είναι οι καταλληλότεροι τρόποι για την παραγωγή τελικού προϊόντος, το οποίο καλύπτει τις απαιτήσεις της αποτύπωσης σε ακρίβεια, πληρότητα και αξιοπιστία. Η εφαρμογή της τρισδιάστατης σάρωσης με λέιζερ για την ανακατασκευή και τη συντήρηση κτιρίων πολιτιστικής κληρονομιάς, μνημείων ή αρχαιολογικών χώρων είναι γενικά αποδεκτή από την κοινότητα των ερευνητών λόγω της πληρότητας, της ακρίβειας και της ταχύτητας που χαρακτηρίζει την εφαρμογή της. (Sgrenzaroli, 2005). Η μέθοδος της επίγειας σάρωσης έχει τα πλεονεκτήματα, της λήψης μεγάλου όγκου δεδομένων σε πολύ γρήγορο χρόνο, χωρίς ανθρώπινη επέμβαση στο πεδίο και επί του αντικειμένου και την ικανότητα κάλυψης οποιουδήποτε μεγέθους αντικειμένου που πρέπει να αποτυπωθεί. Αυτό, βέβαια δε σημαίνει ότι τον συγκεκριμένο εξοπλισμό πρέπει και μπορεί να τον χειρίζονται άπειροι χρήστες, καθώς η αντίληψη των αρχών λειτουργίας τους αλλά και εν γένει η αντίληψη του αντικειμένου και του χώρου που τοποθετείται παραμένουν σε βασική προϋπόθεση επιτυχής μέτρησης.

Το εσωτερικό σύστημα ενός επίγειου σαρωτή αποτελείται από:

- Πομπό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- Δέκτη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που λαμβάνει το επιστρεφόμενο σήμα
- Καταγραφική μονάδα στην οποία καταγράφονται ο χρόνος και η εκπομπή-λήψη του σήματος
- Χρονόμετρο για τη μέτρηση του χρόνου μετάβασης και επιστροφής του εκπεμπόμενου σήματος και
- Σύστημα περιστρεφόμενων καθρεφτών που κατευθύνει τη δέσμη της ακτινοβολίας

Η αρχή λειτουργίας των επίγειων σαρωτών laser (Terrestrial Laser Scanners-TLS) είναι η εκπομπή δέσμης laser από ένα πλήθος πομπών, όπου η πρόσπτωση και ανάκλαση αυτών επί των αντικειμένων που στέκονται στη περιφέρεια επιρροής του σαρωτή. Μια διαδικασία παρόμοια των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών με τη διαφορά ότι το αποτέλεσμα πλέον είναι σε πολύ λίγο χρόνο λήψη της τάξης των εκατομμυρίων σημείων και όχι μοναδικού τεμαχίου κάθε φορά, άρα εισάγεται όρος νέφος σημείων και σάρωση αντί για σκόπευση. Με τις νεότερες τεχνολογικές εξελίξεις

στον χώρο των TLS, τα νέφη αυτά σημείων περιέχουν σημεία σε τάξη εκατομμυρίου και δυνατότητα πυκνώσης ενός χιλιοστού (1 mm). Ως αποτέλεσμα, δίνουν εξ αρχής μια προσομοίωση τρισδιάστατου μοντέλου στο αντικείμενο που σαρώθηκε το οποίο με τα κατάλληλα προγράμματα επεξεργασίας μορφοποιείται αναλόγως για την παραγωγή του εκάστοτε απαιτούμενου προϊόντος. Βέβαια, να σημειωθεί ότι η επιλογή της πυκνότητας της σάρωσης δίνεται στον χρήστη, ο οποίος αναλόγως αντικειμένου μελέτης και χρόνου αποφασίζει την ποιότητα αυτή. Καθίσταται προφανές ότι πυκνότερη σάρωση οδηγεί σε μεγαλύτερο χρόνο αναμονής ολοκλήρωσής της αλλά και πάλι πρόκειται για τάξη λεπτών της ώρας.



Εικόνα 3.2.1: Επίγειοι Σαρωτές Laser παλαιότερης γενιάς κυκλοφορίας 2007-2010
α) Leica ScanStation 2 β) Leica ScanStation C10 γ) FARO Photon



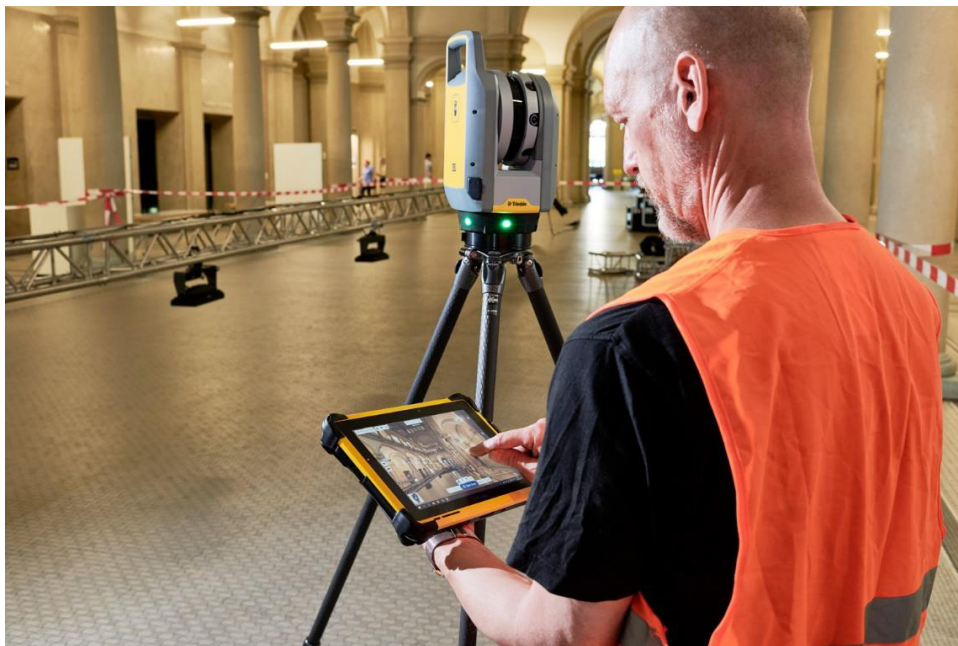
Εικόνα 3.1.2: Σύγχρονοι Επίγειοι Σαρωτές Laser
α) Leica RTC360 β) Leica BLK360 γ) FARO Focus

Οι διαφορές προηγούμενης και τωρινής γενιάς σαρωτών TLS έγκεινται κυρίως σε μέγεθος, ζήτηση για ενέργεια που αποτελούσε πρόβλημα για τις εργασίες πεδίου καθώς ήταν αναγκαία η πρόσβαση σε παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και τέλος η βελτίωση ποιότητας χρόνου μέτρησης. Τη σημαντικότερη εξέλιξη απαντάται στο γεγονός ότι δεν είναι απαραίτητη πλέον η χρήση φορητού υπολογιστή στο πεδίο για την επιλογή της περιοχής σάρωσης, αλλά και ο εφοδιασμός της νέας γενιάς σαρωτών με μπαταρίες, για πλήρη αυτονομία. Γενικά όμως, σαν αρχή λειτουργίας, κάθε σημείο καθορίζεται από τη θέση (X, Y, Z), σε ένα αυθαίρετο σύστημα αναφοράς, και την ένταση (i) του σήματος αντανάκλασης (Staiger, 2003). Υπάρχει η δυνατότητα επίσης του ορισμού περιοχής σάρωσης, μια δυνατότητα η οποία στην παρούσα τεχνολογική φάση των TLS, δεν είναι αναγκαία, καθώς έχει βελτιωθεί τα μέγιστα ο χρόνος σάρωσης και είναι πολύ συχνή πλέον η επιλογή να σαρώνεται η περιοχή από κάθε στάση σε πλήρη περιστροφή 360°.

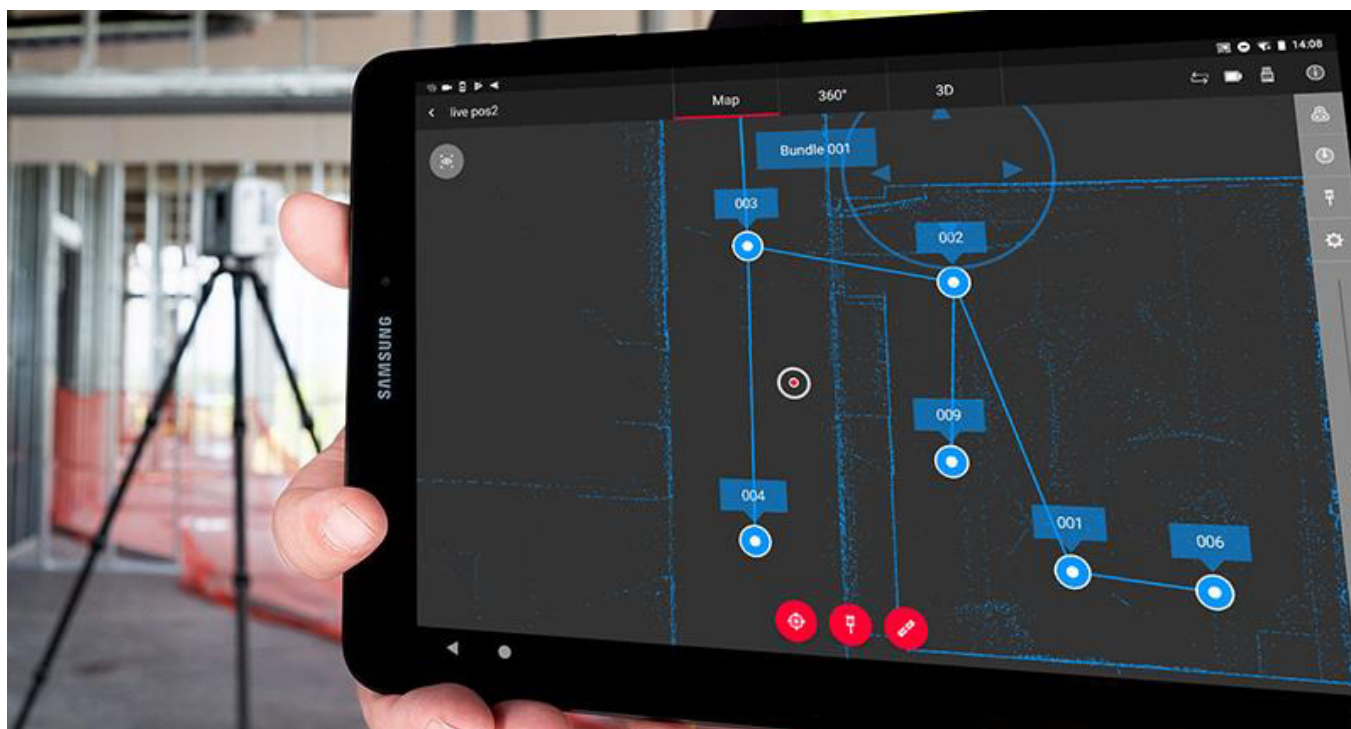
Εδώ αξίζει να τονιστεί ότι η μεθοδολογία της χρήσης πολλών στάσεων περιμετρικά του αντικειμένου μελέτης για την πλήρη αποτύπωσή του, παραμένει η ίδια όπως ακολουθείται στην κλασική τοπογραφία. Επιπρόσθετα, οι σαρωτές έχουν ενσωματωμένη φωτογραφική κάμερα, με την οποία, με το πέρας της σάρωσης, αρχίζει η λήψη ψηφιακών φωτογραφιών του χώρου μελέτης, ώστε να μπορέσει να αποδοθεί σε κάθε σημείο και συνολικά στο νέφος η τιμή χρώματος RGB αποδίδοντας έτσι και μια φωτορεαλιστική άποψη του αντικειμένου, η οποία βοηθάει τον χρήστη στον προσανατολισμό και την κατανόηση του μοντέλου που επρόκειτο να διαχειριστεί.

Τέλος η νέα γενιά σαρωτών όπως σημείωσε εξέλιξη στο μείζον θέμα της ενεργειακής αυτονομίας, έτσι έχει καταστεί δεδομένο ότι δε χρειάζεται η χρήση φορητού υπολογιστή στο πεδίο, ούτε για τον ορισμό των περιοχών σάρωσης ούτε για την εποπτεία τους. Τα προγράμματα διαχείρισης σάρωσης και εποπτείας σε πραγματικό χρόνο των υπό σάρωση αντικειμένων και των νεφών σημείων που αυτές δημιουργούν είναι εύκολα προσβάσιμες μέσω εφαρμογών που εκδίδει η κάθε εταιρεία η οποία σαν μια κοινή εφαρμογή μπορεί να λειτουργήσει σε οποιαδήποτε καθημερινή φορητή συσκευή όπως τα κινητά μας τηλέφωνα και τα tablet. Μάλιστα, οι εταιρείες παροχής laser scanners συνηθίζουν να παρέχουν με την προμήθεια ή ενοικίαση ενός σαρωτή laser και το tablet που το συνοδεύει στον πελάτη, όπως αντίστοιχα συμβαίνει με το χειριστήριο που δίδεται για έναν δέκτη GNSS για παράδειγμα. Να τονιστεί ότι η εποπτεία σε πραγματικό χρόνο της σάρωσης και του τοπικού χάρτη που σχηματίζουν τα νέφη σημείων ή οι φωτογραφίες που έχουν τραβηχτεί και καταγράφουν την όδευση που έχει ακολουθηθεί (εικ. 3.1.4) με παράλληλη δυνατότητα τρισδιάστατης περιήγησης στο χώρο σάρωσης αποτελεί τεράστιο πλεονέκτημα και διευκόλυνση για

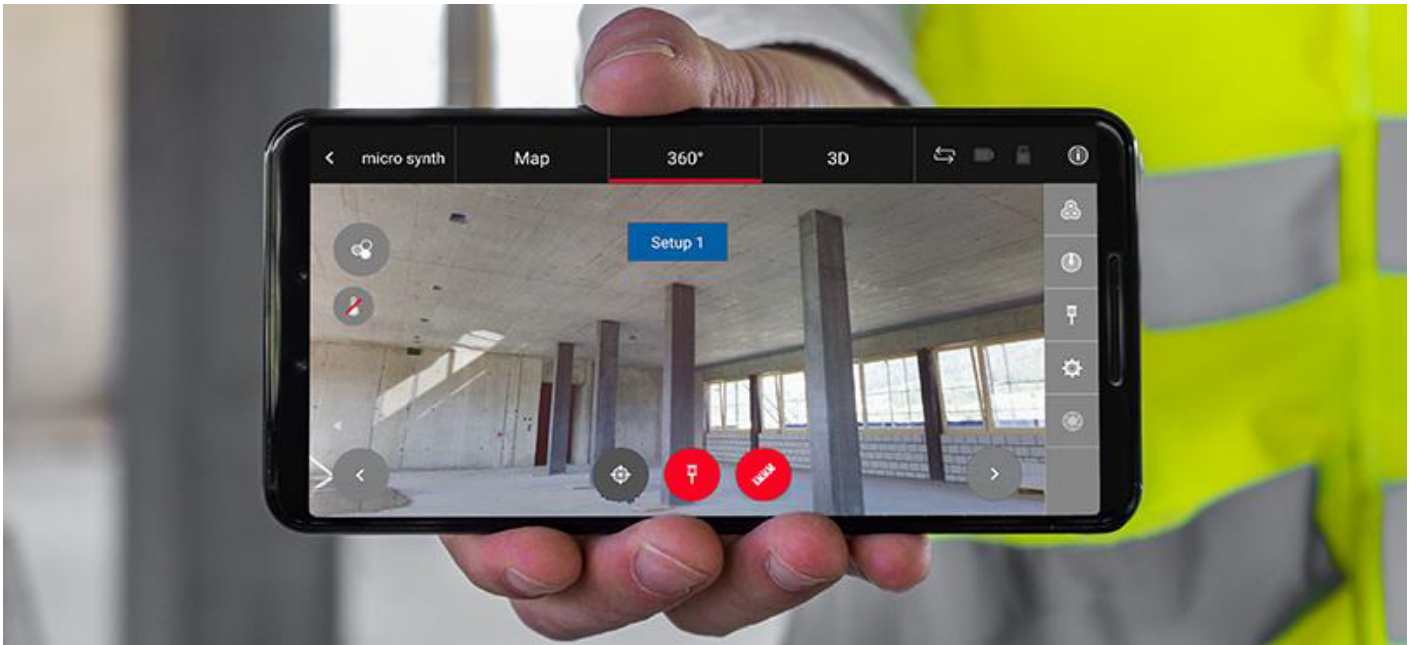
τις εργασίες πεδίου εξοικονομώντας χρόνο και βοηθώντας στην κατανόηση πορείας της σάρωσης για την αποφυγή περιττών επαναλήψεων.



Εικόνα 3.1.3: Ο επίγειος σαρωτής laser Trimble X7 και η ταμπλέτα Trimble T100 (πηγή: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-x7>)



Εικόνα 3.1.4: Εφαρμογή Leica Cyclone Filed 360 σε συμβατό tablet. Παρακολούθηση οδευσης σαρώσεων στο περιβάλλον των μετρούμενων νεφών σημείων. (πηγή: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-field-360/expert-insights-scanner-live-position>)



Εικόνα 3.1.5: Εφαρμογή Leica Cyclone Filed 360 σε συμβατό κινητό τηλέφωνο. Παρακολούθηση όδευσης σαρώσεων στο περιβάλλον των ληφθείσων φωτογραφιών. (πηγή: <https://blog.hexagongeosystems.com/5-benefits-of-reality-capture-in-the-palm-of-your-hand/>)

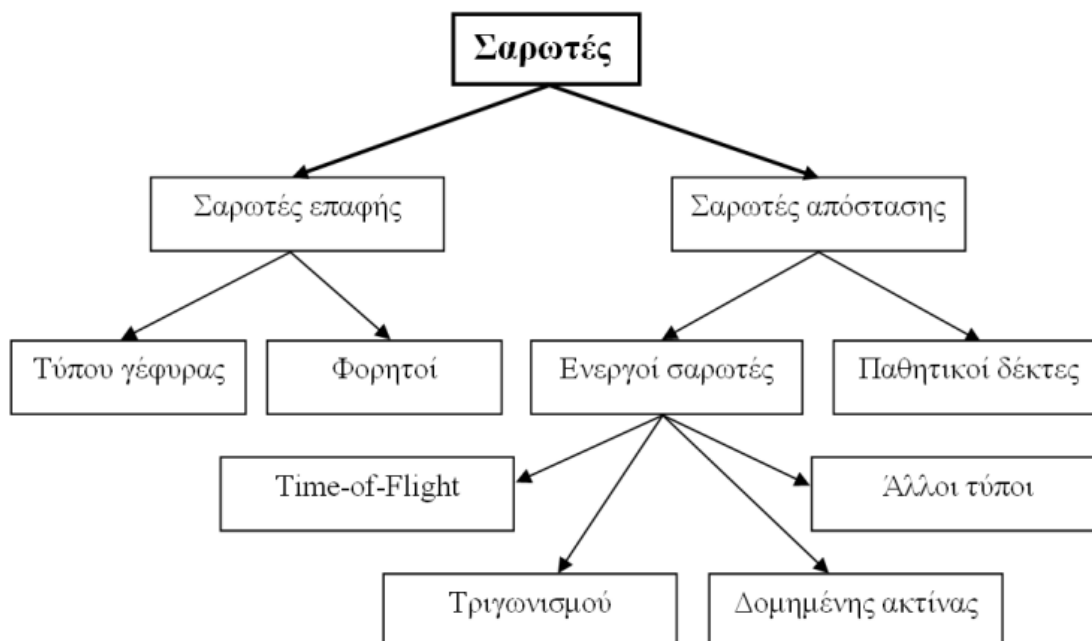
3.2 Κατηγορίες Σαρωτών Laser

Σε αρχικό στάδιο, υφίσταται ο διαχωρισμός των σαρωτών laser ανάλογα τη μέθοδο μέτρησης σε δυναμικούς και στατικούς. Η πρώτη όμως εμπίπτει σε διάταξη τέτοια που δεν αφορά το παρών αντικείμενο της εργασίας, καθώς πρόκειται για τοποθέτηση του σαρωτή επί μέσου που κινείται ή επίγεια όπως όχημα, ή αεροπλάνου με σκοπό σαρώσεις μεγάλων εκτάσεων και μελέτη τους σχετικά με τον χρόνο και την ταυτόχρονη κίνηση που συνοδεύεται από τα κατάλληλα αδρανειακά συστήματα και όργανα χωρικού εντοπισμού (GNSS).

Οι πιο συνήθεις εφαρμογές συναντώνται με τους σαρωτές που λειτουργούν στατικά, δηλαδή από συγκεκριμένη και σταθερή θέση. Η θέση αυτή βέβαια, άρα και η απόσταση μεταξύ σαρωτή και αντικειμένου έχει ύψιστη σημασία, καθώς ανάλογα την απόσταση επηρεάζεται και η ακρίβεια. Δηλαδή, μικρότερη απόσταση μεγαλύτερη ακρίβεια και αντιστρόφως.

Οι επίγειοι σαρωτές laser ανάλογα με τη μέθοδο υπολογισμού της απόστασης διακρίνονται στους παθητικούς ανιχνευτές (μέθοδος τριγωνισμού) και στους ενεργητικούς ανιχνευτές (time of flight, τριγωνισμός με μια ή δύο κάμερες CCD) (Τοκμακίδης, 2010). Οι τρισδιάστατοι σαρωτές laser διαχωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιούν καθώς και τις εφαρμογές τους. Οι δύο

κυριότεροι τύποι επίγειων σαρωτών laser, περιλαμβάνουν τους σαρωτές επαφής (Contact scanners) και τους σαρωτές απόστασης (Non-contacts scanners).



Εικόνα 3.2.1: Κατηγοριοποίηση επίγειων σαρωτών laser (Συμεωνίδης, 2007)

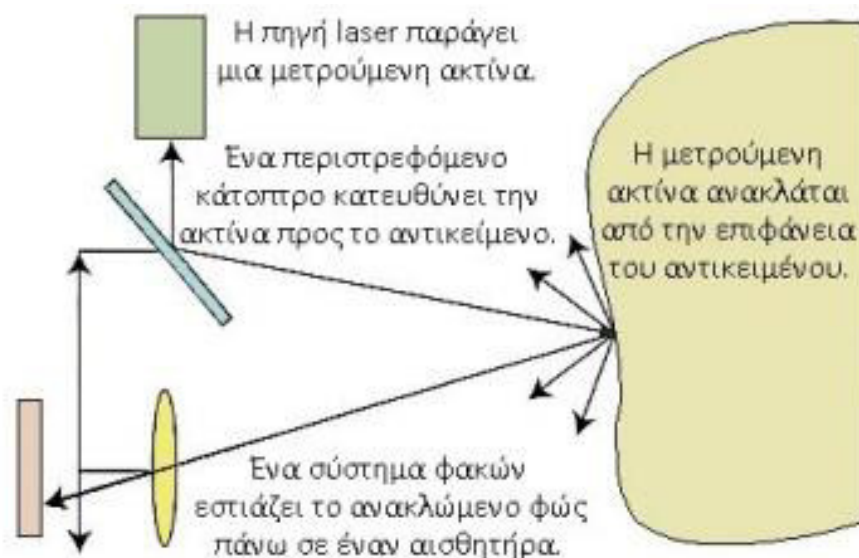
Πρόκειται για έναν εντελώς πρωταρχικό διαχωρισμό των TLS. Οι τύποι επίγειων σαρωτών laser ποικίλουν ανάλογα την εφαρμογή. Οι κατηγορίες που αφορούν την γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων είναι οι:

- Laser Scanner τριγωνισμού
- Laser Scanner φάσης
- Laser Scanner παλμού

3.2.1 Laser Scanner τριγωνισμού

Πρόκειται για επίγειους σαρωτές laser που βασίζουν την λειτουργία τους στις αρχές της τριγωνομετρίας. Είναι ταυτόχρονα εφοδιασμένοι με μονή ή διπλή κάμερα. Η αρχή λειτουργίας τους είναι ότι η ακτίνα laser εκπέμπεται από μία άκρη μηχανικής βάσης γνωστού μήκους προς το αντικείμενο υπό γνωστή γωνία, με τη δυνατότητα μεταβολής της, και στην άλλη άκρη της μηχανικής βάσης είναι τοποθετημένη κάμερα CCD που συλλαμβάνει τη στιγμή της πρόσπτωσης της ακτίνας laser επί του αντικειμένου. Επομένως έχουμε τη δημιουργία ενός τριγώνου με έναν μόνο άγνωστο.

Το τρίγωνο κάμερα, πομπός ακτίνας laser και η ίδια η ακτίνα που προσπίπτει στο αντικείμενο. Με τη λύση του τριγώνου προκύπτει η απόσταση του αντικειμένου η οποία και έτσι υπολογίζεται. Η διαφορά μονής ή διπλής κάμερας είναι η ύπαρξη και δεύτερης κάμερας και στις δύο άκρες της μηχανικής βάσης. Η εκπομπή και η λύση του τριγωνομετρικού συστήματος επιλύεται παρομοίως και με συναφή αποτελέσματα.



Εικόνα 3.2.2: Αρχή λειτουργίας Triangulation based measurement Laser Scanner (Παπακόστας 2011)

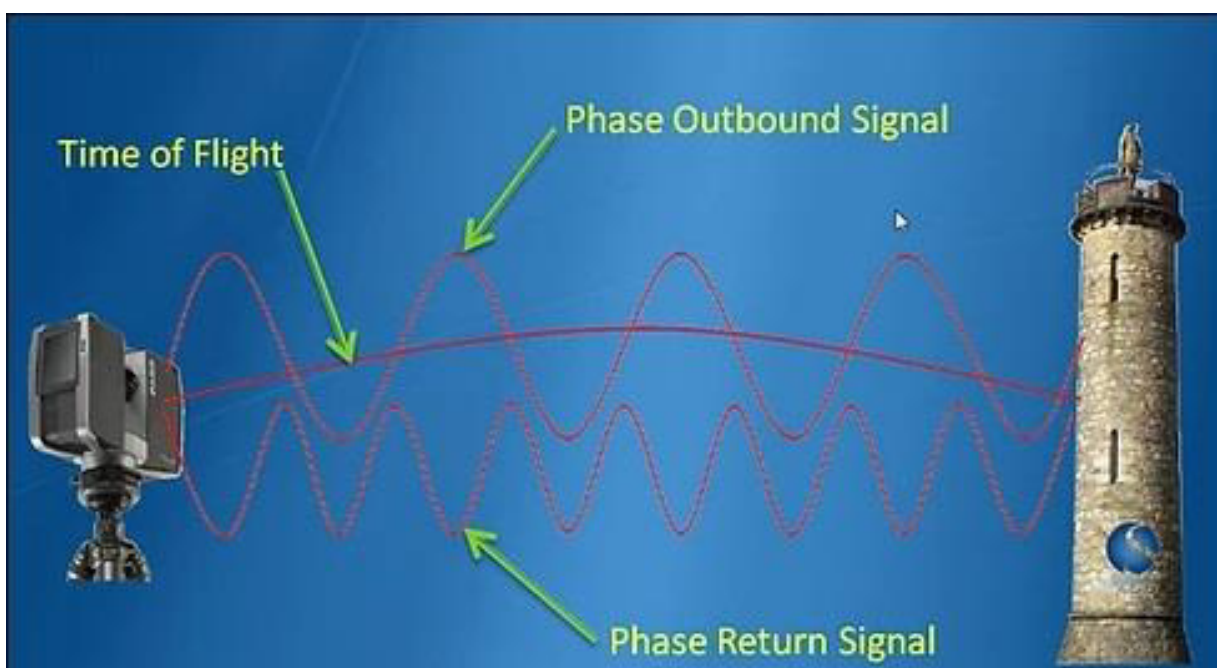
Ένας τέτοιος σαρωτής βασίζεται καθαρά σε μηχανικά μέρη και γνωστές αρχές και δεν εμπλέκει στην λειτουργία τον παράγοντα της μέτρησης του χρόνου. Βρίσκει πεδίο εφαρμογής για αντικείμενα που βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση, επομένως σε σαρώσεις που αφορούν την αποτύπωση υψηλής λεπτομέρειας επί του αντικειμένου μελέτης όπως την μορφολογία πέτρας ή μαρμάρου ενός μνημείου αλλά και μηχανολογικών εξαρτημάτων.

3.2.2 Laser Scanner φάσης

Πρόκειται για τύπο επίγειου σαρωτή που εισάγει το μέγεθος του χρόνου στην μέτρηση αλλά με έμμεσο τρόπο. Δεν γίνεται χρήση χρονομέτρου ακριβείας για απευθείας μέτρηση του χρόνου από την ώρα της εκπομπής μέχρι την επιστροφή από την ανάκλαση. Ο χρόνος υπολογίζεται από τη διαφορά φάσης (phase based) εκπεμπόμενης και ανακλώμενης ακτίνας. Αρχικά εκπέμπεται από το σύστημα του

σαρωτή μία ακτίνα με συγκεκριμένο πλάτος κύματος (λ) και στη συνέχεια εμπλουτίζεται η ίδια ακτίνα με δεύτερο διαφορετικό πλάτος κύματος. Οι δύο φέρουσες συχνότητες επί της ίδιας ακτίνας, ως επί το πλείστον πρόκειται για εναλλαγή πλάτους AM και FM.

Χρησιμοποιώντας τις αρχές της κυματικής φυσικής η διαφορά φάσης των δύο αυτών ξεχωριστών πλατών μετατρέπεται σε χρόνο, και ως αποτέλεσμα έχουμε την απόσταση του αντικειμένου από τον πομπό εκπομπής της ακτίνας, δηλαδή του σαρωτή, που έχει δεδομένα γνωστή ταχύτητα.



Εικόνα 3.2.3: Οι δύο διαφορετικές εκπεμπόμενες φέρουσες συχνότητες από τον σαρωτή προς το αντικείμενο (πηγή: <https://www.survttechsolutions.com/how-does-laser-scanning-work>)

3.2.3 Laser Scanner παλμού

Πρόκειται για τον πιο κοινό σε χρήση τύπο σαρωτή για εφαρμογές γεωμετρικής τεκμηρίωσης και γενικότερα τοπογραφίας-γεωδαισίας. Σε αυτό το τύπο επίγειου σαρωτή laser γίνεται απευθείας μέτρηση του μεγέθους του χρόνου με ενσωματωμένο χρονόμετρο ακριβείας το οποίο και αποτελεί βασικό στοιχείο του σαρωτή. Η μέτρηση καθορίζει όλη την αρχή λειτουργίας και πρέπει να είναι πραγματικά ακριβής, καθώς ο παράγοντας της ταχύτητας είναι γνωστός και σταθερός. Εκπέμπεται μοναδικός κάθε στιγμή παλμός laser προς το αντικείμενο μελέτης από το οποίο μέρος του αντανακλάται

πίσω στον σαρωτή. Με δεδομένη την μέτρηση του χρόνου t που διανύεται μεταξύ αυτής της πορείας αλλά και την ταχύτητα του φωτός ($v= 299,792,458.0$ m/s) προκύπτει η απόσταση D ως εξής:

$$D = \frac{1}{2} * v * t$$

3.3 Σφάλματα επίγειων σαρωτών laser

Η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται από την ταχύτητα της σάρωσης, την απόσταση του σαρωτή από το αντικείμενο, την ανακλαστικότητα των επιφανειών, το μέγεθος της κουκίδας του laser, το υλικό στο οποίο προσπίπτουν οι ακτίνες, την πυκνότητα της σάρωσης, τον θόρυβο σάρωσης, την θερμοκρασία και την ατμόσφαιρα (Reshetyuk 2009). Ακόμα και η επιτυχία μέγιστης ακρίβειας, από άποψη καιρικών συνθηκών, επιλογών στάσεων και άρα απόστασης και γωνίας προς το αντικείμενο, αλλά και ικανότητα ανακλαστικότητας του αντικειμένου, πάλι θα υφίστανται πηγές σφαλμάτων, μεγάλες ή μικρές, που θα ακολουθούν τις μετρήσεις.

Οι επίγειοι σαρωτές laser συνοδεύονται αναπόφευκτα από σφάλματα ανεξάρτητα των ακριβειών που αναφέρονται στις τεχνικές προδιαγραφές του κάθε μοντέλου από κάθε εταιρεία. Προφανώς αυτές οι τιμές δεν είναι δεσμευτικές και οριστικές και σαφώς χωρούν διερεύνησης. Τα επιπλέον διάφορα σφάλματα μπορεί να είναι:

- Χονδροειδή τα οποία οφείλονται στον χρήστη
- Συστηματικά τα οποία οφείλονται στα κατασκευαστικά στοιχεία του σαρωτή
- Τυχαία που οφείλονται στη φύση των μετρήσεων και του περιβάλλοντος γενικά

3.3.1 Σφάλματα χρήστη

Πρόκειται για χονδροειδή σφάλματα του παρατηρητή τα οποία εύκολα αποφεύγονται αν υπάρχει γνώση και εμπειρία. Για παράδειγμα πρέπει να αποφεύγεται η σάρωση από μεγάλη απόσταση, η σάρωση σε κακές καιρικές συνθήκες, η σάρωση αντικειμένου ή επιφανείας που είναι βρεγμένη καθώς αλλοιώνει εντελώς το μοντέλο λόγω της έντονης ανακλαστικότητας του νερού και τέλος η σάρωση υπό μεγάλη οξεία γωνία προς το αντικείμενο. Επίσης, εμπειρικά αλλά και με τη χρήση κοινών γνωστών παραγόντων όπως ισχύουν στη κλασική φυσική και στη τοπογραφία, ο χρήστης του

σαρωτή laser πρέπει να αποφεύγει την μέτρηση υπό μεγάλη θερμοκρασία λόγω της διαστολής του τρίποδα, αν βεβαίως πρόκειται για σάρωση που θα διαρκέσει αρκετά ώστε να προκληθεί το φαινόμενο και τέλος να μην διεξάγονται μετρήσεις σε περιβάλλον που μπορεί να εκπέμπονται και άλλες ακτινοβολίες από άλλες πηγές που θα παρεμβαίνουν βίαια στη λειτουργία του σαρωτή.

3.3.2 Κατασκευαστικά σφάλματα σαρωτών laser

Πρόκειται για συστηματικά σφάλματα που οφείλονται στον τρόπο κατασκευής του σαρωτή από την εκάστοτε εταιρεία, αλλά λόγω της συνεχούς εξέλιξης η τάξη τους είναι αμελητέα και δεν επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

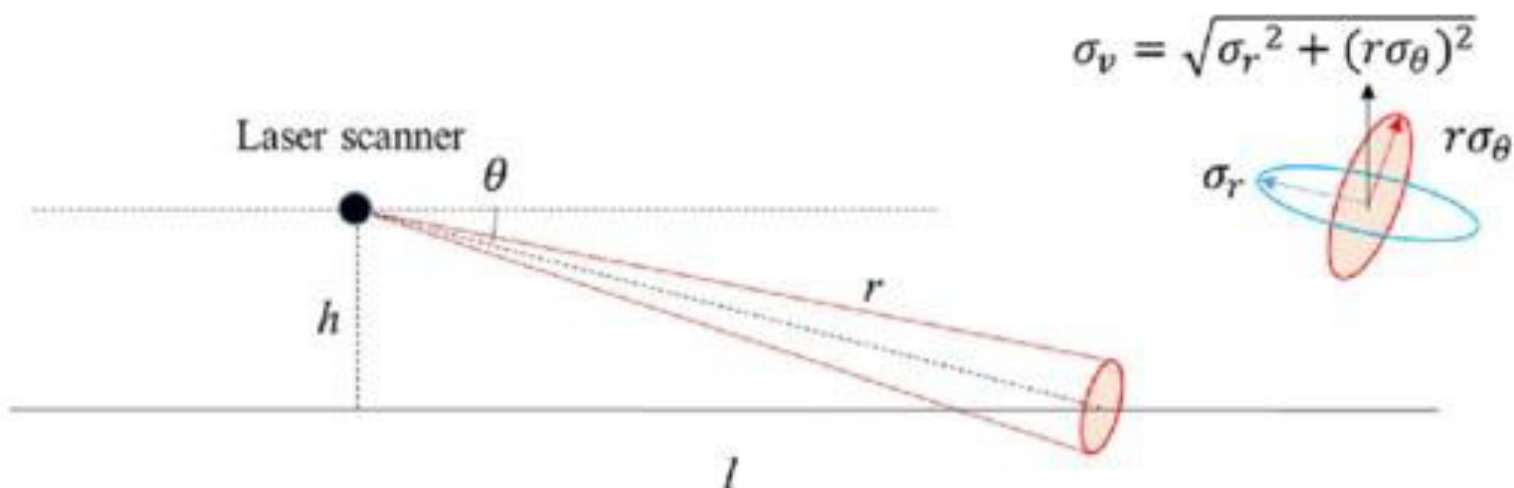
Μια πρώτη περίπτωση είναι το γωνιακό σφάλμα στη μέτρηση που προέρχεται από τη φύση της διάταξης των καθρεφτών που χρησιμοποιούν οι σαρωτές laser για να εστιάσουν κατάλληλα την ακτίνα laser προς την επιφάνεια της μέτρησης. Αποκλίσεις στη γωνία στροφής των καθρεφτών αυτών δημιουργεί επακόλουθο συστηματικό σφάλμα μικρής τάξης που δεν επηρεάζει σημαντικά την αξιοπιστία της μέτρησης. Μεγάλη απόκλιση μπορεί να διαπιστωθεί με την μέτρηση ίδιας απόστασης με αυτή που μετράται από τον σαρωτή με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό ακριβείας και διαπίστωση της τάξης της διαφοράς. Οι καθρέφτες ενός laser scanner επιδέχονται επισκευής.

Σαν δεύτερη περίπτωση αναφέρονται τα πιθανά κατασκευαστικά σφάλματα του σαρωτή, δηλαδή την ακρίβεια καθετότητας και οριζοντίωσης των αξόνων, συντελεστές όμως που δεν φέρονται να θίγουν την αξιοπιστία των μετρήσεων.

3.3.3 Σφάλματα ακτίνας laser

Λόγω της μεγάλης χρήσης δεσμών laser από τους σαρωτές, σε ένα εύρος περιοχής και όχι σημειακά σε επιλεγμένα κάθε φορά σημεία, προκύπτουν αναλόγως σφάλματα που αφορούν την επιφάνεια τον τρόπο πρόσπτωσης της ακτίνας και πώς αυτή ανακλάται και επιστρέφει στον σαρωτή.

Αρχικά, η κωνοειδής φύση της ακτίνας laser, όσο αυτή διανύει απόσταση διευρύνεται από γραμμικό μέγεθος σε κωνοειδές και προσπίπτει πλέον σε μορφή κύκλου στην επιφάνεια του αντικειμένου που σαρώνεται και αντιστοίχως ανακλάται κατά τέτοιο τρόπο.



Εικόνα 3.3.1: Η κωνοειδής φύση της ακτίνας laser και η διόρθωσή του επί της επιφάνειας πρόσπτωσης. (πηγή: *Simulating and quantifying legacy topographic data uncertainty: an initial step to advancing topographic change analyses*, Waskiewicz, Zhu, Gares, 2017)

Η μεγαλύτερη επιφάνεια που καταλήγει στο αντικείμενο, αποτελεί και την αιτία ενός δεύτερου σφάλματος που αφορά την ακτίνα laser, και αυτή είναι η ταυτόχρονη ανάκλαση της ακτίνας από δύο διαφορετικές επικαλυπτόμενες επιφάνειες, κατά τη μία διάσταση, άρα να λαμβάνονται δύο διαφορετικές αποστάσεις και αυτοματοποιημένα ο σαρωτής να κρατάει τον μέσο όρο των δύο μεγεθών με αποτέλεσμα να υλοποιεί στο νέφος λάθος το σημείο.

3.3.4 Σφάλματα αντικειμένου μελέτης

Σύμφωνα με την επιστήμη της Φυσικής και της Κυματικής, κάθε εκπεμπόμενη ακτίνα από μία πηγή που προσπίπτει σε μία επιφάνεια δεν ανακλάται απόλυτα, αλλά εμπίπτει σε ποικίλες ανακλάσεις της δέσμης της, μάλιστα μέρος από αυτήν απορροφάται σε ποσοστό ανάλογο της φύσης του αντικειμένου πρόσπτωσης. Η απορρόφηση αυτή οδηγεί και στην εξασθένηση της ανακλώμενης ακτίνας. Σαν αποτέλεσμα, εξαρτάται η ακρίβεια της μέτρησης από το υλικό του προσπιπτόμενου αντικειμένου και τη συμπεριφορά που έχει αυτό σχετικά με την ικανότητα ανακλαστικότητας και απορροφητικότητας που έχει.

Μια ειδική περίπτωση, αποτελούν οι ημιδιαφανείς επιφάνειες, καθώς αυτές δεν απορροφούν το μέρος της ακτίνας που προσπίπτει επάνω τους, αλλά να διαθλάται, δηλαδή να διαπερνάει στο επόμενο στρώμα επιφάνειας με διαφορετική ισχύ και παραλλαγμένη νέα γωνία πρόσπτωσης, έχοντας ως αποτέλεσμα την πρόκληση

πολλαπλών ανακλάσεων. Αντιστοίχως με τα προβλήματα επιφάνειας για τις μετρήσεις χωρίς κατάφωτο που γίνονται σε τοπογραφικές αποτυπώσεις, ο φωτισμός της προς σάρωση επιφάνειας, την επηρεάζει, ως γνωστόν με χρωματισμούς που τείνουν προς το λευκό να αποδίδουν πολύ καλή ανακλαστικότητα, ενώ αντιθέτως οι αντίστοιχες προς το μαύρο αποχρώσεις να δυσκολεύουν την απόδοση της σάρωσης.

4. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

4.1 Ορισμός Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

Η λέξη μνημείο παράγεται από το ρήμα «μνάομαι – μιμνήσκω», στα λατινικά «monere – moneo» σημαίνει θυμάμαι και εκφράζει την ανάμνηση για ένα γεγονός. Είναι δηλαδή ένα αναμνηστικό σήμα. Τέσσερις είναι οι κυριότερες ιδιότητες που θα πρέπει να διαθέτει ένα έργο για να χαρακτηριστεί μνημείο. (Λάββας 1984). Η έννοια ενός ιστορικού μνημείου δεν καλύπτει μόνο το μεμονωμένο αρχιτεκτονικό έργο αλλά και την αστική ή την αγροτική τοποθεσία που μαρτυρεί ένα ιδιαίτερο πολιτισμό μια ενδεικτική εξέλιξη ή ένα ιστορικό γεγονός. Αυτό ισχύει όχι μόνο για τις μεγάλες δημιουργίες αλλά και για τα ταπεινά έργα που με τον καιρό απέκτησαν πολιτιστική σημασία (Χάρτα της Βενετίας, 1964).

Ως γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων ορίζεται η καταγραφή, αποτύπωση ή απεικόνιση και σχεδίασή της παρούσας κατάστασής τους, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί και «αποτελεί το αναγκαίο υπόβαθρο για τη διερεύνηση του παρελθόντος τους, όσο και για τη διαφύλαξη του μέλλοντος τους (Αδαμόπουλος, 2017). Στόχος της Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης, είναι η καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης και η παραγωγή σχεδίων που θα αποτελέσουν το υπόβαθρο των άλλων ειδικών μελετητών προσφέροντας σε αυτούς χρόνο και αξιοπιστία. Η γεωμετρική τεκμηρίωση είναι μια από τις αρχικές διαδικασίες καταγραφής της υπάρχουσας κατάστασης των μνημείων (Τοκμακίδης, 2014). Για να είναι ολοκληρωμένη μια γεωμετρική τεκμηρίωση, απαιτείται γνώση του μνημείου, δηλαδή να έχουν συλλεχθεί τα απαραίτητα δεδομένα σχετικά με το ιστορικό του υπόβαθρο, τις μεθόδους κατασκευής του και τις διάφορες χρήσεις του κατά τη διάρκεια των ετών. (Τοκμακίδης, 1987). Εκτός από τις μετρητικές πληροφορίες περιλαμβάνονται και φωτογραφικές λήψεις με ποιοτικές πληροφορίες, σχετικά με τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του μνημείου, τις φθορές, το βαθμό διατήρησης και συντήρησής του, την αρχιτεκτονική του μορφολογία και τις ενδεχόμενες επεμβάσεις στη δομή του στις διάφορες φάσεις της ιστορίας του (Βλάχος, 1987)

Με σκοπό τη μελέτη αλλά και την συντήρηση γενικά των μνημείων πολιτιστικού ενδιαφέροντος, καθίσταται αναγκαία η σαφής και λεπτομερής καταγραφή και αποτύπωση κάθε στοιχείου τους. Ειδικά για την αποτύπωση, καθίσταται αναγκαία η σχολαστική μέτρηση και ύστερα σχεδιαστική παρουσίαση του αντικειμένου ώστε να αποδοθεί με ακρίβεια η παρούσα μορφή τους. Γενικά ο όρος τεκμηρίωση, συμπεριλαμβάνει και την καταγραφή, πέρα από τη γεωμετρική πληροφορία, και της παθολογίας του μνημείου και των ιστορικών του στοιχείων ως πληροφορίες. Μέσω της διαδικασίας αυτής, καταγράφονται τα στοιχεία ενός μνημείου εσωτερικά και

εξωτερικά με σύνδεση με τον ευρύτερο χώρο στον οποίο ανήκει, περιλαμβάνονται δε όλα εκείνα τα στοιχεία που μπορούν να συμβάλλουν στην πιστή αναπαραγωγή του.

Ειδικότερα, η γεωμετρική τεκμηρίωση που αφορά τα μνημεία ορίζεται η διαδικασία λήψης, επεξεργασίας, αρχειοθέτησης και παρουσίασης των στοιχείων για τον καθορισμό της θέσης και της υπάρχουσας μορφής, σχήματος και μεγέθους ενός μνημείου στον τρισδιάστατο χώρο σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. (Μπαλοδήμος, 2007). Το πρώτο βήμα για την επιτυχημένη ολοκλήρωση μιας γεωμετρικής τεκμηρίωσης ενός μνημείου αποτελεί η ορθή αποτύπωσή του. Η αποτύπωση μνημείου περιλαμβάνει:

- i. Η συλλογή των μετρητικών πληροφοριών που καθορίζουν την μορφή και το μέγεθος του και το τοποθετούν στο χώρο του ίδιου του μνημείου αλλά και γενικά στο περιβάλλον του
- ii. Η λεπτομερής καταγραφή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του που σχετικά με τα υλικά κατασκευής του αλλά και την κατάσταση αυτών τη δεδομένη χρονική στιγμή της αποτύπωσης, δηλαδή εξέταση της τάξης παθολογικών παραγόντων όπως καταπόνηση, διάβρωση, αποσάθρωση και πιθανή αστοχία.
- iii. Η επακόλουθη παραγωγή σχεδιαστικών προϊόντων (κατόψεις, όψεις, τομές) κατανοητών και εμπλουτισμένων με τα στοιχεία εκείνα που θα καταστήσουν σαφή την μορφή του μνημείου. Ειδικότερα οι τομές διαθέτουν πληροφορία η οποία βοηθά στην κατανόηση του αντικειμένου και για την εσωτερική του μορφή και στοιχεία όπως το πάχος του μνημείου σε μια δεδομένη διεύθυνση.
- iv. Τέλος, η επιτακτική ανάγκη στη σύγχρονη εποχή για ψηφιακή αρχειοθέτηση και άμεση ψηφιακή πρόσβαση των παραπάνω διαδικασιών και τελικών αποτελεσμάτων και για επιστημονικούς αλλά και επιμορφωτικούς-τουριστικούς σκοπούς.

Πέρα από το περιεχόμενο των αποτυπώσεων με σκοπό τη γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων, υφίσταται και διαχωρισμός ανάλογα με την έκταση, την επιδιωκόμενη μετρική αξιοπιστία, θεματική πληρότητα των τελικών προϊόντων και τους στόχους της αποτύπωσης, διακρίνονται οι εξής γενικές κατηγορίες αποτυπώσεων (Τοκμακίδης, 2014):

• **Αναγνωριστικές αποτυπώσεις:** Πραγματοποιούνται για την απόκτηση μιας γενικής εικόνας των μνημείων στο χώρο με σκοπό μια πρώτη τεκμηρίωση της πραγματικής μορφής κάθε μνημείου. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η φωτοερμηνεία, οι γεωφυσικές διασκοπήσεις του εδάφους και οι απλές και γρήγορες τοπογραφικές 29 μέθοδοι αποτύπωσης ή εντάξεις σημαντικών στοιχείων του χώρου σε υπάρχοντα τοπογραφικά διαγράμματα.

- **Αποτυπώσεις τεκμηρίωσης:** Πραγματοποιούνται για την καταγραφή της επικρατούσας κατάστασης της πραγματικής μορφής ενός μνημείου καθώς και της κατανομής του μνημείου στο χώρο. Τα διαγράμματα στην πρώτη περίπτωση είναι κλίμακας 1:100 - 1:50 και στη δεύτερη περίπτωση 1:1000 - 1:200. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην παρούσα κατηγορία είναι οι επίγειες τοπογραφικές αποτυπώσεις, οι φωτογραμμετρικές ή συνδυασμός τους, ανάλογα με το αντικείμενο και το σκοπό της αποτύπωσης.
- **Ειδικές αποτυπώσεις υψηλής ακρίβειας:** Πραγματοποιούνται για τη μελέτη και παρακολούθηση μικρομετακινήσεων ή όταν πρόκειται να γίνει αποσυναρμολόγηση ενός μέρους του μνημείου και στη συνέχεια επανασυναρμολόγησης του. Οι αποτυπώσεις αυτές γίνονται σε κλίμακα 1:20 - 1:5. Οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι είτε οι τοπογραφικές, (π.χ. εκτέλεση μικροτριγωνισμού για την ανίχνευση μικρομεταβολών), είτε φωτογραμμετρικές, ανάλογα με τη φύση του αντικειμένου αποτύπωσης.

4.2 Μέθοδοι Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης

Η αποτύπωση ενός μνημείου μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση συγκεκριμένων μετρητικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται από επιστήμονες όπως Αρχαιολόγους, Αρχιτέκτονες Μηχανικούς, Πολιτικούς Μηχανικούς, Τοπογράφους Μηχανικούς καθώς και από ειδικότητες όπως οι Συντηρητές και οι Σχεδιαστές. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι αποτύπωσης που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι η τοπομετρική ή εμπειρική, η τοπογραφική, η φωτογραμμετρική και η γεωδαιτική ακριβείας δηλαδή η χρήση σαρωτή Laser (Τσιούκας, 2009). Επομένως υφίστανται διαχωρισμός σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα την ποικιλία σε χρήση εξοπλισμού και την ανάγκη για λεπτομέρεια δεδομένης της ακρίβειας που απαιτείται από τις προδιαγραφές της προς εκπόνηση μελέτης.

Η γεωμετρική τεκμηρίωση των αρχιτεκτονικών και των αρχαιολογικών θέσεων, καταλοίπων και μνημείων είναι μία ενέργεια που συνήθως απαιτεί συνδυασμό των επιμέρους τεχνικών. Η μετρητική πληροφορία είναι υποχρεωτική ως βάση για την αποτύπωση, διαχείριση πληροφορίας, αρχειοθέτηση, ανάλυση, διάγνωση και παρακολούθηση. Όμως, η ορθότητα και η πληρότητά της, κυρίως όταν αναφερόμαστε σε πολύπλοκα, ή ιδιαιτέρως γηρασμένα και υποβαθμισμένα αντικείμενα, δεν μπορεί να εξασφαλιστεί αν δεν υπάρξει ενσωμάτωση δεδομένων από διαφορετικές πηγές. Για τα

ευμεγέθη μνημεία, η παράλληλη χρήση γεωδαιτικών και τοπογραφικών μετρήσεων, φωτογραμμετρικής ανάκτησης πληροφορίας από εικονιστικά δεδομένα και επίγειες σαρώσεις, έχει αποδειχθεί ως ιδανική λύση. Προσέτι, ο συνδυασμός των τοπογραφικών δεδομένων, που προέρχονται από διαφορετικούς αισθητήρες (επίγειους, αλλά και εναέριους) και των αρχιτεκτονικών απαιτήσεων, πρέπει να γίνεται στη βάση μίας πολυεπίπεδης αναλυτικής προσέγγισης, τόσο για τη γεωμετρία, όσο και για τη φωτοϋφή (Lerma et al., 2011)

4.2.1 Τοπομετρική (εμπειρική) μέθοδος

Πρόκειται για μία πρώτη προσέγγιση με μεθόδους χαμηλής μετρητικής ακρίβειας, ύστερα από τη χρήση απλών εργαλείων και οργάνων, όπως μετροταινίες, μεταλλικό μέτρο, ψηφιακό αποστασιόμετρο και αλφαδολάστιχο.



Εικόνα 4.2.1: α) Ψηφιακό όργανο χειρός μέτρησης απόστασης με χρήση laser της εταιρείας Leica
β) Κλασική μετροταινία γ) Μεταλλικό μέτρο

Με αυτή τη μέθοδο γίνεται εφικτή μια αρχική προσέγγιση του αντικειμένου μέσω εφοδίων που επιτυγχάνουν την λήψη χαρακτηριστικών σημείων και μορφών του μνημείου σε αυθαίρετο σύστημα και καταγραφή τους σε σκαρίφημα (αρχιτεκτονικό κροκί) με χαμηλή ακρίβεια, αλλά με χαμηλό κόστος και φορητή, με άμεσα αποτελέσματα και χωρίς ιδιαίτερη προετοιμασία από τον μελετητή. Απαντάται κυρίως σε μνημεία που εξετάζονται μόνο εξωτερικά και έχουν απλή μορφή και σχήμα και δεν απαιτείται η παρουσίαση τομής του ή γενικά παράγωγων σχεδίων.



Εικόνα 4.2.2: Χρήση μετροταινίας και νήματος στάθμης. Αποτύπωση Ρωμαϊκής γέφυρας Πατρών

4.2.2 Τοπογραφική μέθοδος

Πρόκειται για την αποτύπωση του μνημείου και του περιβάλλοντα χώρο του με μετρήσεις γωνιών και αποστάσεων ή απευθείας συντεταγμένων μέσω δεκτών δορυφορικού εντοπισμού. Το τελευταίο συνιστάται για την εγκατάσταση τριγωνομετρικού δικτύου στον περιβάλλοντα χώρο του μνημείου και την ένταξη αυτού σε ένα σύστημα αναφοράς και όχι για απευθείας μετρήσεις επί του αντικειμένου. Η δε υλοποίηση του δικτύου είναι επιτακτική και για μελλοντικές μετρήσεις που θα γίνονται συνέχεια στο μνημείο, και στο οποίο οι διάφοροι μελετητές θα πρέπει να αναφέρονται υποχρεωτικά, όπως είναι η Ακρόπολη Αθηνών, μνημεία για τα οποία δε πρόκειται να γίνουν μία και μοναδική σειρά μετρήσεων.

Εφαρμογή τοπογραφικής μεθόδου δύσκολα πλέον απαντάται ως απόλυτη χρήση για την αποτύπωση ενός μνημείου, εκτός και εάν πρόκειται για ένα μνημείο

πολύ απλοϊκού σχήματος. Κυρίως διαδραματίζει βοηθητικό ρόλο στη φωτογραμμετρική μέθοδο με τη μέτρηση φωτοσταθερών επί του αντικειμένου και ένταξή του σε ένα σύστημα αναφοράς, ή στη μέθοδο αποτύπωσης του μνημείου με επίγειο σαρωτή laser παρομοίως για τις ίδιες συμπληρωματικές λειτουργίες.

Η χρήση ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού (total station) έχει το μεγάλο πλεονέκτημα της μέτρησης χωρίς ανακλαστήρα (reflectorless), επιτυγχάνοντας έτσι μετρήσεις σε απροσπέλαστα ή δύσβατα σημεία των μνημείων, πάνω στα οποία μετρούνται με ακρίβεια φωτοσταθερά και χαρακτηριστικά σημεία όπως ακμές του μνημείου. Μάλιστα, συνηθίζεται για τέτοιες εφαρμογές οι μετρήσεις να διεξάγονται σε δύο θέσεις τηλεσκοπίου και πολλές περιόδους ώστε να γίνεται όσο το δυνατόν περισσότερη απαλοιφή των σφαλμάτων των μετρήσεων των τοπογραφικών οργάνων.

Τέλος, η μέτρηση σημείων με ΟΓΣ επί αντικειμένου που ταυτόχρονα σαρώνεται, βοηθά στην πιο διακριτή επιλογή σημείων τα οποία αν επιλεγεί μια διεύθυνση ή μοτίβο μέτρησης να μπορεί να υποδείξει στο χρήστη την θέση ενδιαφέροντος μέσα σε ένα μεγάλο νέφος σημείων.



Εικόνα 4.2.3: Μετρήσεις φωτοσταθερών με τον ΟΓΣ Leica TCRP1202 επί της εσωτερικής κιονοστοιχίας της δυτικής πλευράς του Παρθενώνα με σκοπό την αποκατάστασή τους. (Φεβρ. 2022, προσωπικό αρχείο)

4.2.3. Φωτογραμμετρική μέθοδος

Η φωτογραμμετρία είναι η τεχνική, επιστήμη και τεχνολογία που αφορά την απόκτηση αξιόπιστης πληροφορίας σχετικά με τη γεωμετρική μορφή φυσικών αντικειμένων μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας επί φωτογραφικών εικόνων. (Πατιάς 1991). Εφαρμόζεται συχνά σε αποτυπώσεις μνημείων κυρίως για την απεικόνιση των εξωτερικών τους όψεων και για μνημεία που απαιτούν υψηλή ανάλυση και προϊόν εικόνας για την συνολική εποπτεία του μνημείου και εστίαση στις κατά περίπτωση λεπτομέρειες του. Κυρίως, κερδίζει έδαφος σαν μέθοδος λόγω του χαμηλού οικονομικού κόστους, της χρήσης ενός γνωστού και συμβατού στον κοινό άνθρωπο μέσο και της ταχύτητας στις εργασίες πεδίου.

Οι εργασίες πεδίου περιλαμβάνουν συνήθως συνδυασμό τοπογραφικών μετρήσεων επί των φωτοσταθερών που έχουν τοποθετηθεί επί χαρακτηριστικών σημείων της επιφάνειας του αντικειμένου και φωτογράφιση του αντικειμένου περιμετρικά και όπου είναι το αντικείμενο της μελέτης με μία μεθοδολογία αντίστοιχη της πύκνωσης των στάσεων στην τοπογραφία, δηλαδή φωτογραφίες από διαφορετικές θέσεις έως την κάλυψη του μνημείου. Πρέπει επιπρόσθετα να διασφαλιστεί οι φωτογραφίες να έχουν έναν μεγάλο βαθμό επικάλυψης για να βοηθηθεί τα μέγιστα η λύση του στερεομοντέλου με πλήθος ομόλογων σημείων ώστε να επιτευχθεί η συνταύτιση του αντικειμένου και προφανώς η λήψη των εικόνων αυτών να εξασφαλίζει την ευκρινή φωτογράφιση των φωτοσταθερών που μετρώνται και τοπογραφικά. Οι ληφθείσες φωτογραφίες αποδίδουν και στο μοντέλο φωτοϋφή.



Εικόνα 4.2.4: Σαρωμένο μοντέλο με απόδοση φωτοϋφής τοποθετημένο στο περιβάλλον της φωτογραφίας (Γεωμετρική τεκμηρίωση του έργου «Εγκιβωτισμένη Έκρηξη». Αιγάλεω 2019, προσωπικό αρχείο)

4.2.4 Γεωδαιτικές μέθοδοι ακριβείας

Πρόκειται για την επιλογή μεθόδων και εξοπλισμού που είναι πιο εξειδικευμένος και με πιο ιδιαίτερες και συνδυαστικές λειτουργίες. Αφορά και την σάρωση των μνημείων με laser scanners η οποία αναλύθηκε για την σημαντικότητά και τον τρόπο λειτουργίας της στο 3^ο κεφάλαιο, αλλά και στη χρήση γεωδαιτικών εικονοσταθμών και γεωδαιτικών πολυσταθμών.

Πρόκειται, για ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς που έχουν ενσωματωμένη φωτογραφική κάμερα και με τη δυνατότητα επιλογής ταυτόχρονης τοπογραφικής μέτρησης και λήψης φωτογραφίας από την ίδια θέση η οποία εντάσσει απευθείας την φωτογραφία σε γνωστή θέση άρα και την γνώση και εξασφάλιση της θέσης της φωτογραφικής μηχανής κατά τη λήψη των φωτογραφιών.

Επιπρόσθετα, οι γεωδαιτικοί πολυσταθμοί (multistations) φέρουν τη δυνατότητα τοποθέτησης στη κορυφή τους μετά από αφαίρεση του στεφανιού τους, δέκτη GNSS, για την λήψη δορυφορικών μετρήσεων για τον εντοπισμό θέσης του

γεωδαιτικού σταθμού, μετατρέποντάς τον έτσι σε ένα γεωδαιτικό σταθμό με τρεις διαφορετικές και ταυτόχρονες δυνατότητες.

Μια άλλη εκδοχή τριπλής λειτουργίας ενός γεωδαιτικού σταθμού αποτελεί το προϊόν της εταιρείας *Trimble SX12*, το οποίο πρόκειται για ένα όργανο εφοδιασμένο με φωτογραφική κάμερα και σύνθετης διάταξης τηλεσκοπίου που μπορεί ταυτόχρονα και ανάλογα την επιλογή από το τηλεχειριστήριό του να εξυπηρετήσει τον μελετητή και σαν γεωδαιτικός σταθμός πραγματοποιώντας τοπογραφικές μετρήσεις αλλά και σαν επίγειος σαρωτής laser. Ενδεικτικά η επίδειξη της λειτουργίας του:

https://www.youtube.com/watch?v=9hcRdfLw17s&ab_channel=TrimbleGeospatial



Εικόνα 4.2.5: Ο ΟΓΣ και επίγειος σαρωτής laser Trimble SX12 (πηγή: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-sx12>)



Εικόνα 4.2.6: Ο γεωδαιτικός ρομποτικός εικονοσταθμός Trimble S9 με την ενσωματωμένη φωτογραφική κάμερα να διακρίνεται κάτω από το τηλεσκόπιο. (πηγή: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-s9>)



Εικόνα 4.2.7: Ο γεωδαιτικός πολυσταθμός Leica Nova MS60 SmartStation με την ενσωματωμένη φωτογραφική κάμερα να διακρίνεται πάνω από το τηλεσκόπιο και τον δέκτη GNSS στην κορυφή (πηγή: <https://leica-geosystems.com/products/total-stations/multistation/leica-nova-ms60>)

5. ΠΕΤΡΙΝΗ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΓΕΦΥΡΟΠΟΙΑ & ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

5.1 Πέτρινη παραδοσιακή γεφυροποιία

Γέφυρα σημαίνει ζεύξη. Ένωση δύο διαχωρισμένων τόπων από φυσικά ή τεχνητά στοιχεία. Σε μια χώρα ορεινή και με συνεχώς εναλασσόμενο γεωμορφολογικό ανάγλυφο όπως η Ελλάδα τέτοιοι διαχωρισμοί, δηλαδή τα υδάτινα ρέματα και ποτάμια, απαντώνται πάρα πολύ συχνά. Για την κάλυψη της βασικής ανάγκης της μεταφοράς και της προσπέλασης αυτών των εμποδίων κατασκευάστηκαν στην Ελλάδα και ειδικά στις ορεινές περιοχές πληθώρα πέτρινων παραδοσιακών γεφυριών από τα αρχαία χρόνια μέχρι και τις αρχές του 20ού αιώνα, πριν αρχίζει να κερδίζει τη μάχη του υλικού το σκυρόδεμα έναντι της πέτρας. Η εγκατάλειψη αυτή ως της βασικής μεθόδου κατασκευής γέφυρας επέφερε και την αναμενόμενη παύση χρησιμοποίησής τους από τον πληθυσμό ο οποίος μετακινήθηκε και σε ομαλότερες περιοχές να κατοικήσει και άρα να μετακινείται.

Τα πέτρινα γεφύρια όμως που ακόμα στέκουν, θαυμάζονται και αποτελούν πόλο έλξης για τον τρόπο και την τεχνική της κατασκευής τους. Η ανάπτυξη της τέχνης της γεφυροποιίας στην Ελλάδα έχει τις ρίζες της από τα αρχαία χρόνια και στη συνέχεια στα βυζαντινά και την τουρκοκρατία αλλά τα περισσότερα πέτρινα γεφύρια χτίστηκαν στη χώρα μας στη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα. Για κάθε χρονική περίοδο διαφοροποιείται και ο τρόπος κατασκευής, όπως αλλάζουν και οι τεχνικές κατασκευής ανάλογα τον τόπο. Ένα πέτρινο γεφύρι δεν είναι το ίδιο χτισμένο σε μια περιοχή με πεδινό ανάγλυφο παράλο που ομοίως ενώνει δύο όχθες. Επίσης, αλλάζει η προσέγγιση κατασκευής εξ αρχής ανάλογα την περιοχή όχι μόνο λόγω ανάγλυφου αλλά και καιρικών συνθηκών, καθώς ένα ρέμα σε περιοχή υψηλών βροχοπτώσεων φουσκώνει και αποτελεί μεγαλύτερο κίνδυνο, κάτι που ο κατασκευαστής του γεφυριού οφείλει να λάβει υπόψιν. Οι δύο αυτοί παράγοντες συναντώνται σε μεγάλη συχνότητα στη Δυτική Ελλάδα και κυρίως στην Ήπειρο που σαν περιοχή από μόνη της φημίζεται για την τεχνική κατασκευής πέτρινων γεφυριών. Τα πέτρινα γεφύρια στην Ήπειρο είναι 347 (Μαντάς, 2008). Εξάιρετα παραδείγματα παραδοσιακής πέτρινης γεφυροποιίας πάντως υφίστανται και στην Δυτική Θεσσαλία, την ορεινή Πελοπόννησο και Κρήτη.

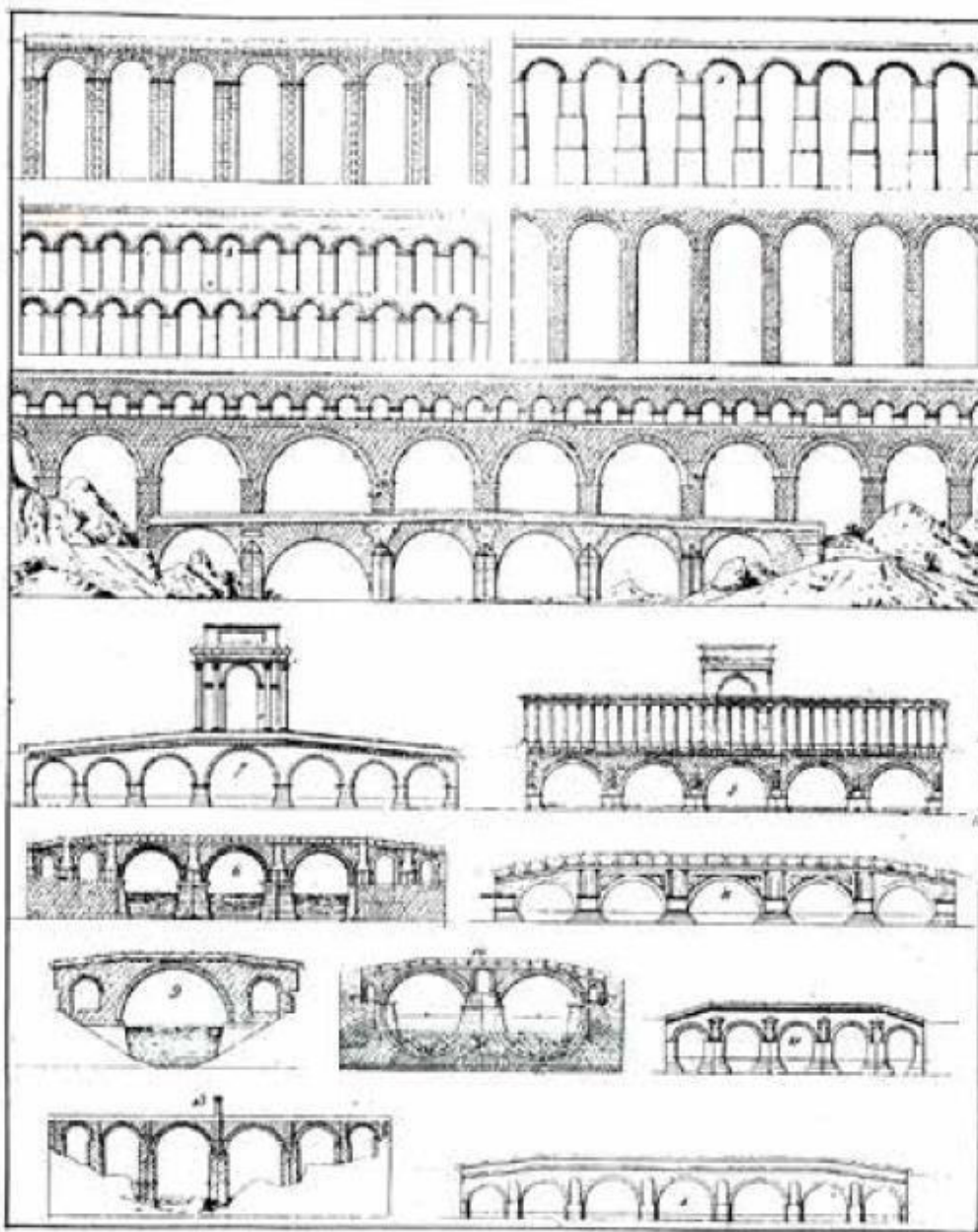
5.1.1 Ιστορική αναδρομή πέτρινων γεφυριών

Οι πρώτες πέτρινες γέφυρες έκαναν την εμφάνισή τους τα Ρωμαϊκά χρόνια σε μια περίοδο από τον 2^ο αιώνα π.Χ. μέχρι τα 550 μ.Χ. οι οποίες ήρθαν να αντικαταστήσουν τις μέχρι τότε ξύλινες γέφυρες ή τα περάσματα ποταμών και ρεμάτων που γινόταν από πλωτά στοιχισμένα βάρθρα. Η πολιτική απόφαση των Ρωμαίων να ενώσουν κάθε πόλη της αυτοκρατορίας τους με ένα νέο συγκεκριμένο οδικό δίκτυο, αναπόφευκτα οδήγησε και στην κατασκευή πολλών γεφυριών για να γίνει πράξη ο παραπάνω σχεδιασμός. Πρόκειται για γεφύρια χτισμένα με πλινθόλιθους και με μεγάλα σε όγκο βάρθρα (εικ. 5.1.1), κάτι που κάλυπτε και με το παραπάνω την ασφαλή προσαρμογή των τόξων πάνω σε αυτά τα βάρθρα. Ο πλούτος της αυτοκρατορίας βοήθησε στην κάλυψη της σπατάλης αυτής. Βέβαια, λόγω αυτής της φιλοσοφίας χτισίματος των ημικυκλικών τόξων άρα και των υπερογκών βάρθρων, η μεγάλη πλειοψηφία των ρωμαϊκών γεφυριών διασώζεται ακέραια μέχρι και σήμερα. Θα δούμε σε ύστερες πιο φτωχές εποχές ο άνθρωπος πείστηκε να αντιληφθεί λόγω συνθηκών ότι αυτή η μέθοδος κατασκευής δέχεται βελτιώσεις για την εξοικονόμηση πόρων, ώστε να μπορέσει να καλύψει την ανάγκη του.



Εικόνα 5.1.1: Γέφυρα του Αγίου Άγγελου, Ποταμός Τίβερης, Ρώμη. Διακρίνονται τα πλήρη ημικυκλικά τόξα (πηγή: <https://www.mondovagandosenzameta.it/ponte-sant-angelo-roma>)

Βασικές αρχές των γεφυριών της ρωμαϊκής εποχής, αποτελεί το χτίσιμο του γεφυριού με τόξο το οποίο είναι πλήρες ημικυκλικό, αρχή που δε παραβιάζεται σε κανένα γεφύρι της ρωμαϊκής εποχής, έχοντας ως αποτέλεσμα τα πολύ μεγάλα ανοίγματα των τόξων τα οποία έφταναν μέχρι και τα 39 μέτρα. (Μπούγια, 2000). Η κατασκευή των τόξων των ρωμαϊκών γεφυριών διακρίνεται από την απουσία χρήσης κονιάματος μεταξύ των πετρών, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται τελικά οι αρμοί πολύ λεπτοί σε πάχος, προσδίδοντας στη γέφυρα μία ενιαία και αυστηρή όψη. Η αναγκαστική προσαρμογή των τόξων σε πλήρες ημικύκλιο, και άρα υπερόγκων βάθρων, οδηγούσε κατά περιπτώσεις πλημμυρών σε δυσκολία ροής του νερού στο εκάστοτε ποτάμι.



Εικόνα 5.1.2: Τύποι Ρωμαϊκών γεφυριών (Γαλερίδης, 1995)

Στη συνέχεια, στα χρόνια της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας που ακολούθησαν δε σημειώθηκε μεγάλη ανάπτυξη πέτρινων γεφυριών. Αυτή εμφανίστηκε αργότερα κατά τον 13^ο αιώνα στη Γαλλία από μοναχούς που εξαναγκάστηκαν στο χτίσιμο πολλών γεφυριών για να διευκολύνουν τις διαβάσεις των οδοιπόρων. Μάλιστα σε αυτούς αποδίδεται η εισαγωγή στη γεφυροποιία των καταβιβασμένων θόλων, τους οποίους απέφευγαν οι παλαιότεροι, για το λόγο ότι υπήρχαν αυξημένες οριζόντιες ωθήσεις στα βάθρα. (Γαλερίδης, 1995). Προφανώς, το ρεύμα της Αναγέννησης τους τρεις επόμενους αιώνες μέσω της ίδρυσης Πανεπιστημίων και τεχνικών σχολών έδωσε νέα ώθηση στην ανάπτυξη της τέχνης της γεφυροποιίας. Από την περίοδο αυτή πολύ σημαντική είναι η γέφυρα του Νεϊγί στον ποταμό Σηκουάνα στο Παρίσι, η οποία κατασκευάστηκε από τον Ζαν-Ροντόλφ Περονέ, ιδρυτή της Γαλλικής Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, η οποία αποτελούνταν από πέντε πετρόχιστα τόξα και ήταν γνωστή για τα πέντε ανοίγματα ύψους σχεδόν 40 μέτρων. Ο Perronet διαπίστωσε ότι σε μία σειρά ίσων τόξων οι οριζόντιες ωθήσεις στα μεσόβαθρα εξισορροπούνται από το ίδιο βάρος της γέφυρας. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε το λεπτό πάχος των μεσόβαθρων με ταυτόχρονη αύξηση των ανοιγμάτων της γέφυρας. Με την μείωση του πάχους των βάθρων γίνεται πιο εύκολη η ροή του ποταμού, δεδομένου ότι μειώνονται οι στροβιλισμοί του νερού και έχει σαν αποτέλεσμα την οικονομική κατασκευή λόγω της μείωσης του πάχους των βάθρων και επειδή δεν είναι απαραίτητη η διαπλάτυνση της κοίτης του ποταμού στη θέση της γέφυρας.

Όσες γέφυρες κατασκευάστηκαν μέχρι το 17ο αιώνα συνεχίζουν την ρωμαϊκή παράδοση με τα ημικυκλικά τόξα. Ενώ όσες γέφυρες που κατασκευάστηκαν τον 18ο αιώνα γίνονται με οικονομία υλικού. Και κατά τον 19ο αιώνα οι πέτρινες γέφυρες κατασκευάζονται με ολοένα και μεγαλύτερη συχνότητα, ειδικά στον ελλαδικό χώρο και στην Ήπειρο και την δυτική Θεσσαλία. Λόγω συνθηκών φτώχειας, κακού εργασιακού περιβάλλοντος καθώς ακόμα πρόκειται για την εποχή της Τουρκοκρατίας εγκαταλείπεται η λογική του ημικυκλικού τόξου και των υπερόγκων βάθρων. Αρχικά, γίνεται λόγος για ορεινές περιοχές με απότομα μεν, αλλά στενά ρέματα. Τα βάθρα μπορούν εύκολα να χτίζονται εκατέρωθεν στις δύο όχθες και ονομάζονται πλέον γενέσεις, αλλά ακόμα και αν πρόκειται για γεφύρι σε μεγάλο ποταμό, το τόξο χαράσσεται έτσι ώστε η στεφάνη του να είναι όσο πιο λεπτή γίνεται άρα και με λιγότερα υλικά. Βεβαίως για τον διερχόμενο, παύει η διάβαση να είναι επίπεδη (εικ. 5.1.3) αλλά κινείται πλέον σε καμπύλη πορεία.



Εικόνα 5.1.3: Το γεφύρι του Κοντοδήμου ή Λαζαρίδη κατασκευής 1753. Διακρίνονται οι γενέσεις επί των οχθών και το καμπύλο κατάστρωμα εξοπλισμένο με αρκάδες ασφαλείας (πηγή: <https://hikingexperience.gr/kontodimos-gefyri>)

Παρόλο που με τα καινούργια υλικά μπορούν να κατασκευαστούν μεγαλύτερα ανοίγματα πιο οικονομικά, τα πέτρινα γεφύρια είναι αξεπέραστα από την άποψη της αντοχής στο χρόνο αλλά και από την αισθητική άποψη. (Γαλερίδης, 1995).

5.1.2 Οι μάστορες των πέτρινων γεφυριών

Μια νέα τεχνική χτισίματος, η ηπειρώτικη που θαυμάζεται μέχρι και σήμερα, γεννιέται από τον 18^ο αιώνα, κράμα της ανάγκης για ζεύξη με την δυσκολία σε πρόσβαση και τρόπο κατασκευής. Οι Ηπειρώτες μάστοροι έχουν αφήσει το δικό τους στίγμα με τα έργα τους. Κινητήριος δύναμη κατέστη και η αφθονία υλικού, δηλαδή της

ποταμίσιας πέτρας η οποία τύγγανε της κατάλληλης λάξευσης από τις ομάδες των Ηπειρωτών μαστόρων (τα μπουλούκια).

Η ζωή στα μπουλούκια ήταν επίπονη και λιτή, αλλά η μαεστρία δεν έλειπε. Για τους μαστόρους δεν υπήρχε διαχωρισμός μεταξύ τεχνικής και τέχνης. Η μαστοριά ήταν το σημείο όπου συναντιόνταν καίρια και απλά αυτό που έπρεπε να γίνει με το όπως έπρεπε να γίνει. Αυτά τα δύο συναρμόζονται στη βάση των βασικών στοιχείων που χαρακτηρίζουν τη δουλειά τους: το μεράκι, η γνώση και η εμπειρία καθώς και η ευελιξία τεχνικού πνεύματος. Το ευέλικτο και συνθετικό αυτό πνεύμα αποτυπώνεται στους τρόπος με τους οποίους οικειοποιούνται τεχνικές και αρχιτεκτονικά ιδιώματα από διάφορους τόπους, τροποποιώντας τα και μεταφέροντας τα μέσα από τα ταξίδια τους. Αποτυπώνεται επίσης στην θαυμαστή ικανότητα τους να προσαρμόζονται στις εκάστοτε συνθήκες και παραδόσεις κάθε τόπου, κάνοντας, κάθε φορά, σοφή χρήση των τοπικών υλικών δίνοντας λύσεις σε συγκεκριμένες ανάγκες και λειτουργίες.



*Εικόνα 5.1.4: Ηπειρώτικο μπουλούκι επί τω έργω. Επισκενή γέφυρας Κόνιτσας, Αωός ποταμός, 1913
(πηγή: www.pyrsogianni.gr)*

Οι μαστόροι είχαν ένα φόβο, μια αγωνία, όσο έχτιζαν ένα γεφύρι. Το ξεκαλούπωμα ήταν η πιο κρίσιμη στιγμή. Την κατασκευή των γεφυριών συνόδευαν πάντα θρύλοι και προλήψεις. Ευρέως γνωστός θρύλος της θυσίας της γυναίκας του πρωτομάστορα για το χτίσιμο του γεφυριού της Άρτας. Και η πρόληψη ότι πρέπει να ρίξει ο δωρητής του γεφυριού λεφτά στο ποτάμι για να το ηρεμήσει και να μη φουσκώσει. Ήταν μια προσπάθεια των μαστόρων να αποκτήσουν ηθικό και να προσεγγίσουν το ανεξήγητο (Γοργοπέτας, 2004). Υπάρχουν επίσης πολλές μαρτυρίες ότι στο τέλος αφού ήταν εντάξει και είχαν επιτύχει χειροκροτούσαν, υπήρχαν επιφωνήματα επιδοκίμασίας και θαυμασμού, ευχές και αγιασμός. Η επιτυχία ερχόταν με βάση την εμπειρία και αυτό σημαίνει ότι δεν είχαν μόνο επιτυχίες αλλά και αποτυχίες, από τις οποίες μέσα από αυτές μαθαίνανε. (Μαντάς, 2000). Μάλιστα, για να μπορούν να συνεννοούνται στο εχθρικό περιβάλλον της Τουρκοκρατίας ανέπτυξαν δικούς τους ιδιωτισμούς.

Η πιο πλούσια, ίσως, από όλες της Ελληνικές μυστικές - συνθηματικές γλώσσες είναι η γλώσσα των μαστόρων της Ηπείρου, τα Κουδαρίτικα. Ανήκει στην Ηπειροαιτωλική ομάδα και είναι όπως οι άλλες αντίστοιχες επαγγελματικές, γλώσσα φτιαχτή με λίγες λέξεις, σλαβικές, βλάχικες, τουρκικές, ιταλικές, αρβανίτικες, τσιγγάνικες, ισπανοεβραϊκές. Τα χρησιμοποιήθηκαν από τους μαστόρους ως μέσο άμυνας και προστασίας των συμφερόντων τους. Αναγκασμένοι να εργάζονται συχνά σ' ένα καχύποπτο και συχνά εχθρικό περιβάλλον ανέπτυξαν αυτό το ιδιαίτερο λεξιλόγιο για την μεταξύ τους συνεννόηση αλλά λειτουργούσε ταυτόχρονα και ως επιβεβαίωση της ιδιαίτερης ταυτότητας τους. Χρησιμοποιείται αποκλειστικά από τους μαστόρους και όπως είναι φυσικό το λεξιλόγιο περιστρέφεται γύρω από τη ζωή και το περιβάλλον της δουλειάς τους, τις σχέσεις με τους εργοδότες και την καθημερινή ζωή τους. (<https://14gymlar-petrinagefyria.webnode.gr/news/ta-koydaritika/>)

5.1.3 Χαρακτηριστικά πέτρινων γεφυριών

Βασικό στοιχείο της κατασκευής των πέτρινων γεφυριών είναι το τόξο ή αλλιώς η καμάρα. Η κατασκευή των πέτρινων τόξων και θόλων, παρόλο που ήταν γνωστή στην Αρχαία Ελλάδα, επεκτάθηκε κυρίως από τους Ρωμαίους, οι οποίοι ήταν πολύ καλοί κατασκευαστές τεχνικών έργων. Αν και οι Ρωμαίοι έχουν κατασκευάσει περισσότερα γεφύρια οι Έλληνες είναι οι πιο επιφανέστεροι μηχανικοί της αρχαιότητας. Για παράδειγμα, ο Μανδροκλής ο Σάμιος (6ος αι. π.Χ.) που έζησε τον

Βόσπορο, ο Άρπαλος ο Σάμιος (6ος – 5ος αι. π.Χ.) που έξευξε τον Ελλήσποντο και ο Απολλόδωρος ο Δαμασκηνός (60 – 125 μ.Χ.) που κατασκεύασε την γέφυρα στον Δούναβη. Το αρχαιότερο πέτρινο τοξωτό γεφύρι κλασσικής περιόδου βρίσκεται στη Ρόδο. (Γεωργακόπουλος, 1995).



Εικόνα 5.1.5: Μονότοξο Γεφύρι Κοκκόρου, Ζαγοροχώρια. Το Τόξο. Το βασικό κατασκευαστικό χαρακτηριστικό των γεφυριών της εποχής (πηγή: <https://hikingexperience.gr/kokkori-gefyri/>)

Ο παραπάνω είναι ένας τύπος γεφυριού, το μονότοξο. Τέτοια γεφύρια είχαν πλεονεκτήματα όπως λιγότερο κόστος κατασκευής, γρηγορότερος ρυθμός και ολοκλήρωση κατασκευής, χαμηλότερος κίνδυνος υπερχειλίσης του γεφυριού από τον ποταμό ή το ρέμα, αλλά με μειονέκτημα την μειωμένη αντοχή σε φορτία και την απότομη διάβαση του θόλου. Κυρίως συναντώνται σε ορεινές περιοχές της Ελλάδας και σε στενά ρέματα, αλλά υπάρχουν και οι περιπτώσεις όπου επιλέχθηκε η κατασκευή μονότοξου μεγάλου σε μήκος γεφυριού, όπως στη Μεσοχώρα και την Πλάτη Τρικάλων με τις προϋποθέσεις για στατική επάρκεια να είναι το άνοιγμα να μην ξεπερνάει τα 30 μέτρα, το ύψος τόξου να κυμαίνεται στα 20 μέτρα και το πλάτος του φορέα να μην ξεπερνάει τα 3 μέτρα. (Γαλερίδης, 1995).

Το τόξο αν παρουσιάζει προς την θέση κλειδώματός του, εκεί που τοποθετείται η πέτρα κλειδί ή σφήνα δηλαδή, τριγωνική κατάληξη, είναι οξύκορφο τόξο (εικ. 5.1.6)

και έχει μυτερή απόληξη τότε χαρακτηρίζεται ως ισλαμίζον τόξο. Επίσης, τα πλάτη κάθε πέτρινου γεφυριού ήταν πάντα στενά και δε ξεπερνούσαν τα 2 μέτρα.



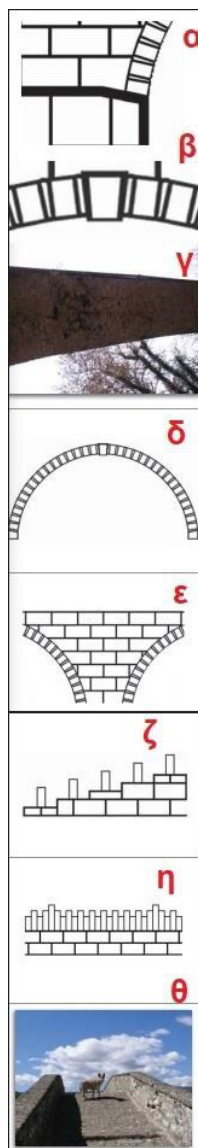
Εικόνα 5.1.6: Μονότοξο γεφύρι του Ατσιλόχου στον ποταμό Λούσιο με το χαρακτηριστικό οξύκορφο ισλαμίζον τόξο

Γένεση (εικ. 5.1.7 α) αποκαλείται η συνήθως οριζόντια επιφάνεια έδρασης των τόξων πάνω στα βάθρα. Αυτή δε συμπίπτει πάντοτε με το χαμηλότερο σημείο του βάθρου.

Το τόξο εκκινεί από τη γένεση λοιπόν και αποτελείται από τις καλολαξευμένες εκείνες πέτρες οι οποίες ονομάζονται καμαρολίθια ή θολίτες. Στο τέλος, στη διαδικασία του κλειδώματος της γέφυρας, τοποθετείται η πέτρα σφήνα ή κλειδί, (εικ. 5.1.7 β) η οποία είναι ο κορυφαίος θολίτης του τόξου λαξευμένη σε σχήμα ανάποδου τραπεζίου.

Αναφορικά με το τόξο ξεχωρίζει το στεφάνι (εικ. 5.1.7 δ), δηλαδή η όψη του τόξου η οποία είναι ορατή και ανάντη και κατόντη του γεφυριού. Το εσωράχιο (εικ. 5.1.7 γ) ή άντυγα η οποία είναι η κάτω επιφάνεια του τόξου η οποία είναι ορατή αν σταθεί κάποιος κάτω από το γεφύρι. Αντιθέτως το εξωράχιο είναι η πάνω επιφάνεια του τόξου που δεν είναι ορατή γιατί σε αυτήν ακουμπά με τη σειρά του το κατάστρωμα.

Το κατάστρωμα είναι η λιθόστρωτη ή πλακόστρωτη επιφάνεια πάνω στην οποία γίνεται η διέλευση του γεφυριού. Στη συνέχεια περυγότοιχοι (εικ. 5.1.7 ε) αποκαλούνται οι πλευρικοί τοίχοι μεταξύ των εξωράχιων των τόξων ή μεταξύ του εξωράχιου του τόξου και του βάθρου. Επί του καταστρώματος για λόγους ασφαλείας τοποθετούνταν συνήθως αλλά όχι πάντοτε οι αρκάδες (εικ. 5.1.7 ζ) πέτρες κάθετες στο κατάστρωμα που επεδείκνυαν τα όρια βιάδισης του καταστρώματος, και κυρίως έθεταν ένα όριο και για τα μουλάρια που διάβαιναν το γεφύρι, καθώς οι άνθρωποι για το πέρασμα του γεφυριού κατέβαιναν από τα ζώα. Καλύτερος τρόπος ασφάλισης του καταστρώματος ήταν η κατασκευή επ' αυτού στηθαίου (εικ. 5.1.7 θ), ή συνδυασμό στηθαίου με αρκάδες (εικ. 5.1.7 η) δηλαδή ενός χαμηλού αλλά συμπαγή και ενιαίου τοίχου στην άκρη του καταστρώματος καθόλο το μήκος του γεφυριού.



Εικόνα 5.1.7: Χαρακτηριστικά στοιχεία πέτρινου τοξωτού γεφυριού (πηγή: Τα πέτρινα τοξωτά γεφύρια της Ελλάδας, Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Μακρινίτσας, Δεκέμβριος 2007)



Εικόνα 5.1.8: Γεφύρι Παλιοκαρβάς. Τόξο αρχόμενο πιο ψηλά από τη γένεσή του (Πετρονώτης, 2012)

Η άλλη κατηγορία είναι τα πολύτοξα γεφύρια τα οποία συνήθως απαντώνται σε πεδινές, ημιορεινές ή και ορεινές περιοχές με έντονο ανάγλυφο όπου όμως η κοίτη του ποταμού χαρακτηρίζεται από μεγάλο πλάτος. Μία μεγάλη σε πλάτος κοίτη όμως μαρτυρά ότι το περιβάλλον έδαφος δεν είναι εντελώς στέρεο και αποτελείται από φερτά υλικά. (Γαλερίδης, 1995). Μία μεγάλη δυσκολία που παρουσιάζουν τα πολύτοξα γεφύρια είναι το γεφύρωμα του μεγάλου ποταμού στην πεδιάδα χρησιμοποιώντας βάθρα τα οποία εδράζονταν σε χαλαρά εδάφη λόγω των μεγάλων ανοιγμάτων. (Πετρονώτης, 2000).

Επόμενο βασικό στοιχείο των πέτρινων γεφυριών είναι τα βάθρα. Είναι οι κατασκευές εκείνες που συνδέουν τον τοξωτό φορέα με το έδαφος και στις οποίες στερεώνεται ένα γεφύρι, οπότε κατέχουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή θέσης και στην ακρίβεια της κατασκευής. Η στατική τους σημασία στα πολύτοξα γεφύρια παίζει ακόμα μεγαλύτερο ρόλο γιατί τα ενδιάμεσα βάθρα, κινδυνεύουν από τα ορμητικά νερά του ποταμού αλλά και από τα φερτά του υλικά. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις κατά παρόμοιο τρόπο κινδυνεύουν και πλήττονται τα βάθρα των μονότοξων γεφυριών. Η ενίσχυση ενός βάθρου επιτυγχάνεται μέσω της κατασκευής επί αυτού ενός προβόλου ή προεξοχής ή εμβόλου στην όψη του εκάστοτε βάθρου.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό στοιχείο που απαντάται σε πολλά πέτρινα γεφύρια όχι όμως σε όλα, είναι τα ανακουφιστικά τόξα. Κατασκευάζονται πιο μικρά σε μέγεθος τόξο και λειτουργούν σαν τρύπες επί των πτερυγότοιχων προσφέροντας ασφάλεια και αποφόρτιση-ανακούφιση όπως και λέγονται εξάλλου, δημιουργώντας δίοδο για το νερό αν το γεφύρι δέχεται μεγάλο όγκο από πιθανή υπερχείλιση του ποταμού. Έχουν παρομοίως μορφή τόξων οπότε δεν επηρεάζεται η στατικότητα του καταστρώματος ή γενικά του γεφυριού. Υπάρχουν ανακουφιστικά τόξα επίσης σε ισλαμίζουσα τριγωνική μορφή, αλλά και σε μορφή τεταρτοκυκλική.



Εικόνα 5.1.9: Γεφύρι Σαρακίνας, Πηνειός ποταμός. Διακρίνονται τα τρία τεταρτοκυκλικά ανακουφιστικά τόξα και το ένα ισλαμίζον (πηγή: Γαλερίδης, Θεσσαλικά Γεφύρια, 1995)



*Εικόνα 5.1.10: Το τετράτοξο πέτρινο γεφύρι της Άρτας. Διακρίνονται τα τόξα μεταβλητής ακτίνας, τα ανακουφιστικά τόξα σε κάθε βάθρο και τα βάθρα με τα έμβολά τους
(πηγή: <https://www.arta.gr/building/to-gefyri-tis-artas/>)*



*Εικόνα 5.1.11: Το τρίτοξο γεφύρι Πλακίδα στο κεντρικό Ζαγόρι, εφοδιασμένο με προεξοχές επί των βάθρων και αρκάδες επί του καταστρώματος αλλά χωρίς ανακουφιστικά τόξα
(πηγή: <https://petrinagefiria.com/?q=content/gefyri-plakida>)*

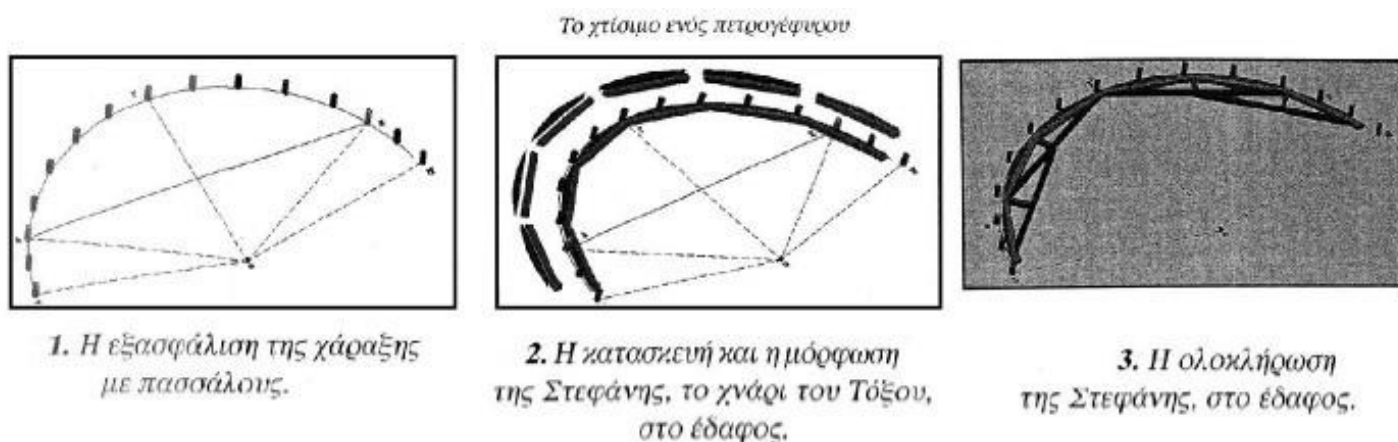
5.1.4 Κατασκευή πέτρινου γεφυριού

Σε αρχικό στάδιο, πριν αρχίσει η κατασκευή ενός γεφυριού, το πρώτο βήμα ήταν η επιλογή της θέσης που αυτό θα λάμβανε χώρα. Αυτό επιλεγόταν να γίνει σε κατάλληλη θέση εδάφους δηλαδή ένα σταθερό βραχώδες κατά προτίμηση έδαφος θεμελίωσης ήταν μακράν προτιμότερο από ένα χαλαρό έδαφος. Ένα άλλο βήμα που λαμβανόταν συνδυαστικά υπ' όψιν από τους μάστορες ήταν να βρεθεί το στενότερο σημείο του ποταμού και να αρχίσει από εκεί, όσο το δυνατόν, η θεμελίωση. Σε περιπτώσεις όπου οι συνθήκες δεν ήταν ευνοϊκές, τότε αναγκαστικά το γεφύρι χτιζόταν σε ημιβραχώδες ή αμμώδες έδαφος. Επίσης, η κατασκευή ενός πέτρινου γεφυριού έπρεπε να ήταν μια σειρά διαδοχικών βημάτων πολύ καλά προσχεδιασμένων. Η προετοιμασία ήταν τέτοια όπου μαρτυρίες αναφέρουν οι πέτρες που προορίζονταν για καμαρολίθια λαξυόταν πριν την εκκίνηση της κατασκευής και μάλιστα αριθμούνταν κιάλας (Πετρονώτης, 2000). Η όλη διαδικασία κατασκευής ενός πέτρινου γεφυριού εμπίπτει και σε χρονικά περιθώρια, καθώς έπρεπε να αποφευχθούν οι φυσιολογικά αυξημένες ροές του εκάστοτε ποταμού ή ρέματος κατά τους χειμερινούς μήνες. Επομένως τα μπουλούκια ξεκίναγαν αρχές Μαΐου και μέχρι την αρχή του φθινοπώρου έπρεπε να είχαν ολοκληρώσει τις εργασίες τους.

Η θεμελίωση του γεφυριού ήταν μία από τις πιο σημαντικές και ουσιώδεις διαδικασίες από μια σειρά αυτών κατά την κατασκευή του. Τα πιο πολλά γεφύρια κατά τη διάρκεια της κατασκευής κατέρρεαν και αυτό επειδή η θεμελίωση δεν ήταν καλή. Έπρεπε να επιλεγθεί σημείο τέτοιο ώστε συνδυαστικά να είναι και σε στενό άνοιγμα του ποταμού και σε όσο το δυνατόν σταθερό έδαφος και όσο το δυνατόν πιο ανασηκωμένο από την στάθμη του ποταμού για να μη δέχεται πολύ όγκο νερού στη βάση του. Για παράδειγμα, το γεφύρι της Άρτας το οποίο βρίσκεται σε πεδινό έδαφος θεμελιώθηκε σε αμμώδης έκταση του κάμπου και εμποτεύεται συνεχώς, αλλά και το γεφύρι της Πλάκας το οποίο είναι και το μεγαλύτερο μονότοξο πέτρινο γεφύρι στα Βαλκάνια και το οποίο κατέρρευσε από τα ορμητικά νερά του Αράχθου τον Φεβρουάριο του 2015 και αναστηλώθηκε τον Ιούλιο του 2020. Να αναφερθεί ότι η πορεία των έργων αναστήλωσης έχει κινηματογραφηθεί από κάτοικο της περιοχής και παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον. (https://www.youtube.com/playlist?list=PL0t_F-lwa61V1_2MMpai2IzISOYMJeucT). Μεγάλη διδακτική αξία για τον τρόπο κατασκευής ενός πέτρινου γεφυριού έχει και το παρακάτω κινηματογραφικό υλικό (https://www.youtube.com/watch?v=VwR33tPN0K8&ab_channel=SpirosMantas).

Αφού επιλεγεί η θέση του γεφυριού το επόμενο βήμα αποτελεί η σχεδιάσή του. Το σχήμα που θα είχε το γεφύρι, ο αριθμός των τόξων και το πόσο μεγάλη ή όχι θα είναι η ακτίνα χάραξης του κάθε τόξου υπολογιζόταν με βάση το βάρος των φορτίων και τη χρήση που θα είχε το γεφύρι. Και γι' αυτό αναλόγως κατασκεύαζαν πιο πολλά τόξα ώστε να αποφεύγονται τα μεγαλύτερα ανοίγματα. (Γαλερίδης, 1995). Όσο πιο μεγάλο το άνοιγμα ενός τόξου τόσο πιο ευαίσθητο στο φόρτο, αλλά η επιλογή τοποθέτησης παραπάνω τόξου επέφερε και το ανάλογο κόστος και λαμβανόταν υπόψη.

Σειρά παίρνει η χάραξη στο επίπεδο (εικ. 5.1.12) του τόξου, δηλαδή η απόφαση για το μήκος του ύψους του h και του ανοίγματός του D . Στη συνέχεια στη πορεία της ακτίνας γίνεται η εξασφάλιση της χάραξης του τόξου με πασσάλους και ύστερα η κατασκευή της Στεφάνης στο έδαφος.

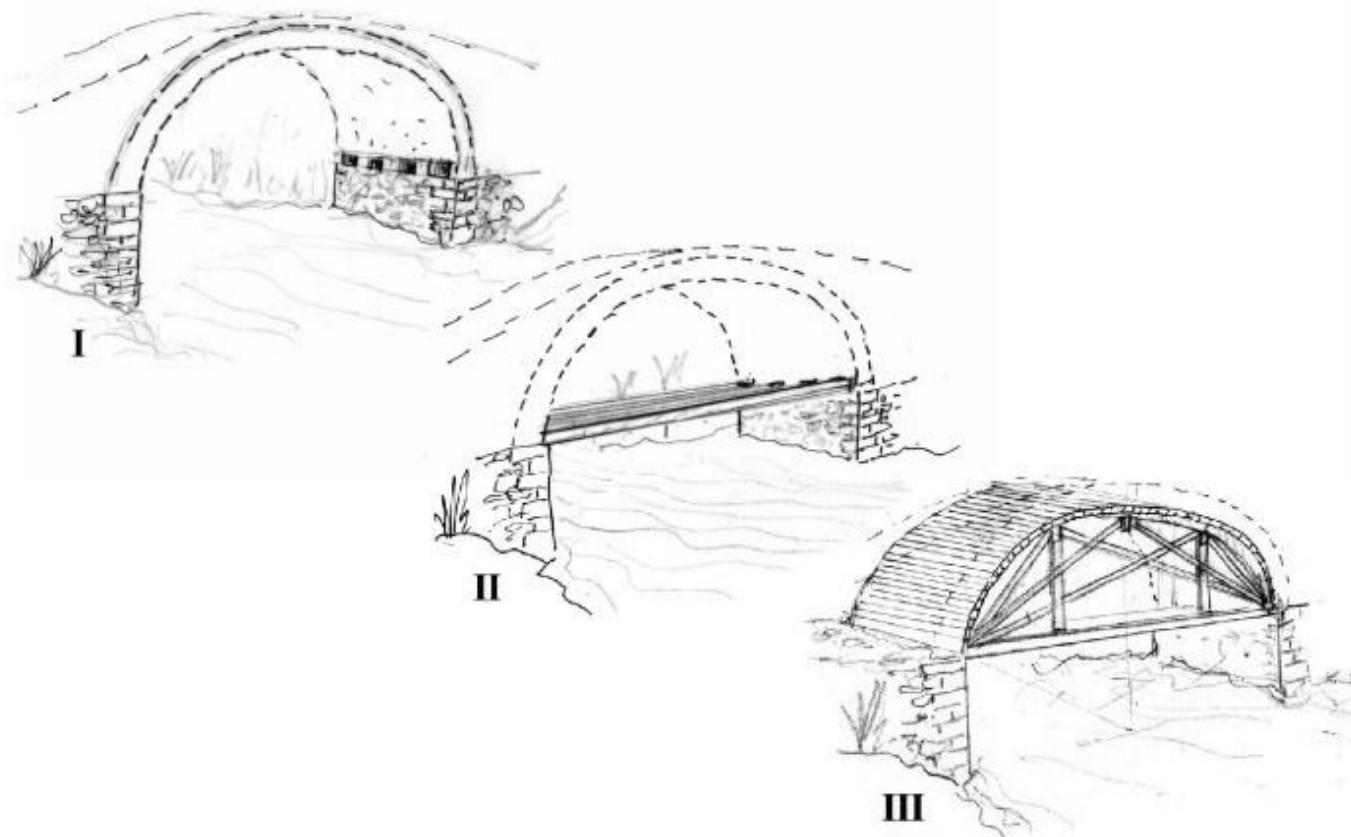


Εικόνα 5.1.12: Αρχικά βήματα κατασκευής τοξωτού γεφυριού (Πετρονότης, 2012)

Έπειτα έπρεπε να επιλεγεί το υλικό που θα χρησιμοποιούσαν. Αυτό ήταν οι πέτρες οι οποίες ήταν από τα πετρώματα της περιοχής. Χρησιμοποιούνταν πιο συχνά ασβεστόλιθοι, αργιλικοί, σχιστόλιθοι και ψαμμόλιθοι και πιο σπάνια χρησιμοποιούσαν γρανίτες και γνεύσιους όπου υπήρχαν αλλά είναι το πιο σκληρό πέτρωμα και δύσκολα λαξεύεται. Ύστερα καθορίζονταν ο αριθμός και το σχήμα των λίθων με αποτέλεσμα κάθε πέτρα να λαξεύεται καταλλήλως από τους πετροτχνίτες και να παίρνει το τελικό της σχήμα ανάλογα και την θέση για την οποία προοριζόταν. Πρώτα έχτιζαν τα θεμέλια τα οποία ήταν κυρίως ορθογωνικής διατομής στις όχθες του ποταμού ή του ρέματος και μετά στηνόντουσαν οι ξύλινες σκαλωσιές για τα τοξωτά μέρη του γεφυριού.

Το τόξο για να υλοποιηθεί, αρχικά γινόταν ένα καλούπωμα. Η αρχή για την τοποθέτηση ξύλινων καλουπιών γινόταν με μια εργασία στα βάθρα. Σε αυτά στην

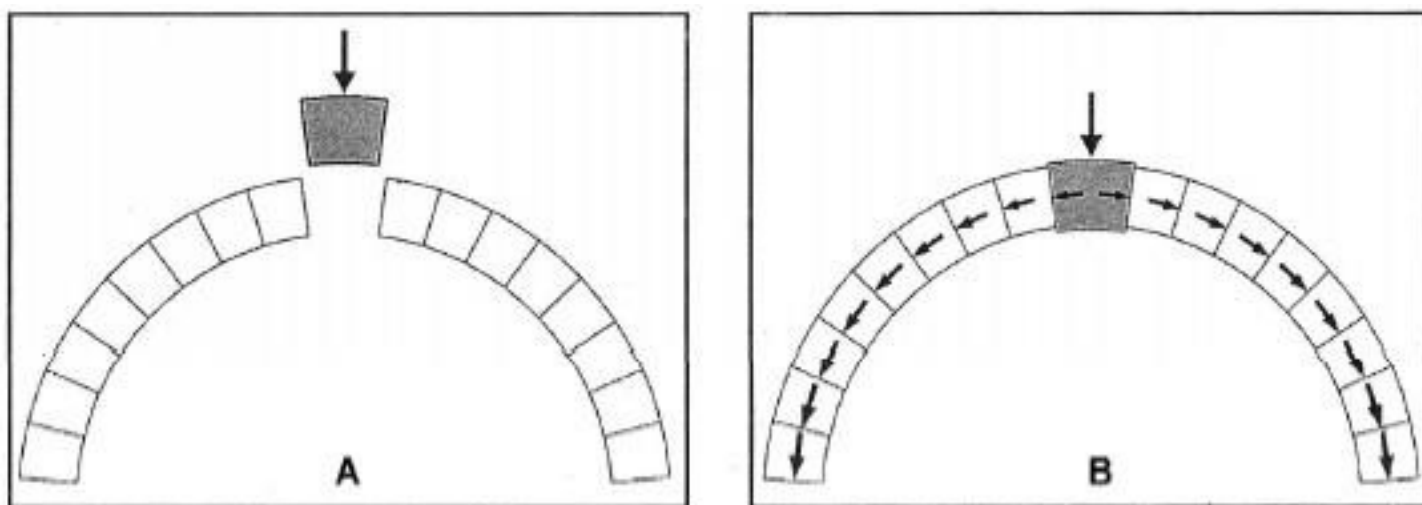
εσωτερική πλευρά που είχε όψη προς τον ποταμό αφήνονταν κενές, δηλαδή δεν συμπληρωνόταν από πέτρα 3 θέσεις. Αυτές οι θέσεις ονομάζονται δοκοθήκες γιατί ως κούφιας σφήνωνε το ξύλινο καλούπι οριζόντια μέσα τους (εικ. 5.1.13). Από αυτήν την πρώτη οριζόντια διάταξη ξύλινων καλουπιών στη συνέχεια σχηματίζονταν τα υπόλοιπα καλούπια ως χορδές προς το τόξο του γεφυριού.



Εικόνα 5.1.13: Βήματα καλούπωσης τοξωτού γεφυριού. (Πετρονώτης, 2012)

Η κατασκευή των τόξων γινόταν συνήθως από κάτω προς τα πάνω και από τις δύο πλευρές και στο τέλος τοποθετούνταν η μεσαία πέτρα, το κλειδί. (Γαλερίδης, 1995). Όλες οι πέτρες του τόξου είχαν μία σφηνοειδή μορφή και όταν γινόταν η αφαίρεση του ξύλινου καλουπιού του τόξου, οι πέτρες έπεφταν κάτω και έτσι σφήνωναν μεταξύ τους. Με την τοποθέτηση του «κλειδιού» (εικ.5.1.14) όλα τα βάρη μεταβιβάζονται στο έδαφος έδρασης της γέφυρας (Παπάζογλου, 2009). Αν και τα καλολεξευμένα καμαρολίθια θεωρητικά δεν απαιτούσαν την χρήση κονιάματος, στην πράξη όλοι οι μάστορες χρησιμοποιούσαν κονίαμα μεταξύ των θολιτών. Τα κονιάματα που χρησιμοποιούνται στα γεφύρια είναι από ασβεστοκονίαμα αρίστου ποιότητας. Επιπρόσθετα ενισχύονταν με τρίμμα κεραμιδιού ή και χώμα από τη εδάφη της

Σαντορίνης. Ως ενισχυτικά υλικά τοποθετούσαν επίσης μέσα στο κονίαμα άχυρα, κρόκοι και ασπράδια αυγών τα οποία αύξαναν την συνδετική του ικανότητα.



Εικόνα 5.1.14: Τοποθέτηση κλειδιού ή σφήνας στην καμάρα (Πετρονώτης, 2012)

Η κατασκευή των πέτρινων γεφυριών είναι μία διαδικασία πολύ επίπονη όπου συνήθως συναντάμε πολλές δυσκολίες, όπως για παράδειγμα η κατασκευή του τόξου, η θεμελίωση, η επιλογή της θέσης και η επιλογή της εποχής. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας είναι η εποχή αφού σχετίζεται με την στάθμη του νερού των ποταμών των οποίων η πλημμύρα είναι από τους πιο δύσκολους παράγοντες στην κατασκευή των γεφυριών. Επειδή η κατασκευή του τόξου γινόταν πάνω σε ξύλινα καλούπια τα οποία πατούσαν στην κοίτη του ποταμού οι μαστόροι εκείνης της εποχής για να αποφύγουν τα προβλήματα, ξεκινούσαν την κατασκευή του γεφυριού αρχές καλοκαιριού και το τελείωναν αρχές Σεπτεμβρη πριν ξεκινήσουν τα φθινοπωρινά πρωτοβρόχια. (Μαντάς, 1984).

Η θέση όπου επιλεγόταν για να κατασκευαστεί ένα γεφύρι ήταν αυτό που προσδιόριζε το σχήμα του γεφυριού. Δηλαδή, αν θα ήταν μονότοξο, δίτοξο ή τρίτοξο αλλά και τις διαστάσεις του γεφυριού, μήκος, πλάτος και άνοιγμα της καμάρας. Συνήθως οι τεχνίτες θεμελιώναν τα ακρόβαθρα πάνω σε βράχους, ώστε να είναι πιο στέρεα τα θεμέλια του γεφυριού και να μην υπάρχει ο κίνδυνος να παρασυρθούν από τα νερά του ποταμού. Επίσης, διάλεγαν το πιο στενό πέρασμα του ποταμού για να κατασκευάσουν μικρά τόξα, για να είναι γερά και ασφαλή και να αντέχουν τα βαριά φορτία.

Η θεμελίωση των γεφυριών σε ορεινά βραχώδη εδάφη, ήταν μία απλή διαδικασία, ενώ σε πεδινά εδάφη ήταν πολύ δύσκολη, επειδή απαιτούνταν η σταθεροποίησή τους, κάτι που δεν γνώριζαν οι αρχαίοι πρόγονοι. Για να σταθεροποιηθεί το έδαφος χρησιμοποιούσαν ξύλινους πασσάλους από δρυ ή καστανιά, τους οποίους έκαιγαν ελαφρώς την επιφάνεια για να μην σαπίζουν. Σήμερα, γίνεται με την ίδια διαδικασία μόνο που αλλάζει η αντικατάσταση των ξύλινων πασσάλων με πασσάλους από μπετόν.

Τα υλικά που χρησιμοποιούσαν ήταν κυρίως από πέτρες, όπου επιλέγονταν από την γύρω περιοχή. Κυρίως ήταν ασβεστόλιθοι, σχιστόλιθοι, πωρόλιθοι και γρανίτες το οποίο είναι το πιο σκληρό πέτρωμα. Οι πέτρες που χρησιμοποιούσαν για να κατασκευάσουν το τόξο είχαν σφηνοειδή μορφή, λέγονταν θολίτες και ήταν από λαξευμένο πωρόλιθο. Η εξωτερική όψη του γεφυριού ήταν από λαξευτές πέτρες, ενώ το υπόλοιπο από μη επεξεργασμένες πέτρες. Για τα επιχρίσματα χρησιμοποιούσαν συνήθως το ασβεστοκονίαμα και το κουρασάνι που αποτελούνταν από κεραμίδι, ελαφρόπετρα, ασβέστη και νερό. Σε πολλά γεφύρια χρησιμοποιούσαν και σιδεριές όπου τις κάρφωναν στο σώμα του γεφυριού με σκοπό να ενισχύσουν την τοιχοδομή του.

Τα πέτρινα τοξωτά γεφύρια είναι μία στατική κατασκευή. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της στατικής λειτουργίας του τόξου, είναι ότι δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή καμία παραδοχή αντοχής τους σε εφελκυσμό, όπως και όλες οι τοιχοποιίες. Τα είδη τοιχοποιίας που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των πέτρινων γεφυριών είναι (Γαλερίδης, 1995):

- Λαξευτή λιθοδομή (συνήθως κλείδα και σπάνια τόξο)
- Ξεστή λιθοδομή (συνήθως τόξο και άλλα στοιχεία)
- Ισόδομη λιθοδομή (συνήθως τόξο)
- Λιθοδομή εκ πλακοειδών λίθων (συνήθως γενέσεις τόξου αλλά και αλλού)
- Λιθοδομή από λίθους με έδραση (συνήθως τα τύμπανα)
- Λιθοδομή τύπου μωσαϊκού (συνήθως τα τύμπανα)
- Λιθοδομή από αργούς λίθους (συνήθως τα τύμπανα)

Τέλος, Η αντοχή της λιθοδομής μαζί με ένα καλό κονίαμα και έντεχνο σύνδεσμο των λίθων μεταξύ τους, εξαρτάται από την αντοχή των λίθων και όχι του

κονιάματος. Μία μέτριας κατασκευής λιθοδομή, έχει πιο πολλή αντοχή από μία κατασκευή με άοπλο σκυρόδεμα. Μαζί με ένα καλό κονίαμα και ένα καλό σύνδεσμο λίθων, η αντοχή του πρίσματος της λιθοδομής μπορεί να φτάσει αισίως και τα 2/3 της αντοχής του πετρώματος σε θλίψη. Η συμπίεση του κονιάματος των αρμών βελτιώνει την αντοχή των λίθων. (Γαλερίδης, 1995).

5.2 Παραδοσιακή πέτρινη Τοιχοποιία

Η τοιχοποιία αποτέλεσε το μοναδικό δομικό υλικό για την κατασκευή παγκοσμίως όλων των έργων, μέχρι την εμφάνιση και τη χρήση του χάλυβα στα μέσα του 19^{ου} αιώνα και του σκυροδέματος στις αρχές του 20^{ου}. Πρόκειται για έναν συνδυασμό υλικών, τα οποία είναι τα τοιχοσώματα και το συνδετικό κονίαμα. Η προέλευση του τοιχοσώματος ή λιθοσώματος, δηλαδή αν είναι φυσικό ή τεχνητό σαν παραγόμενο προϊόν, διαχωρίζει τις τοιχοποιίες σε δύο βασικές κατηγορίες, σε τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους (λιθοδομές) και σε τοιχοποιίες από τεχνητούς λίθους (πλινθοδομές). Ένας άλλος διαχωρισμός υφίσταται αναφορικά με τρόπο λειτουργίας τους.

5.2.1 Τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους

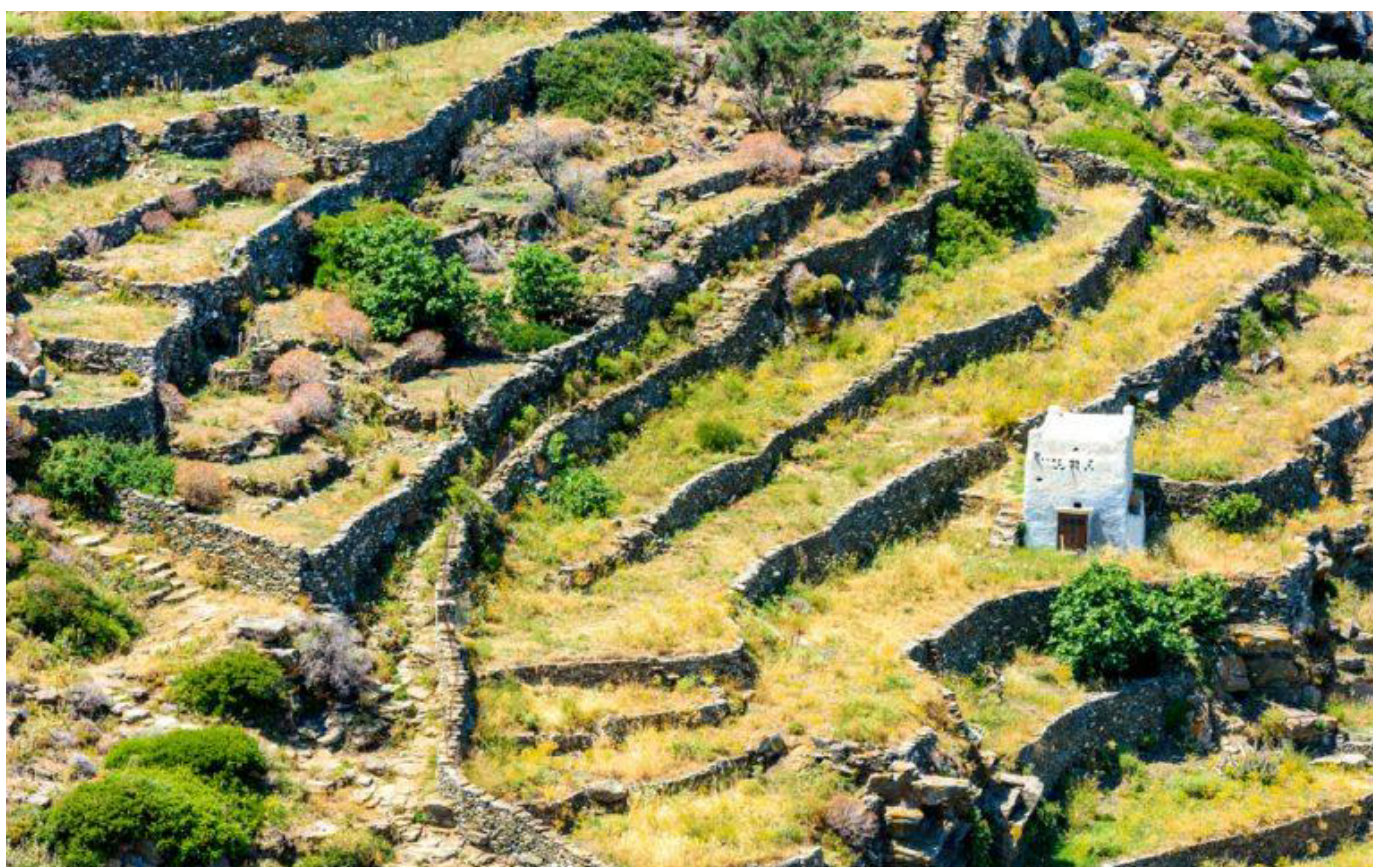
Η προέλευση του τοιχοσώματος, διακρίνεται σε φυσικό ή τεχνητό, επομένως και οι τοιχοποιίες χωρίζονται σε αυτές που αποτελούνται από φυσικούς λίθους (λιθοδομές) και σε αυτές που αποτελούνται από τεχνητούς λίθους (πλινθοδομές).

Οι τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους (λιθοδομές) οι οποίες αφορούν και την πέτρινη παραδοσιακή τοιχοποιία αποτελούν το αρχαιότερο και κυριότερο δομικό υλικό, στις περισσότερες περιοχές της γης, μέχρι την εμφάνιση και την ευρεία εφαρμογή του σκυροδέματος. Βασικό συστατικό τους είναι οι λίθοι προερχόμενοι από φυσικά και κυρίως ανθεκτικά πετρώματα, οι οποίοι έχουν υποστεί συγκεκριμένη κατεργασία προκειμένου να αποκτήσουν κατάλληλο σχήμα ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή συγκεκριμένου έργου. Από γεωλογικής άποψης, οι λίθοι που χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά, έχουν προέλευση ηφαιστειογενή, ιζηματογενή και μεταμορφωσιγενή. (Καραντώνη, 2012). Τα ηφαιστειογενή πετρώματα προέρχονται από την στερεοποίηση της ηφαιστειακής ύλης (γρανίτες), ενώ τα ιζηματογενή δημιουργήθηκαν από αποθέσεις υδατικών διαλυμάτων ή από την μεταφορά μέσω ανέμου, υλικών που προήλθαν από την διάβρωση ηφαιστειακών

πετρωμάτων (ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες). Τέλος τα μεταμορφωσιγενή έχουν σχηματισθεί από ανακρυστάλλωση των ιζηματογενών ή ηφαιστειογενών πετρωμάτων, η οποία συνέβη σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας (μάρμαρα, σχιστόλιθοι).

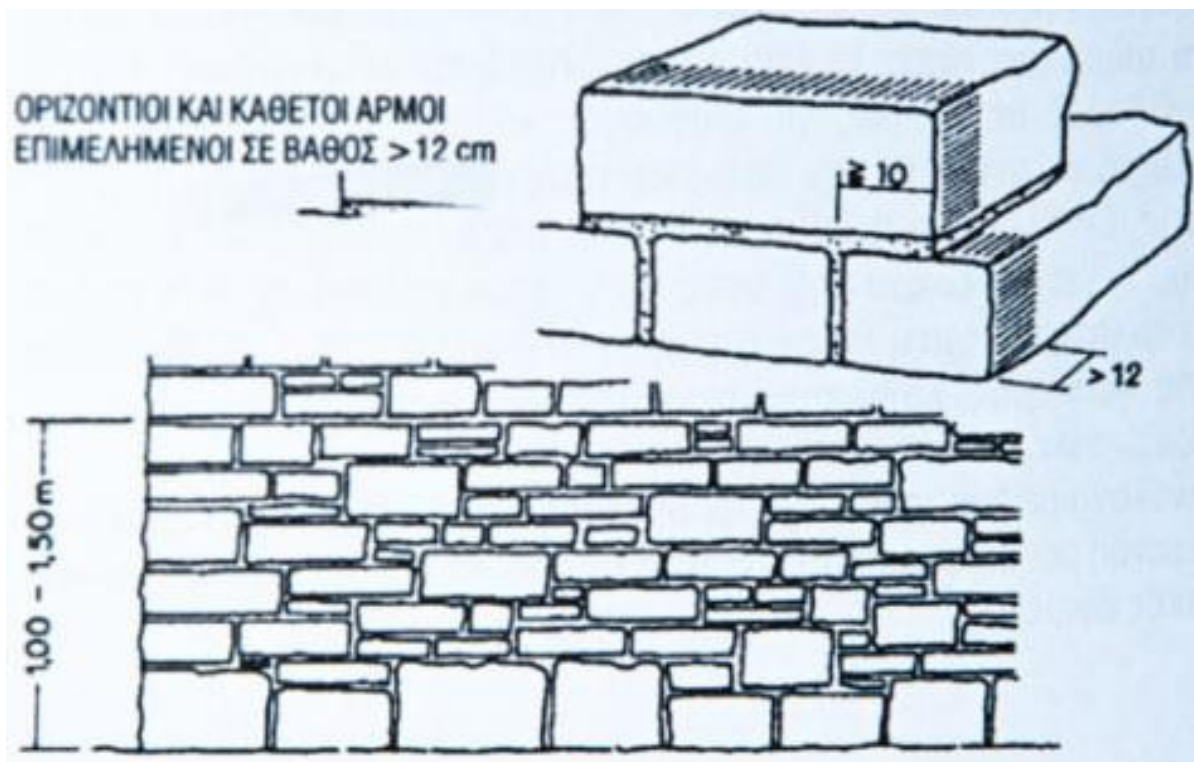
Οι τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους, ανάλογα με το αν έχουν ή όχι συνδετικό κονίαμα, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες. Τις ξερολιθιές, τις λιθοδομές και τις χυτές τοιχοποιίες.

Οι **ξερολιθιές** χαρακτηρίζονται από την χρήση ακατέργαστων φυσικών λίθων χωρίς τη χρήση συνδετικού κονιάματος τοποθετούμενες την μία πάνω από την άλλη σε δομή ικανή να παρέχει μία αρχική σταθερότητα. Λόγω όμως της προφανούς αδυναμίας τους να υποστηρίξουν σημαντικές οριζόντιες δυνάμεις, σήμερα χρησιμοποιούνται στην χώρα μας κυρίως για περίφραξη (εικ. 5.2.1), την οριοθέτηση αγροτεμαχίων ειδικά αν βρίσκονται σε υψομετρική διαφορά, αλλά και για πρόχειρους χαμηλούς τοίχους αντιστήριξης. Στο παρελθόν, ξερολιθιές από μεγάλους λίθους (ογκόλιθους), είχαν χρησιμοποιηθεί και για την κατασκευή πρόχειρων καταλυμάτων ιδιαίτερα στην περιοχή της Μάνης.



Εικόνα 5.2.1: Σειρά ξερολιθιών σε υψομετρική διαφορά (πηγή: <https://www.kathimerini.gr/k/travel/1005227/xerolithia-i-pagkosmia/>)

Οι **λιθοδομές** γενικά, αποτελούνται από φυσικούς λίθους ενωμένους μεταξύ τους με συνδετικό κονίαμα. Έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή όλων των ειδών κατασκευών όπως οικοδομές, γέφυρες, τοίχοι αντιστήριξης και οχυρωματικά έργα. Μέχρι και την εμφάνιση του οπλισμένου σκυροδέματος, χρησιμοποιούνταν λιθοδομές για κάθε είδους κατασκευή, ενώ στα τέλη του 19ου αιώνα αντικαταστάθηκε στα κτιριακά έργα από τις οπτόπλινθους (τούβλα). Αξίζει να αναφερθεί ότι οι λιθοδομές πλέον χρησιμοποιούνται σπανίως σε νέες οικοδομές ωστόσο η γνώση τους παραμένει απαραίτητη, καθώς ένα μεγάλο μέρος των κτιρίων των ελληνικών πόλεων και σχεδόν το σύνολο των ιστορικών κτιρίων είναι κατασκευασμένα με αυτό το υλικό. Βέβαια, σε εξοχικές κατοικίες ή σε παραδοσιακούς οικισμούς η χρήση των λιθοδομών είναι ταυτόχρονα και υποχρεωτική από την αρχιτεκτονική του τόπου αλλά και επιθυμητή για τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η πέτρα σαν υλικό όπως δροσιά και ξηρασία. Τα ιστορικά κτίρια λιθοδομών συχνά απαιτούν επεμβάσεις, όπως επισκευές ή και ενισχύσεις οι οποίες προϋποθέτουν την γνώση του υλικού αλλά και του τρόπου κατασκευής τους. Ανάλογα με την κατεργασία των φυσικών λίθων, χωρίζονται σε ημιλαξευμένες λιθοδομές και λαξευμένες λιθοδομές. Ημιλαξευμένες ονομάζονται οι λιθοδομές που κατασκευάζονται με λίθους που έχουν υποστεί μερική επεξεργασία, ενώ λαξευμένες είναι οι λιθοδομές που κατασκευάζονται από λίθους πλήρως κατεργασμένους (λαξευτούς) σε όλες τις έδρες.



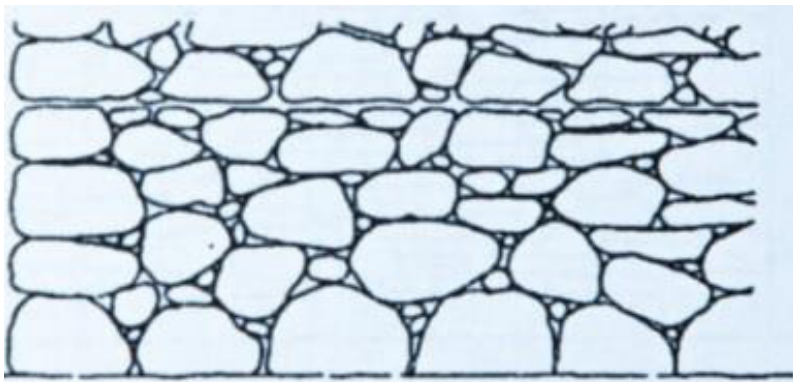
Εικόνα 5.2.2: Σκαρίφημα λαξευτής τοιχοποιίας (πηγή: <https://egialeasciv.gr/2021/01/02/lithodomes/>)

Οι **αργολιθοδομές** είναι μία υποκατηγορία των λιθοδομών και αποτελούνται από τελείως ακατέργαστους ή ελαφρά κατεργασμένους λίθους, έτσι ώστε να αποκτήσουν σχήμα και μέγεθος που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγκεκριμένο έργο. Η πλειονότητα των νεότερων κατασκευών από λιθοδομή έχει κατασκευαστεί από αργολιθοδομή, λόγω του μικρού κόστους της σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους. (Καραντώνη, 2012). Για την κατασκευή των αργολιθοδομών χρησιμοποιούνται ακατέργαστοι, δηλαδή αργοί, λίθοι αλλά πρέπει να βρίσκονται σε τέτοια μορφή ώστε οι πλευρές τους να προσαρμόζουν μια τοιχοποιία, έχοντας πλευρές όσο το δυνατόν πιο ομαλές και επίπεδες.



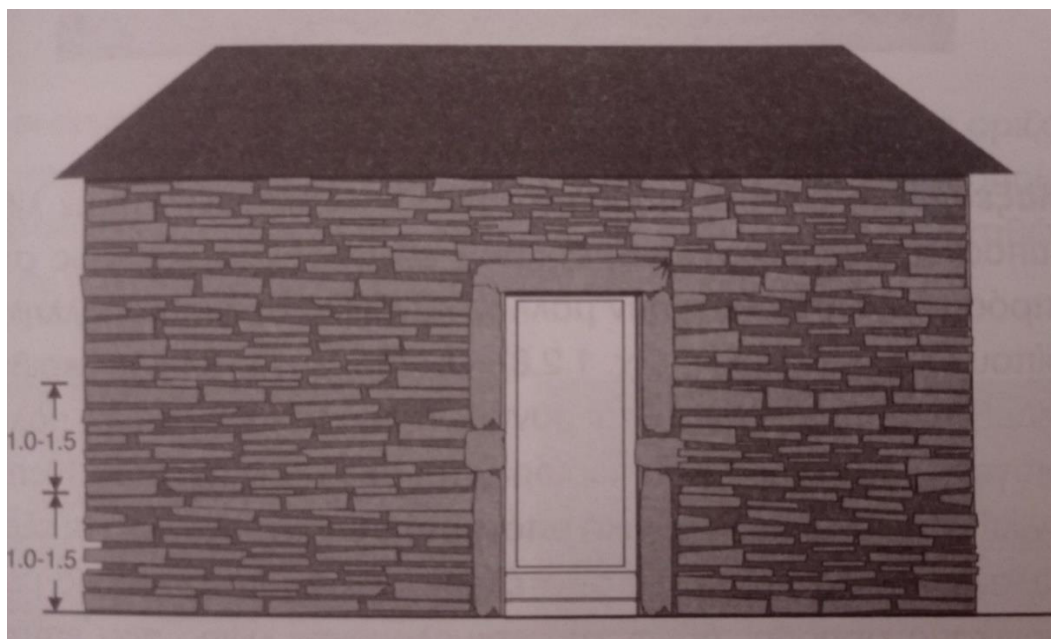
Εικόνα 5.2.3: Ενδεικτική αργολιθοδομή (πηγή: <http://5a.arch.ntua.gr/project/4247/5267>)

Επιπλέον υπάρχουν οι κροκαλολιθοδομές ονομάζονται οι λιθοδομές που αποτελούνται από λίθους κροκαλοειδούς μορφής. Οι κροκάλες είναι λίθοι με λεία επιφάνεια και στρογγυλεμένα άκρα που προέκυψαν έπειτα από διεργασίες τριβής από ρέοντα ύδατα των ποταμών αλλά παρουσιάζουν μικρή αντοχή σε θλίψη. Αυτό τις καθιστά απαγορευτικές για χρήση σε τοίχο που θα είναι συνδετικός. Οι κροκάλινες πέτρες βρίσκονται σε αφθονία στις όχθες των ποταμών των ορεινών περιοχών.



Εικόνα 5.2.4: Σκαρίφημα κροκαλολιθοδομής (πηγή: <https://egialeasciv.gr/2021/01/02/lithodomes/>)

Πλακολιθοδομές λέγονται οι λιθοδομές που αποτελούνται από λίθους οι οποίοι έχουν κανονική πλακοειδή μορφή. Οι πέτρες συνθέτουν μια πλακολιθοδομή λέγονται σχιστολιθικά πετρώματα ή σχιστόπλακες. Χαρακτηριστικό τους αποτελεί το λεπτό τους πάχος, το οποίο όμως δε πρέπει να είναι μικρότερο των 10 cm, στην όψη αλλά το γεγονός ότι πρέπει να έχουν τουλάχιστον πενταπλάσιο μήκος στην κάτοψη.



Εικόνα 5.2.5: Σκαρίφημα ενδεικτικής πλακολιθοδομής (Καραντώνη, 2012)

Τέλος, οι χυτές τοιχοποιίες αποτελούνται από μείγματα πηλού, κροκαλόλιθων ακόμα και σκυροδέματος. Το μείγμα πλαισιώνεται από καλούπι το οποίο αποτελείται από οπτόπλινθους (εικ. 5.2.6) οι οποίοι έχουν διττό ρόλο καθώς αποτελούν ταυτόχρονα και την εξωτερική επένδυση του τοίχου. Οι χυτές τοιχοποιίες είναι χαρακτηριστικές της ρωμαϊκής εποχής.



Εικόνα 5.2.6: Κατασκευή χυτής τοιχοποιίας του νότιου τοίχου του Ρωμαϊκού ωδείου της Πάτρας (πηγή: <https://explore.patras.gr/listing/romaiiko-odeiogr/>)

5.2.2 Χαρακτηριστικά πέτρινης παραδοσιακής τοιχοποιίας

Αρχικά, αναλόγως με τη λειτουργία που προορίζονται οι τοιχοποιίες διαχωρίζονται σε:

Φέρουσες ονομάζονται οι τοιχοποιίες που προορίζονται να μεταφέρουν στο έδαφος κατακόρυφα ή/και οριζόντια φορτία, σε αντίθεση με αυτές που κατασκευάζονται για την διαμόρφωση των χώρων. Σ' ένα κτίριο χωρίς σκελετό, φέροντες είναι οι τοίχοι που μεταφέρουν τα κατακόρυφα φορτία από τη στέγη και τα πατώματα στο έδαφος. Υπό σεισμική δράση, φέροντες είναι όχι μόνο αυτοί, αλλά και όσοι συνδέονται με αυτούς. Στη διεθνή βιβλιογραφία οι τοίχοι που συνεισφέρουν στην διατηρητική αντίσταση των κτιρίων ονομάζονται διατηρητικοί τοίχοι. Υπό ορισμένες συνθήκες σύνδεσης ακόμα και οι τοίχοι πλήρωσης των πλαισίων σε κτίρια με σκελετό είναι φέροντες για οριζόντια φόρτιση και σε αυτό οφείλεται η διαγώνια ρηγματώσή τους. Σ' ένα κτίριο από φέρουσα τοιχοποιία, η κατασκευή όλων των κατακορύφων φερόντων στοιχείων, πρέπει να προηγείται αυτής των οριζοντίων.

Πληρώσεως ονομάζονται οι τοίχοι που δεν προορίζονται για την μεταφορά φορτίων αλλά κατασκευάζονται για να διαμορφώσουν τους χώρους σε ένα οικοδόμημα. Οι μη φέροντες τοίχοι σε ένα κτίριο από φέρουσα τοιχοποιία πρέπει να κατασκευάζονται μετά τα πατώματα ή τις πλάκες, εκτός αν έχει γίνει ειδικός έλεγχος ώστε να μην μεταφέρονται φορτία σε αυτούς.

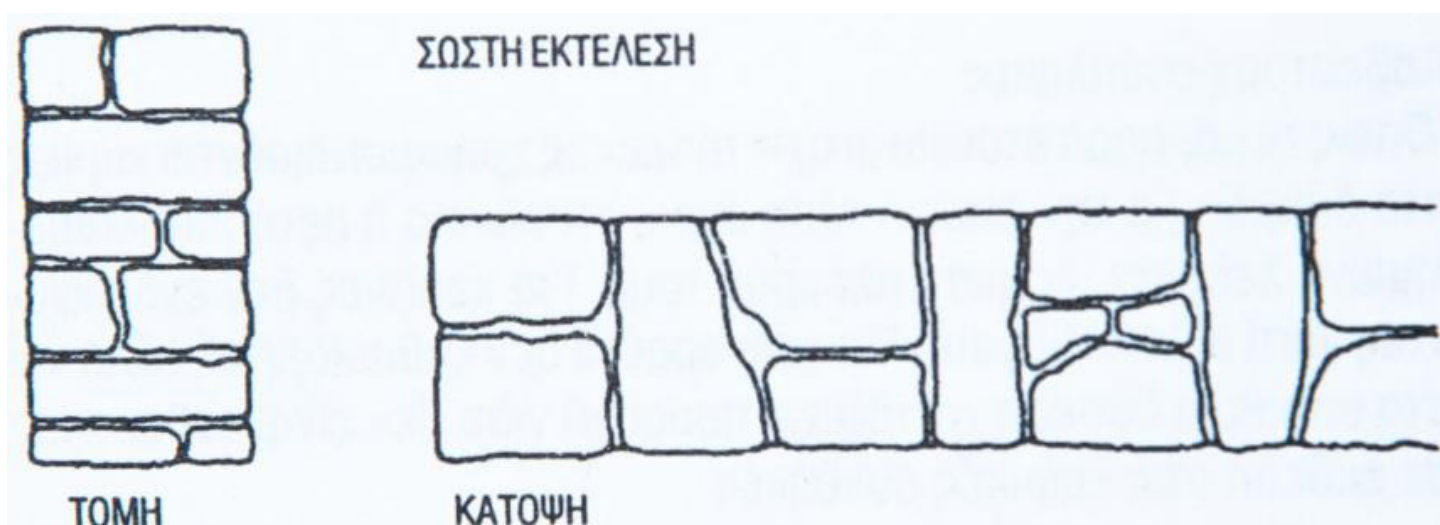
Αντιστήριξης είναι οι τοίχοι που στηρίζουν γαιώδη πρανή. Εδώ πρέπει να γίνει ένας διαχωρισμός των παλαιών πραγματικών τοιχοποιιών αντιστήριξης από τις νεότερες, που στην πραγματικότητα είναι επένδυση τοίχων αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα και γίνονται κυρίως για αισθητικούς λόγους ή για την εναρμόνιση των τοίχων με το περιβάλλον.

Επένδυσης είναι οι τοίχοι που κατασκευάζονται σε επαφή με τους τοίχους των ανωτέρων κατηγοριών ή με στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα και χρησιμοποιούνται μόνο για διακοσμητικούς λόγους. Η δόμησή τους είναι ιδιαίτερα επιμελημένη μιμούμενη την λαξευμένη λιθοδομή, πλακολιθοδομή ή να είναι από ειδικές διακοσμητικές πλίνθους.

Ειδικότερα, για τις φέρουσες τοιχοποιίες υφίσταται μια κατηγοριοποίηση ανάλογα τον τρόπο δόμησής της. Πρόκειται για την **άοπλη τοιχοποιία**, στην οποία τα

τοιχοσώματα συνδέονται μεταξύ τους μόνο με τη χρήση κονιάματος. Η **οπλισμένη τοιχοποιία** στην οποία εκτός από το κονίαμα την σύνδεση των τοιχοσωμάτων βοηθάει και η χρήση χαλύβδινων δοκών και πλεγμάτων. Τέλος, υπάρχει η **προεντεταμένη τοιχοποιία** στην οποία εισάγονται σκοπίμως εσωτερικές θλιπτικές τάσεις, μέσω εφελκόμενου οπλισμού.

Σε μια λιθοδομή οι πέτρες πρέπει να αρμολογούνται οριζόντια και κατακόρυφα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μην υπάρχουν ούτε στο εξωτερικό ούτε στο πυρήνα της, συνεχείς αρμοί.

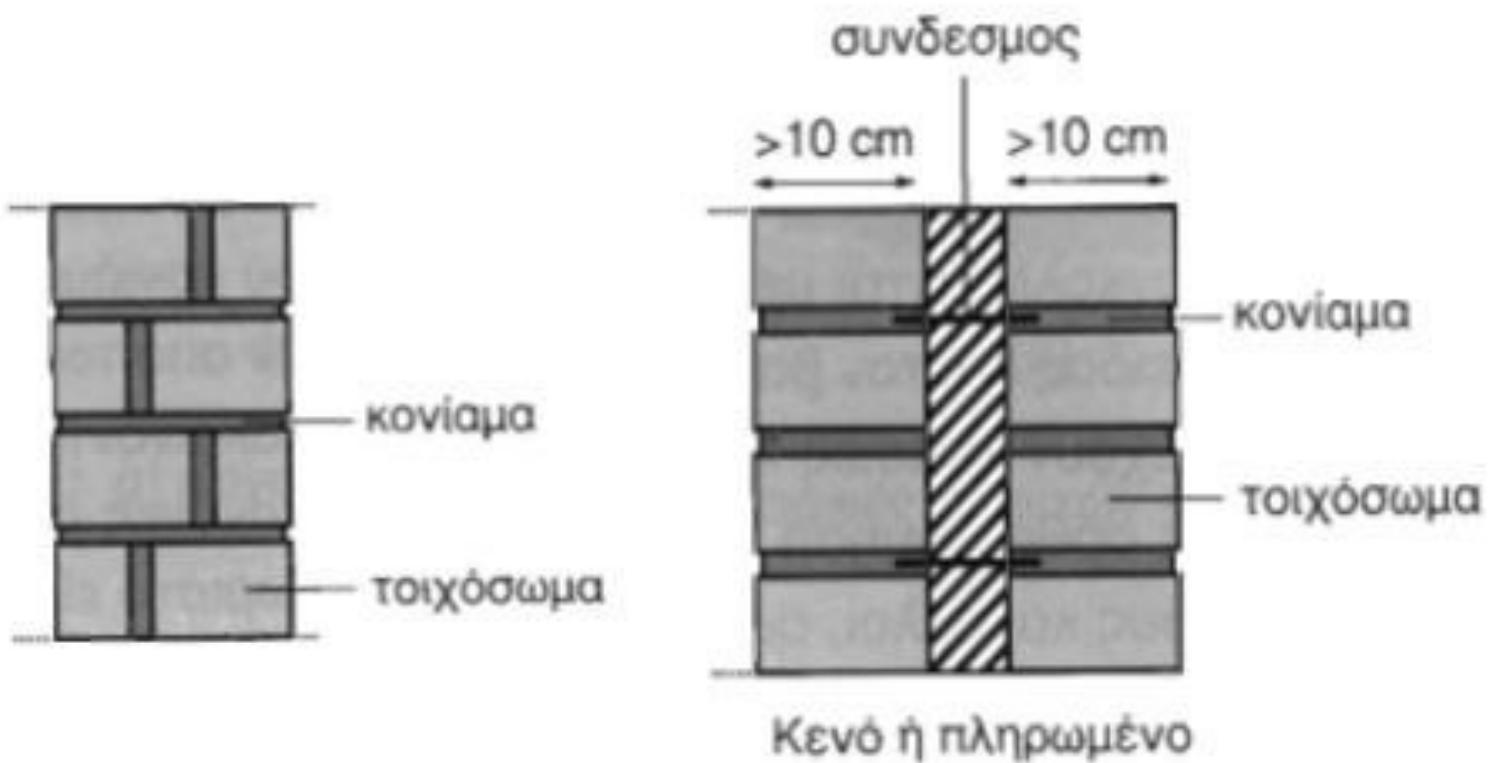


Εικόνα 5.2.7: Ορθή αρμολόγηση λιθοδομής (πηγή: <https://egialeasciv.gr/2021/01/02/lithodomes/>)

Επίσης, η ποιότητα αλλά και η τοποθέτηση του κονιάματος σε έναν τοίχο παίζει μεγάλη σημασία καθώς συμβάλλει σημαντικά στην στατική ικανότητα της τοιχοποιίας. Η επιλογή τοποθέτησης του κονιάματος χαρακτηρίζει τον τρόπο δόμησης.

Η πρώτη είναι η **συμπαγής** δόμηση στην οποία δεν διακρίνονται ξεχωριστές στρώσεις τοιχοσώματος και κονιάματος κατακόρυφα.

Η δεύτερη είναι η **κοίλη** ή με πυρήνα τοιχοποιία. Σε αυτή τη δόμηση διακρίνονται η εσωτερική και εξωτερική στρώση, και ανάμεσά τους ο πυρήνας, ο οποίος μπορεί να είναι είτε κενός (δίστρωτη τοιχοποιία) είτε γεμισμένος με ένα εκ των υλικών κονίαμα, τσιμεντοκνίαμα, κροκαλόδεμα και σκυρόδεμα. Συγκεκριμένα, για την περίπτωση της κοίλης τοιχοποιίας η οποία έχει κενό πυρήνα και χρησιμοποιείται ως φέρουσα τοιχοποιία, κρίνεται απαραίτητη η σύνδεση των κατακόρυφων στρώσεων με συνδέσμους, καθώς και κάθε στρώση να έχει ελάχιστο πάχος 10cm (Καραντώνη, 2012)



Εικόνα 5.2.8: Συμπαγής τοιχοποιία αριστερά και δεξιά τοιχοποιία με πυρήνα εφοδιασμένη με σύνδεσμο (Καραντώνη, 2012)

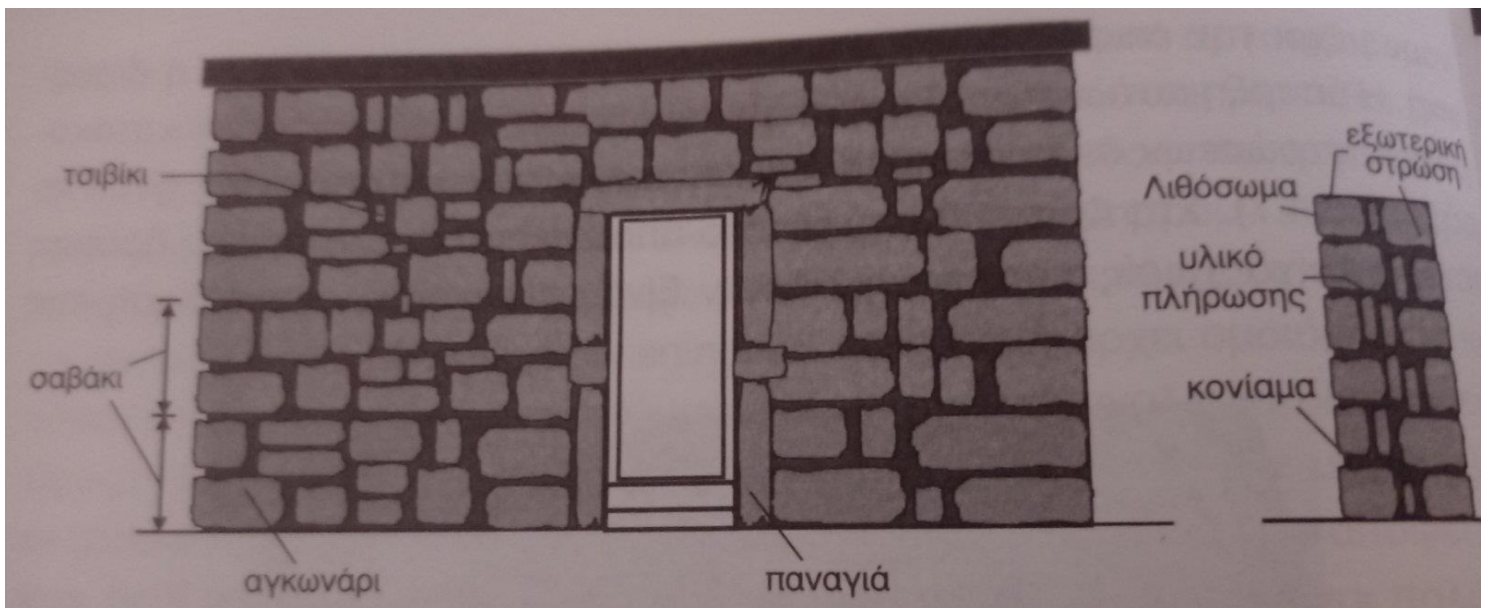
Σε μία φέρουσα τοιχοποιία επιβάλλεται η παύση στρώσης λίθων και η εξίσωση του τοίχου με στρώση οριζόντιας σειράς κονιάματος καθώς για ύψος μεγαλύτερο του 1,50 μέτρου οι κατά μήκος και εγκάρσιες συνδέσεις της λιθοδομής ίσως παρουσιάσουν προβληματική συμπεριφορά και για αποφύγουμε την ολίσθηση του τοίχου διαμορφώνουμε οριζόντιες στρώσεις κονιάματος ανά 1 με 1,50 μέτρο ύψους του τοίχου, αρχίζοντας πάλι με τι πιο μεγάλες και πιο κατάλληλες πέτρες.

Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό της παραδοσιακής πέτρινης τοιχοποιίας που ξεχωρίζει αμέσως είναι η υλοποίηση των γωνιών των τοίχων. Η διαμόρφωση των γωνιών και των συμβολών των τοίχων επιτυγχάνεται με τη χρήση ημιλαξευμένων μεγάλων τοιχοσωμάτων τα οποία ονομάζονται **ακρογωνιαίοι λίθοι** ή **γωνιόλιθοι** ή **αγκωνάρια**. Αυτά τοποθετούνται εναλλάξ έτσι ώστε η πέτρα στη μία όψη του τοίχου να είναι επιμηκής και στην άλλη πιο κοντή και αντίστροφα η επόμενη και ούτω καθεξής.



Εικόνα 5.2.9: Η δομή των λαξευμένων γωνιόλιθων (πηγή: <http://5a.arch.ntua.gr/project/4245/4707>)

Άλλα στοιχεία μιας αργολιθοδομής αποτελούν οι **παναγιές**. Πρόκειται για τις μακρόστενες λαξευμένες πέτρες που τοποθετούνται για την δημιουργία της εισόδου σε μια πέτρινη κατασκευή. Συνήθως το ύψος της εισόδου καλύπτεται με τη χρήση δύο παναγιών καθώς η χρησιμοποίηση ενός μόνο για όλο το ύψος δε θα αποτελούσε σταθερή λύση. Τις δύο παναγιές ενώνει μία ορθογώνια πέτρα. Οι μικρές διορθωτικές πέτρες που χρησιμοποιούνται σαν μπαλώματα για την τελική διαμόρφωση της τοιχοποιίας ονομάζονται **τσιβίκια**. Τέλος, τα τμήματα μεταξύ δύο παράλληλων οριζόντιων σειρών στρώσεων αρμών ονομάζεται **σαβάκι**.

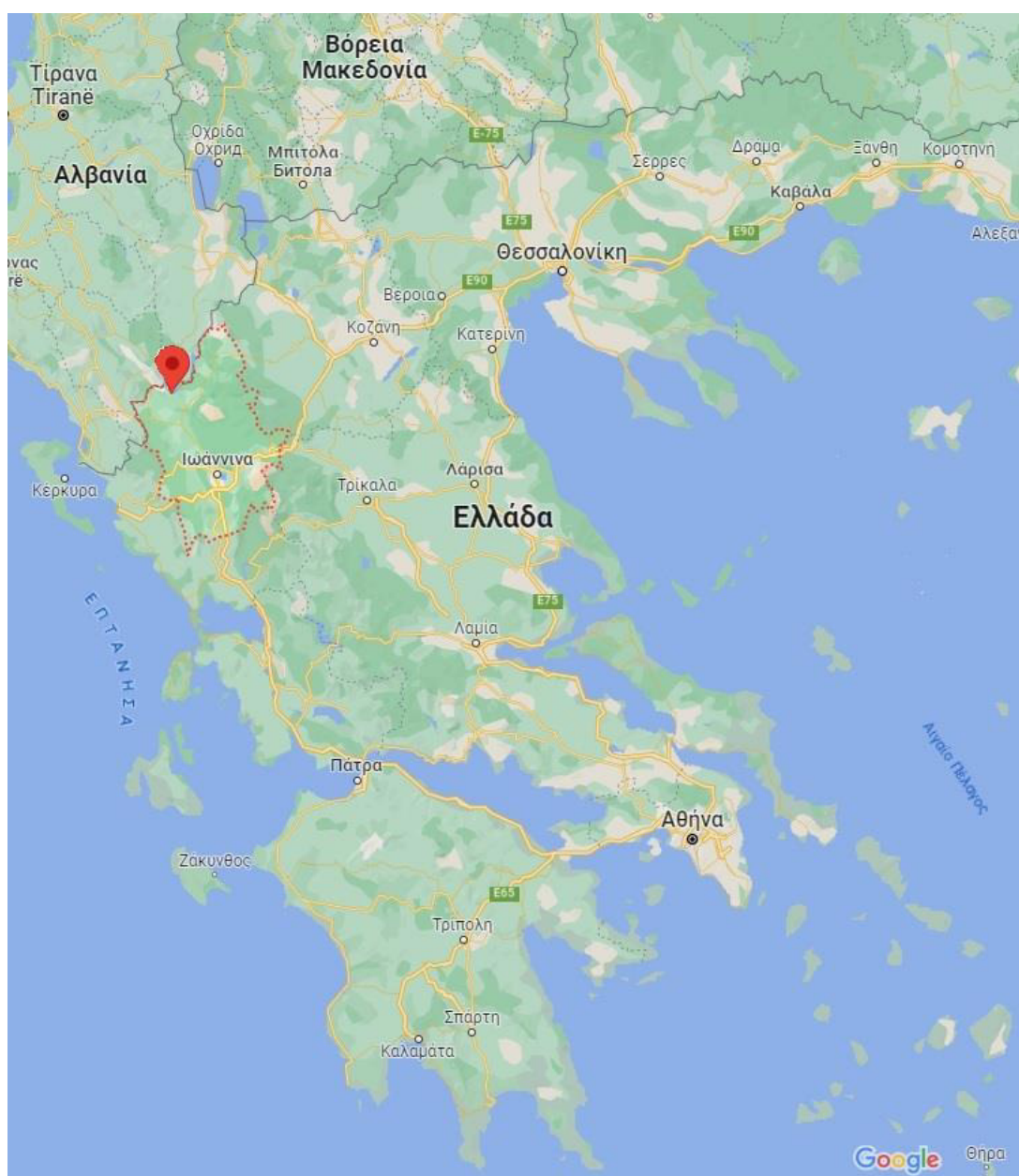


Εικόνα 2.5.10: Όψη αργολιθοδομής και τα χαρακτηριστικά της στοιχεία (Καραντώνη, 2012)

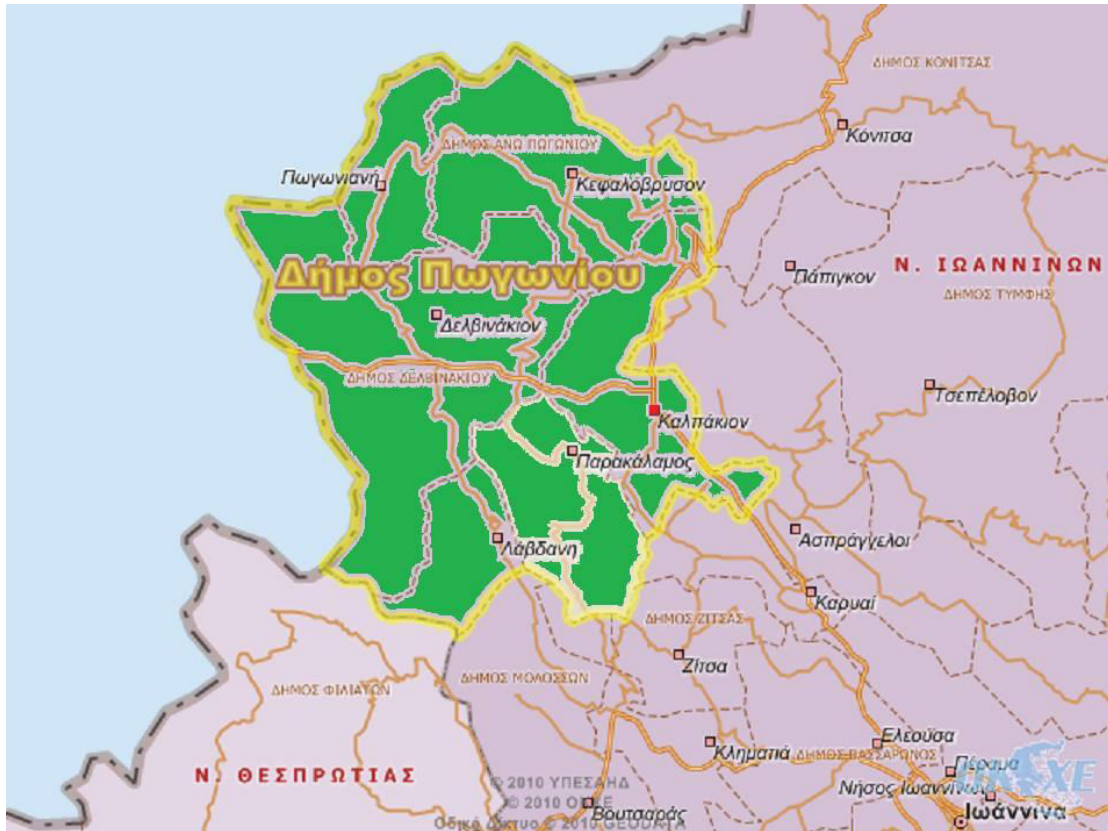
6. Ο ΠΕΤΡΙΝΟΣ ΝΕΡΟΜΑΥΟΣ ΚΑΙ ΤΟ ΓΕΦΥΡΙ ΤΗΣ ΝΟΝΟΥΛΩΣ ΣΤΟ ΔΟΛΟ ΠΩΓΩΝΙΟΥ

6.1 Το Δολό

Το χωριό Δολό βρίσκεται στην Ήπειρο, ανήκει στην περιφερειακή ενότητα Ιωαννίνων και σε επίπεδο δήμου στο Δήμο Πωγωνίου. Ο Δήμος Πωγωνίου έχει ως έδρα το χωριό Καλλάκι από το οποίο το Δολό απέχει 38 χιλιόμετρα προς τα βόρειοδυτικά. Ο Δήμος Πωγωνίου διαιρείται σε πέντε Δημοτικές Ενότητες. Το Δολό σαν κοινότητα ανήκει στο Δημοτικό Διαμέρισμα της Πωγωνιανής.



Εικόνα 6.1.1: Η θέση του χωριού Δολό εντός της περιφερειακής ενότητας Ιωαννίνων (πηγή: google maps)



Εικόνα 6.1.2: Τα διοικητικά όρια του Δήμου Πωγωνίου
(πηγή: <https://vostiniotis.blogspot.com/2011/01/blog-post.html>)



Εικόνα 6.1.3: Τα διοικητικά όρια του δημοτικού διαμερίσματος Πωγωνιανής εντός της Π.Ε. Ιωαννίνων

Το Δολό συνδέεται οδικώς με την Πωγωνιανή σε μήκος 8 χιλιομέτρων μέσω τριτεύοντος επαρχιακού δρόμου για τα πρώτα 2,5 χιλιόμετρα μέχρι να συναντήσει την επαρχιακή οδό Γεροπλάτανου-Δελβινακίου. Σαν χωριό είναι χτισμένο στα 800 μέτρα υψόμετρο, βρίσκεται πολύ κοντά στα σύνορα με την Αλβανία, δηλαδή στα 11 χιλιόμετρα μέχρι τον συνοριακό σταθμό των Δρυμάδων. Περικλείεται βόρεια από τον ορεινό όγκο της Νεμέρτσικας, ανατολικά από το χαμηλό βουνό Κουτσόκρανο, νότια του βρίσκεται το μικρό χωριό Φαράγγι και στη συνέχεια το Δελβινάκι και δυτικά του παρεμβάλλεται το φαράγγι του Κουβαρά πίσω από το οποίο βρίσκεται η Πωγωνιανή.

Γλωσσικά συναντάται και σε σλαβικές αναφορές σαν Δελή και μετά την απελευθέρωση της Ηπείρου αναφέρεται πρώτη φορά επίσημα σαν έδρα της κοινότητας Δολού το 1919 στο ΦΕΚ 184Α – 19/08/1919. Πρόκειται για ένα χωριό με ιδιαίτερη φυσική ομορφιά και τα κτίριά του κλασικό δείγμα της πέτρινης λαϊκής ηπειρώτικης αρχιτεκτονικής. Αυτή του η φυσιογνωμία, οδήγησε το 1967 και στην έκδοση του ΦΕΚ 352Β – 31/05/1967. Το Δολό και το περιβάλλον του αποτελεί ιδανικό προορισμό για τους λάτρεις της φύσης και του περιπατητικού και λαογραφικού τουρισμού. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 αριθμούσε 60 κατοίκους. Από τα προσωρινά στοιχεία της απογραφής του 2021 όμως πιθανόν να έχει μειωθεί αυτό το νούμερο καθώς για τον Δήμο Πωγωνίου συνολικά, το 2011 είχαν απογραφεί 8.960 άτομα ενώ το 2021 6.859 μόλις. (https://elstat-outsourcers.statistics.gr/Census2022_GR.pdf)



Εικόνα 6.1.4: Ο Ι.Ν. του Αγίου Νικολάου και η πλατεία του στο Δολό
(πηγή: <https://www.flickr.com/photos/dimitil/32550862258/in/photostream/>)

Ιστορικά ο πρώτος οικισμός του Δολού σαν τοποθεσία ίσως ήταν στη θέση η οποία σήμερα είναι γνωστή ως «Χαλάσματα» πριν αυτή υποστεί καθίζηση. Οι μαρτυρίες που μεταφέρονται αναφέρουν ότι οι πρώτοι κάτοικοι της σημερινής περιοχής του Δολού, προήλθαν από μετακίνηση πληθυσμών χωριών της Δυτικής Μακεδονίας λόγω σλαβικών επιδρομών. Μάλιστα, τα χωριά αυτά της Δυτικής Μακεδονίας ήταν κυρίως το τότε Ντολό, σήμερα Βυθός, και το λιγότεροι από το Ζιουπάνι, σήμερα Πεντάλοφος. Δεν υπάρχει ακριβής χρόνος της μετακίνησης και της πρώτης εγκατάστασης στην σημερινή τοποθεσία. Υπολογίζεται περί τα 1000 μ.Χ. λόγω μιας μοναδικής αναφοράς του ονόματος «Γεωργίου Κυρατζά χώρας Δολώ» η οποία βρίσκεται στη μονή του Μολυβδοσκεπάστου (πηγή: Ηπειρώτικη Εστία, 1966)

Σαν συγκροτημένος οικισμός οι πολλές αναφορές ξεκινούν από την περίοδο της Τουρκοκρατίας. Μέχρι να κατακτηθεί ο σημερινός Δήμος πωγωνίου από τους Τούρκους στην περιοχή του Δολού κατοικούσαν διάσπαρτα οικογένειες ομοίας προέλευσης, είτε σαν κτηνοτρόφοι προς τα ορεινά του βουνού Μπόζοβο είτε γεωργοί αναπτυσσόμενοι παρά το ρέμα του Γκουβεριού (Υφαντής, 1996). Τα χρόνια της Τουρκοκρατίας με απόφαση του Κουρτ Πασά το Δολό χωρίστηκε σε ανατολικό και δυτικό με το δυτικό να γίνεται τσιφλίκι του Πασά και στο ανατολικό να μετακινούνται για να μείνουν χωριστά όλοι οι χριστιανοί. Αυτά τα χρόνια το Δολό κατάφερε να διασώσει την γλώσσα, τις παραδόσεις και τα πολύτιμα πέτρινα κτίριά του.

Στη σημερινή εποχή το Δολό, αποτελεί προστατευόμενο οικισμό, σύμφωνα με το Π.Δ. 19.10/13.11.1978-ΦΕΚ 594Δ. Για την ανοικοδόμηση κτιρίων στον οικισμό του Δολού επιβάλλονται συγκεκριμένοι όροι και περιορισμοί δόμησης σχετικά με τη διαμόρφωση των όψεων τους. Στόχος του διατάγματος αποτελεί η διατήρηση της ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής φυσιογνωμίας του οικισμού. Πολλά πέτρινα κτίρια στο χωριό βέβαια έχουν υποστεί μεγάλες ζημιές ή και έχουν κατεδαφιστεί εντελώς.

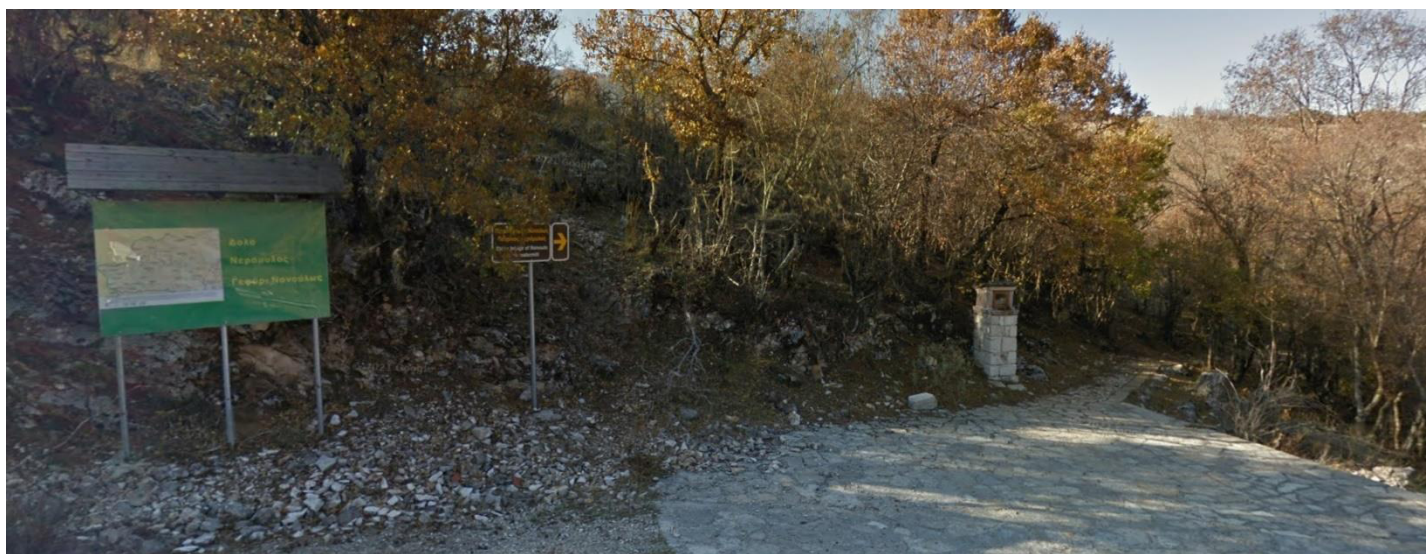


Εικόνα 6.1.5: Τοπογραφικό σκαρίφημα του Δολού συντασσόμενο Σεπτέμβριο του 1995 (Υφαντής, 1996)

Πληθυσμιακά, πλέον είναι ένα χωριό με πολύ μικρό πραγματικό μόνιμο πληθυσμό λιγότερο από τον επίσημο απογραφέντα. Πρόκειται για ένα πολύ μικρό και ακριτικό χωριό που παρά το κάλος του, καθίσταται δύσκολο νέος κόσμος να παραμείνει μόνιμος κάτοικος. Φυσιολογικό είναι ο πληθυσμός να μετακινείται προς τα αστικά κέντρα τα οποία παρέχουν όλες τις απαραίτητες υποδομές. Το χωριό ξαναβρίσκει έντονη ζωή την άνοιξη και το καλοκαίρι. Οι καιρικές συνθήκες, οι διακοπές αλλά και τα πανηγύρια των εποχών αποτελούν αφορμή να επιστρέψουν οι έχοντες καταγωγή αλλά και να το επισκεφτούν και να θαυμάσουν το κάλλος του νέου άνθρωποι και τουρίστες οι οποίοι περιηγούνται στο σύνολο του Δήμου Πρωγονίου.

6.2 Το πέτρινο γεφύρι της Νονούλως

Βόρεια του Δολού και σε απόσταση περίπου 2 χιλιομέτρων από το χωριό και 600 μέτρων από την διασταύρωση της επαρχιακής οδού Γεροπλάτανου-Δελβινακίου με τον δρόμο που συνδέει το Δολό με την επαρχιακή οδό Γεροπλάτανου-Δελβινακίου, βρίσκεται δυτικά αυτού του δρόμου προς το ρέμα του Κουβαρά το παραδοσιακό πέτρινο γεφύρι της Νονούλως και ο πέτρινος νερόμυλος που το συνοδεύει. Επί του δρόμου υπάρχει κατάλληλη κατακόρυφη σήμανση που ειδοποιεί τους περαστικούς για την ύπαρξη του μνημείου και ένα καλντερίμι πορείας περίπου 200 μέτρων που οδηγεί κατηφορικά προς αυτό.



Εικόνα 6.2.1: Σήμανση καθοδήγησης προς το γεφύρι της Νονούλως

Η χαράδρα του Κουβαρά βρίσκεται ανάμεσα από τα χωριά Δολό και Πωγωνιάνη στο Πωγώνι. Πρόκειται για ένα άνοιγμα τριών περίπου μιλίων που αρχίζει από το γεφύρι της Νονούλως και τελειώνει στους μύλους στα Παράκτωνα, ενώ η δημιουργία του οφείλεται στο ρέμα του Κουβαρά που το διασχίζει. Το ρέμα αυτό είναι παραπόταμος του Δρίνου και πηγάζει από το όρος Νεμέρτσικα. Μέσα στη χαράδρα του Κουβαρά υπάρχει πλούσια και πολυποίκιλη βλάστηση, που σε συνδυασμό με τα ψηλά βράχια συνθέτουν ένα τοπίο σπάνιας ομορφιάς που προκαλεί τον επισκέπτη να το εξερευνήσει. α παλιότερα χρόνια οι κάτοικοι της περιοχής εκμεταλλευόταν και τα νερά του ομώνυμου ρέματος. Γι' αυτό και είχαν κατασκευάσει στη περιοχή αρκετούς νερόμυλους. Ένας από αυτούς σώζεται ως σήμερα, σχετικά καλά συντηρημένος και θα τον βρείτε δίπλα από το γεφύρι της Νονούλως.

Το γεφύρι κατασκευάστηκε το 1908 με χορηγία της γιαγιάς Νόνως ή Νονούλως, η οποία ζούσε στο Δολό και πέραγε με κίνδυνο της ζωής της και του ζώου

της από την ξύλινη γέφυρα που προϋπήρχε στο σημείο για να διαβεί το ρέμα του Κουβαρά και να πάει προς την Πωγωνιανή να πουλήσει τα ξύλα της. Έβαλε τάμα λοιπόν, κάποια στιγμή να καταφέρει να χτίσει ένα πέτρινο γεφύρι στο ίδιο σημείο και εν τέλει μαζεύοντας οικονομίες μέσα στα χρόνια κατάφερε να το κάνει δωρεά ως χορηγός.



Εικόνα 6.2.2: Πανοραμική άποψη του γεφυριού της Νονούλως και του πέτρινου νερόμυλου



Εικόνα 6.2.3: Καπάνη όψη του πέτρινου γεφυριού και νερόμυλου της Νονούλως (πηγή: <https://apeirosgaia.wordpress.com/2011/11/12/to-gefyri-ths-nonnoulws>)

Πρόκειται για ένα πέτρινο μονότοξο γεφύρι με μέγιστο ύψος τα 7 μέτρα στη κορυφή της καμάρας του. Το άνοιγμά του υπολογίζεται επίσης στα 7 μέτρα. Στις πλευρές του καταστρώματος του έχει εφοδιαστεί με στηθαίο, που εξασφαλίζει την ακόμα ασφαλέστερη διάβαση των περαστικών. Τα βάθρα του είναι χτισμένα σε βραχώδες έδαφος, γεγονός που το καθιστά σταθερό αν και δε διατρέχει μεγάλο κίνδυνο καθώς τα νερά του ρέματος του Κουβαρά δεν παρουσιάζουν μεγάλες αναβάσεις.

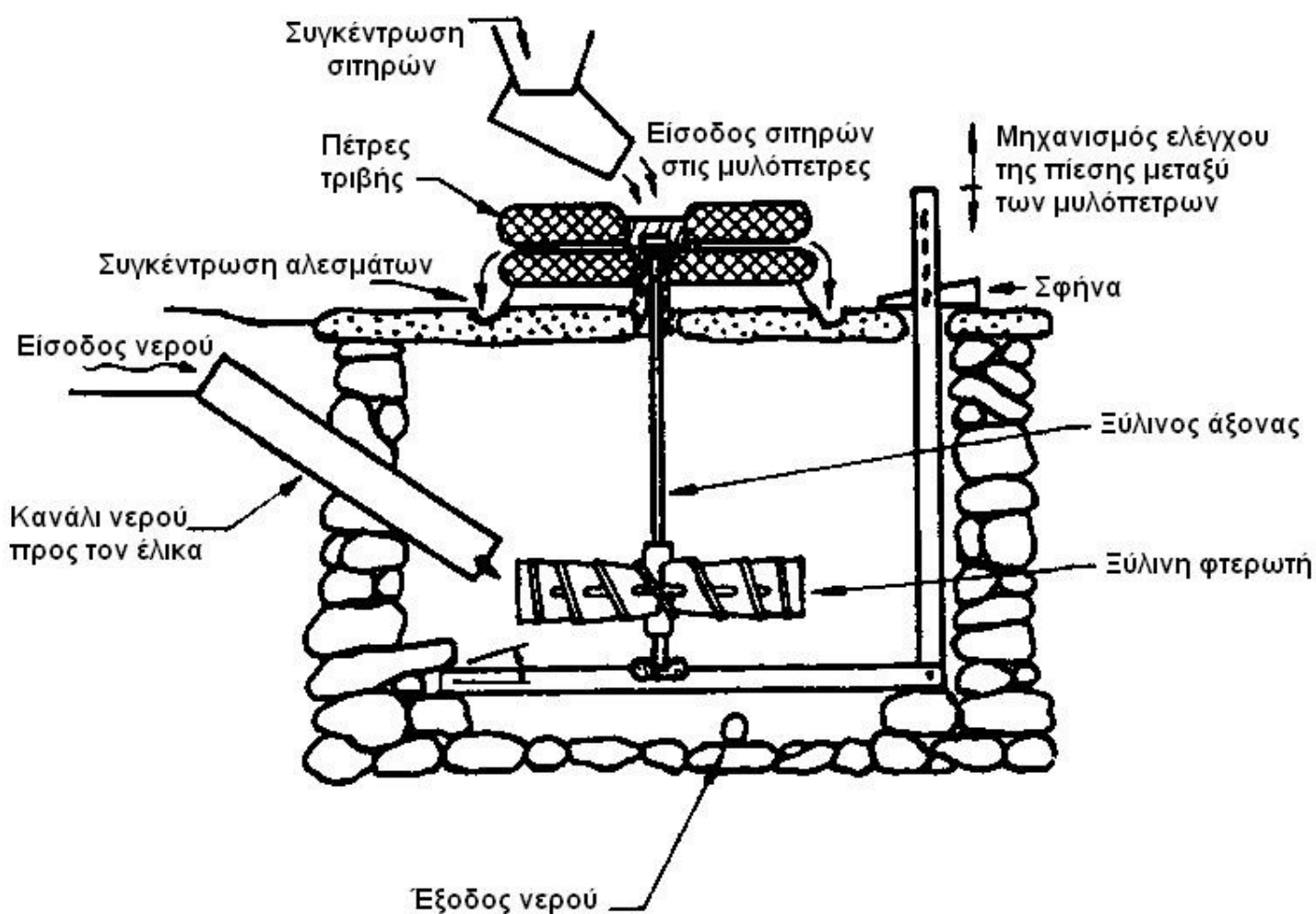
Το παραδοσιακό πέτρινο γεφύρι της Νονούλως συνοδεύει ο πέτρινος νερόμυλος (εικ. 6.2.4). Τα παλαιότερα χρόνια οι άνθρωποι προκειμένου να αλέσουν το σιτάρι τους, εκμεταλλεύοντουσαν την ορμή των νερών που κατέρχονταν στα ρέματα και έχτιζαν νερόμυλους κατά το μήκος αυτών. Συγκεκριμένα, εδώ μέσω ενός καναλιού που σχηματίζονταν στο ρέμα του Κουβαρά, το νερό οδηγούταν στον νερόμυλο τον οποίον λόγω και της δύναμής του έθετε σε κίνηση.

Σαν κατασκευή πρόκειται για μια ορθογώνια τοιχοποιία αργολιθοδομής με ημιλαξευμένα τοιχοσώματα και χρήση συνδετικού ασβεστοκονιάματος. Η σκεπή του δομείται από σχιστόπλακες εξωτερικά και εσωτερικά περιέχει για κάθε πλευρά και τον αντίστοιχο εσωτερικό τοίχο. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα σε μια αρκετά μεγάλη έκταση των τοιχοσωμάτων του είναι μερικώς ανακαινισμένος.



*Εικόνα 6.2.4: Ο πέτρινος νερόμυλος δίπλα από το γεφύρι της Νονούλως
(πηγή: Αρχείο Παγούνη Βασιλείου)*

Οι νερόμυλοι ήταν ένα τεχνολογικό επίτευγμα της εποχής γιατί παρήγαγαν έργο μέσω της μετατροπής της δυναμικής ενέργειας του νερού σε κινητική, μέσω της φτερωτής η οποία γυρνούσε με την δύναμη του νερού και έθετε μέσω ενός άξονα σε κίνηση τη μυλόπετρα. Έτσι, η μυλόπετρα στους αλευρόμυλους με την εκμετάλλευση του νερού, μπορεί πλέον και συνθλίβει τους καρπούς του σιταριού. Για να αυξηθεί η ορμή του νερού πριν εισέλθει στον νερόμυλο και καταλήξει στην διάταξη της φτερωτής, ο μυλωνάς κατασκεύαζε ένα τεχνητό κανάλι, ένα λιθόκτιστο μυλαύλακα, που οδηγούσε το νερό προς τον νερόμυλο με αυξημένη πλέον ορμή λόγω των διαστάσεων του καναλιού. Το νερό σαν φυσική και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας πλέον ήρθε να αντικαταστήσει το ζώο που χρησιμοποιούνταν στους αλευρόμυλους για την κίνηση της μυλόπετρας.



Εικόνα 6.2.5: Σκαρίφημα τομής διάταξης νερόμυλου με εγκάρσια φτερωτή
 (πηγή: http://ecododonea.blogspot.com/2016/07/blog-post_15.html)

Όπως και τα παραδοσιακά χτισμένα πέτρινα γεφύρια που κάλυπταν για τους ανθρώπους εκείνης της εποχής μια ύψιστης σημασίας ανάγκη, αυτή της ζεύξης και της επίτευξης συγκοινωνίας έτσι και οι νερόμυλοι αποτελούσαν σημαντικό στοιχείο της καθημερινότητας των κατοίκων των χωριών που τους χρησιμοποιούσαν. Κυρίως, γιατί παρήγαγαν το αλεύρι αλλά και κοινωνικά οι νερόμυλοι, οι αλευρόμυλοι, οι νεροτριβές κλπ. αποτελούσαν σημείο συνάντησης για τους χωριανούς. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να προβληθούν ως μνημεία της λαϊκής αρχιτεκτονικής και τρόπου ζωής και εν γένει να αποτελέσουν πτυχή της πολιτισμικής μας κληρονομιάς.

Σε αυτό το πλαίσιο, ο πέτρινος νερόμυλος και το γεφύρι της Νονούλως χαρακτηρίστηκαν με το **ΦΕΚ 987Β 7-11-1997Β** ως ιστορικά διατηρητέα νεότερα μνημεία, μαζί με το παλιό μονοπάτι Δολό-Γεφύρι Νονούλως-Πωγωνιανή. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο ίδιο το ΦΕΚ γίνεται αναφορά στην απόφαση να χαρακτηριστούν έτσι, **«διότι αποτελούν χαρακτηριστικά δείγματα λαϊκής προβιομηχανικής αρχιτεκτονικής, άρρηκτα συνδεδεμένα με τις μνήμες των κατοίκων, σημαντικά για την μελέτη και την εξέλιξη της αρχιτεκτονικής της περιοχής.»**

6.3 Οι διαδικτυακές πύλες καταγραφής και περιήγησης της ελληνικής πολιτισμικής κληρονομιάς

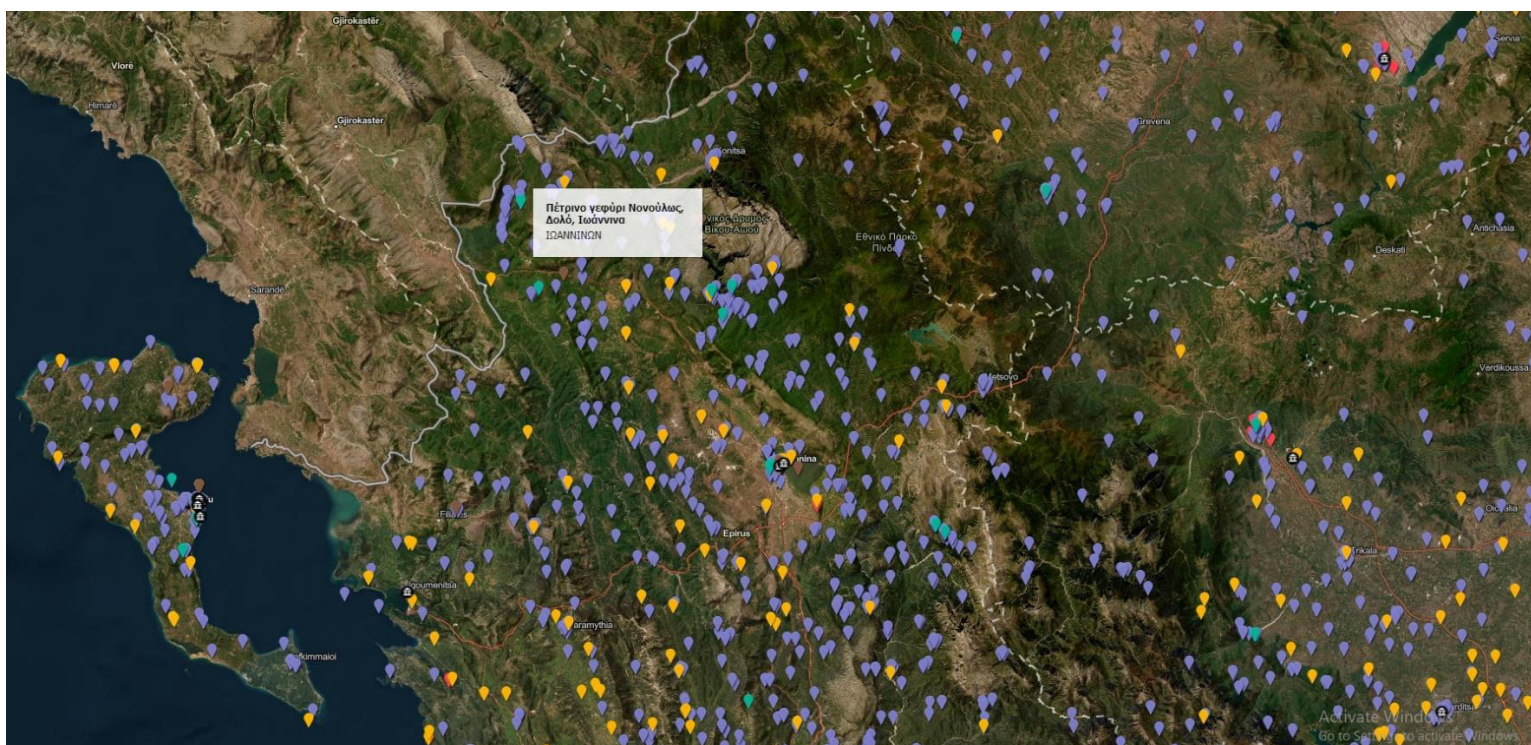
Ακριβώς όμως επειδή η περιοχή του Δήμου Πωγωνίου και γενικότερα της Ηπείρου παρουσιάζει τεράστιο αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον αναφορικά με τις πέτρινες κατασκευές, αξίζει να γίνει αναφορά σε διαδικτυακές πλατφόρμες που σχετίζονται με την πολιτισμική κληρονομιά της χώρας μας. Σε αυτή τη προσπάθεια συστηματικής καταγραφής και πλήρης αρχαιολογικής και γεωχωρικής τεκμηρίωσης των αρχαιολογικών χώρων, των μνημείων και των ζωνών προστασίας αυτών. Μέσω της πλατφόρμας <https://www.arxaiologikoktimatologio.gov.gr/> παρέχεται στον κάθε πολίτη, αλλά και φορέα ή υπηρεσίας να ενημερώνονται και να περιηγούνται σε επίπεδο χάρτη για την πολιτισμική κληρονομιά και τον μνημειακό πλούτο της χώρας.

Μάλιστα, οι γεωχωρικές πληροφορίες που παρέχει αυτή η διαδικτυακή πύλη, πέρα από το αρχαιολογικό και μνημειακό ενδιαφέρον, δύναται να ενημερώσει τον κάθε πολίτη ή επαγγελματία, για τους περιορισμούς δόμησης που μπορούν να προκύψουν σε έκταση που του ανήκει, λόγω γειτνίασης ή επιρροής από τυχόν παραπλήσιους

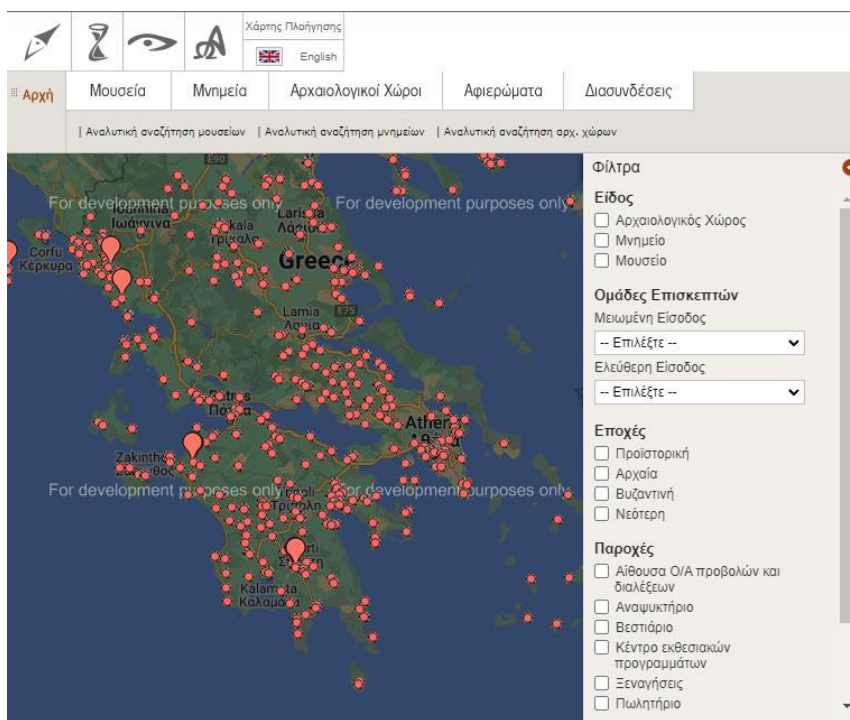
αρχαιολογικούς χώρους. Στο χάρτη κάθε σημείο που εμφανίζεται, συνοδεύεται και από την νομοθετική του πληροφορία.

Μια παρόμοια πλατφόρμα του Υπουργείου Πολιτισμού και Αθλητισμού η οποία εμπεριέχει πιο εκπαιδευτικούς και διαδραστικούς όρους, όπως φωτογραφικό αρχείο και γλωσσάρι επεξήγησης αρχαιολογικών και μυθολογικών όρων είναι η ΠΥΛΗ ΟΔΥΣΣΕΥΣ για την ελληνική πολιτιστική κληρονομιά (<http://odysseus.culture.gr/>). Ο χάρτης απεικονίζει και τα μουσεία στον ελλαδικό χώρο, μαζί με τις πληροφορίες για τον χώρο και τον τρόπο λειτουργίας, καθώς και ηλεκτρονική αγορά εισιτηρίων για την επίσκεψη του κάθε μουσείου.

Επιπλέον είναι δυνατή η περιήγηση στο χρονικό της ελληνικής ιστορίας και τέχνης σε σημαντικά γεγονότα, η εύρεση εικόνων κινητών και ακίνητων μνημείων της κάθε εποχής και τέλος η περιήγηση στο πλούσιο εποπτικό υλικό του Φωτογραφικού Αρχείου, το οποίο περιλαμβάνει υλικό της Αρχαιότητας, του Βυζαντίου και της Νεότερης – Σύγχρονης Ελλάδας. Να σημειωθεί ότι σε σχέση με τον ιστότοπο του αρχαιολογικού κτηματολογίου, αυτός της Πύλης Οδυσσεύς χρήζει ανασχεδιασμού.



Εικόνα 6.2.6: Απόσπασμα χάρτη Αρχαιολογικού Κτηματολογίου (<https://www.arxaiologikoktimatologio.gov.gr/>)



Εικόνα 6.2.7: Χάρτης πόλης Οδυσσεύς (<http://odysseus.culture.gr/>)

Πέτρινο γεφύρι Νονούλως, Δολό, Ιωάννινα

Κατηγορία Μνημείου **Επιλεγμένες Κατηγορίες:** Νεότερο Μνημείο

Όνομα **Κύριο όνομα** Πέτρινο γεφύρι Νονούλως, Δολό, Ιωάννινα
Άλλα ονόματα:

Περιγραφή Μονότοξο. Δίπλα του υπάρχει νερόμυλος. Μήκος 25μ., άνοιγμα τόξου 7μ. και πλάτος 2μ. Χτίστηκε το 1880. Γεφυρώνει το ρέμα του Κουβαρά που καταλήγει στο Δρίνο ποταμό. Βρίσκεται στο πλακόστρωτο μονοπάτι που ξεκινά πριν το Δολό και πριν το εκκλησάκι του Αγίου Δημητρίου, στην περιοχή Ξυλογέφυρο. Πηγή: Πέτρινα τοξωτά γεφύρια της Ελλάδας, Πιώργος και Εύη Μπεληγιάννη, Μίλητος 2011

Τύπος προστασίας **Τύπος προστασίας από το Υπουργείο Πολιτισμού:** Κήρυξη
Αρμόδια Υπηρεσία: ΥΝΜΤΕ Ηπείρου, Βορείου Ιονίου και Δυτικής Μακεδονίας

Καθεστώς Προστασίας [ΥΑ ΥΠΠΟ/ΔΙΔΑΠ/Γ/3821/51414](#)
ΦΕΚ: 987/Β/1997-11-07

Γεωγραφική Περιοχή **Διοικητική Δικαιοδοσία**
Καλλικράτης
ΗΠΕΙΡΟΥ, ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ, ΠΩΓΩΝΙΟΥ, ΠΩΓΩΝΙΑΝΗΣ, ΔΟΛΟΥ
Σύγχρονα Τοπωνύμια
Δεν υπάρχουν διαθέσιμα μοντέρνα τοπωνύμια

Επιστημονική Τεκμηρίωση **Χρονολόγηση**
Από: Νεότεροι Χρόνοι
Έως: Νεότεροι Χρόνοι
Από χρονική περίοδο: 1880 μ.Χ.
Εώς χρονική περίοδο: 1880 μ.Χ.

Τύπος χώρου / μνημείου: Μεταφορά, Μετακίνηση, Επικοινωνία, Οδική Υποδομή, Γέφυρα
Τεκμηρίωση: Τεκμηρίωση: αποτελούν χαρακτηριστικά δείγματα λαϊκής προβιομηχανικής αρχιτεκτονικής, άρρηκτα συνδεδεμένα με τις μνήμες των κατοίκων σημαντικά για τη μελέτη της εξέλιξης της αρχιτεκτονικής της περιοχής

Εικόνα 6.2.8: Πληροφορίες μνημείου από το Αρχαιολογικό Κτηματολόγιο. Τα στοιχεία του γεφυριού της Νονούλως (πηγή: https://www.arxaiologikoktimatologio.gov.gr/el/monuments_info?id=155786&type=Monument)

7. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

7.1 Μέθοδος προσέγγισης και σάρωσης των μνημείων

Όπως είναι γνωστό ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η γεωμετρική τεκμηρίωση του πέτρινου νερόμυλου και γεφυριού της Νονούλως. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, χρησιμοποιήθηκε ο επίγειος σαρωτής laser Leica BLK360 (εικ. 7.1.1) τον οποίον έχει στη διάθεσή του το εργαστήριο Τοπογραφίας-Γεωδαισίας του Τμήματος Τοπογραφίας του ΠΑ.Δ.Α.

Πρόκειται για έναν σύγχρονο σαρωτή laser ο οποίος προτιμάται από τους μηχανικούς για την ευκολία μεταφοράς του λόγω του μικρού του βάρους, της γρήγορης και χωρίς μεγάλα σφάλματα σάρωσης που επιτυγχάνει και του λογισμικού διαχείρισής του που τον συνοδεύει. Ο συγκεκριμένος σαρωτής διαθέτει και κάμερα στο εσωτερικό του, όπου αμέσως μετά το τέλος της σάρωσης, φωτογραφίζει σε πλήρη περιστροφή τον περιβάλλον χώρο του και έτσι αποδίδεται και χρώμα στο νέφος σημείων.



Εικόνα 7.1.1: Ο σαρωτής laser Leica BLK360
(πηγή: <https://shop.leica-geosystems.com/leica-blk/blk360/product-details>)

Πολύ σημαντικό ρόλο στην επιτυχημένη ολοκλήρωση μιας σάρωσης αποτελεί η επιλογή των στάσεων του σαρωτή. Πρέπει να επιλεγθούν σημεία τέτοια ώστε να αποφευχθούν σφάλματα θορύβου αλλά και να μην γίνουν μετρήσεις σε έντονο ανάγλυφο μεταξύ σαρωτή και αντικειμένου. Επίσης, πρέπει να διατηρηθεί σχετικά μία ενιαία κατά το δυνατόν απόσταση για κάθε στάση σάρωσης γιατί αυτό επηρεάζει την ακρίβεια όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση αποτύπωσης επιλέχθηκαν **19** στάσεις και για τις δύο κατασκευές συνολικά οι οποίες κατανεμήθηκαν στο χώρο με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των σαρώσεων και ταυτόχρονα να καλύπτεται σε ικανοποιητικό βαθμό, με όσο το δυνατό μικρότερο αριθμό στάσεων, το γεφύρι και ο νερόμυλος. Η πρώτη στάση επιλέχθηκε να τοποθετηθεί στην πίσω μεριά του κτηρίου του νερόμυλου, σε σημείο που έχει υψομετρική διαφορά και βρίσκεται ψηλότερα από το κτήριο.

Σε εκείνο το σημείο καταλήγει το ρυάκι από το οποίο πέρναγε, τα χρόνια στα οποία ο νερόμυλος λειτουργούσε, το νερό το οποίο έκανε δυνατή την κίνηση του. Στη συνέχεια καλύφθηκε περιμετρικά το κτήριο του νερόμυλου και οι στάσεις συνεχίστηκαν προς το γεφύρι. Για το γεφύρι πραγματοποιήθηκαν σαρώσεις γύρω από αυτό, κάτω από αυτό και πάνω σε αυτό για να καλυφθεί και να σαρωθεί πλήρως και να παρουσιαστεί το τρισδιάστατο μοντέλο του.

Για τον νερόμυλο επιλέχθηκε μια απόσταση της τάξης μεταξύ των 15 και 20 μέτρων, ενώ για το γεφύρι απαιτούνταν πιο κοντινές σαρώσεις καθώς πρέπει να αποτυπωθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι λεπτομέρειές του. Για το γεφύρι αναγκαστικά προέκυψαν στάσεις και πάνω στο κατάστρωμά του οι οποίες κάτω ακριβώς από τον σαρωτή σχημάτισαν έναν ευδιάκριτο κύκλο μειωμένης όπως είναι φυσιολογικό πληροφορίας.

Να τονιστεί ότι για όλες τις στάσεις αναφορικά με τον τρόπο σάρωσης έγινε η επιλογή **dense**. Δηλαδή, η πυκνή σάρωση, επιλογή που δίνει το λογισμικό του συγκεκριμένου σαρωτή. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μέγιστη ακρίβεια και ανάλυση dpi στη σάρωση, με κόστος στο χρόνο σάρωσης και στην κατανάλωση ενέργειας της μπαταρίας του σαρωτή.



Εικόνα 7.1.2: «Τρύπα» μειωμένης πληροφορίας στο τρισδιάστατο μοντέλο του γεφυριού λόγω στάσης επί του σημείου.

7.2 Συνένωση νεφών σημείων – δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων

Από τις 19 στάσεις σάρωσης προέκυψαν 19 νέφη σημείων τα οποία έπρεπε να ενωθούν σε ένα ενιαίο ώστε να προκύψει ένα τέτοιο τρισδιάστατο μοντέλο το οποίο να μπορεί στη συνέχεια να διαχειριστεί κατάλληλα ώστε να προκύψουν τα παραγόμενα σχέδια γεωμετρικής τεκμηρίωσής του. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του λογισμικού Cyclone της Leica. Μέσω αυτού έγινε η μεταφόρτωση των δεδομένων που προέκυψαν από τις σαρώσεις με τον επίγειο σαρωτή Leica BLK360 στον υπολογιστή και η συνένωση των νεφών σημείων. Η συνένωση νεφών γίνεται ώστε όλα τα νέφη, που αφορούν ένα μνημείο, να μετασχηματιστούν και να μεταπέσουν σε ένα κοινό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς. Τα βήματα συνένωσης με το λογισμικό Cyclone είναι τα εξής: (Μαυροκεφάλου, 2022)

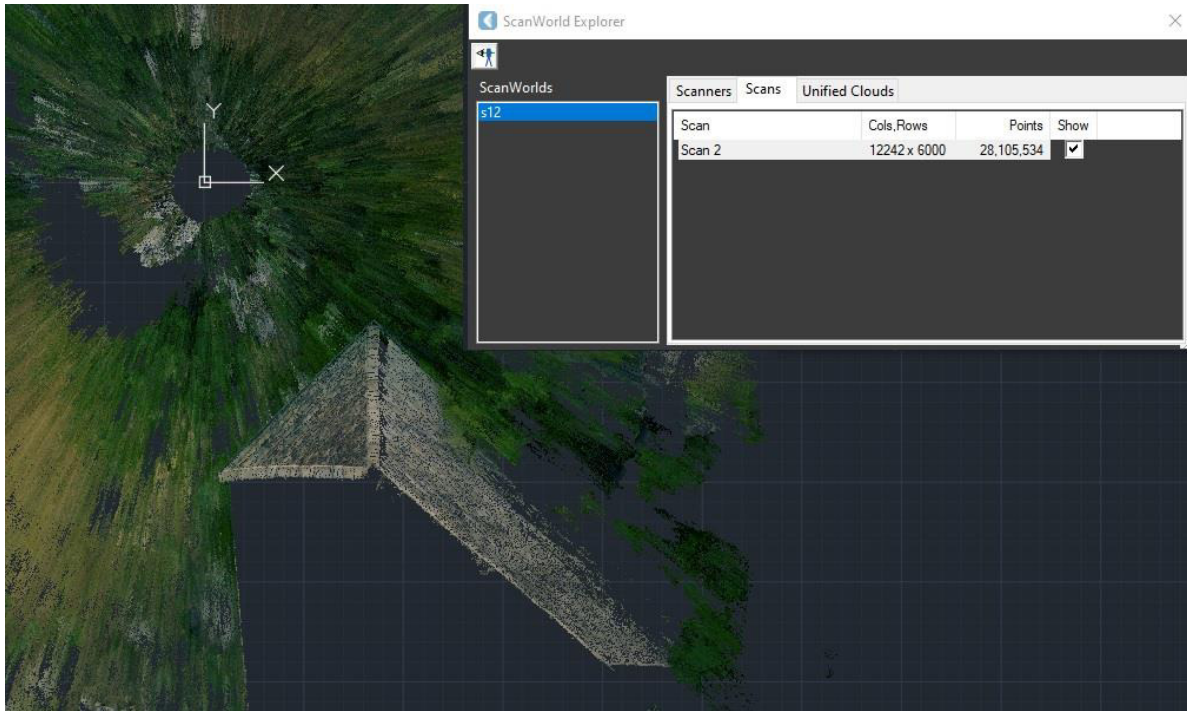
1. Δημιουργία νέου «Registration» από το παράθυρο «Navigator»
2. Διπλό κλικ στο «Registration» και επιλογή της εντολής «Add ScanWorld» από το μενού
3. «ScanWorld».

4. Επιλογή των δύο νεφών για συνένωση
5. Διευθέτηση των δύο νεφών κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να επιλεγθούν τουλάχιστον τρία κοινά σημεία (τεχνητά ή φυσικά) , που να απεικονίζονται στο επικαλυπτόμενο τμήμα των δύο νεφών.
6. Αναγνώριση και επιλογή των ομολόγων σημείων με τον κέρσορα σε κατάσταση «multi-pick».
7. Ορισμός των επαναλήψεων της διαδικασίας συνένωσης επιλέγοντας από το μενού «Edit > Preferences».
8. Εισαγωγή των επιλεγμένων σημείων στη συνένωση επιλέγοντας από το μενού «Cloud Constraint> Add Cloud Constraint» .
9. Ευθυγράμμιση των νεφών επιλέγοντας από το μενού «Cloud Constraint> Optimize Cloud Alignment» .
10. Έλεγχος του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (ΜΤΣ).
11. Επανάληψη της διαδικασίας εφόσον το ΜΤΣ δεν είναι μέσα στο όριο που έχουμε θέσει για τη συγκεκριμένη εργασία.
12. Τέλος, εφόσον το ΜΤΣ είναι ικανοποιητικό κάνουμε τη συνένωση των νεφών επιλέγοντας από το μενού «Register>Create ScanWorld/Freeze Registration» και «Register>Create and Open ModelSpace».

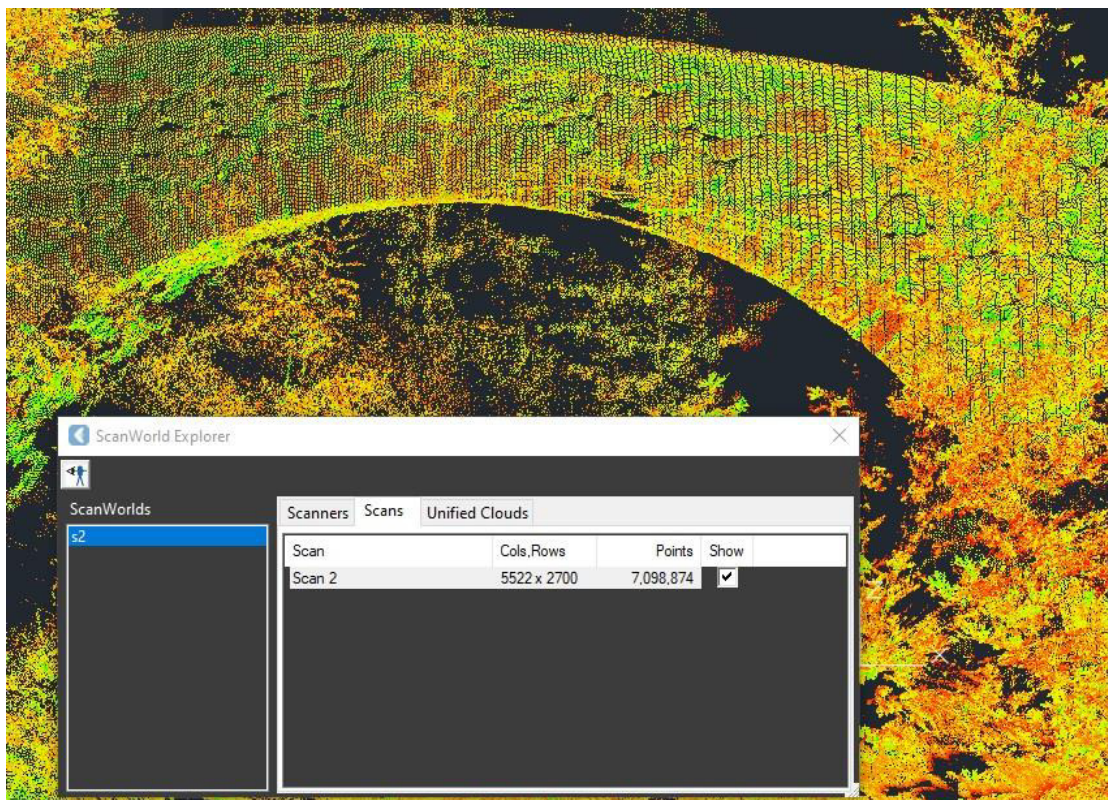
Όπως περιγράφεται και παραπάνω η συνένωση αυτή γίνεται ανά δύο διαδοχικά νέφη με την χρήση κοινών σημείων που υπάρχουν και στα δύο νέφη, από τα οποία υπολογίζονται οι συντελεστές μετατροπής των συστημάτων των δύο νεφών (μετακινήσεις, στροφές και κλίμακα). Τα κοινά αυτά σημεία μπορεί να είναι είτε τεχνητά, είτε φυσικά, δηλαδή χαρακτηριστικά σημεία του μνημείου, τα λεγόμενα ομόλογα σημεία. Στην περίπτωση και του γεφυριού και του νερόμυλου, οι ακμές των λαξευμένων πετρών και η αντίθεσή τους με το προφίλ του κονιάματος βοήθησε στην επιλογή τους ως ομόλογα σημεία.

Τέλος, προέκυψε ένα νέφος σημείων διαδοχικών ενώσεων από το 1 έως το 19. Λόγω των δύο αντικειμένων όμως που πρόκειται να επεξεργαστούν διαχωρίστηκαν σε δύο τρισδιάστατα μοντέλα (ModelSpace) ένα για το γεφύρι της Νονούλως και ένα για τον νερόμυλο. Στα δύο αυτά μοντέλα απομακρύνθηκε και ο όποιος θόρυβος πιθανός

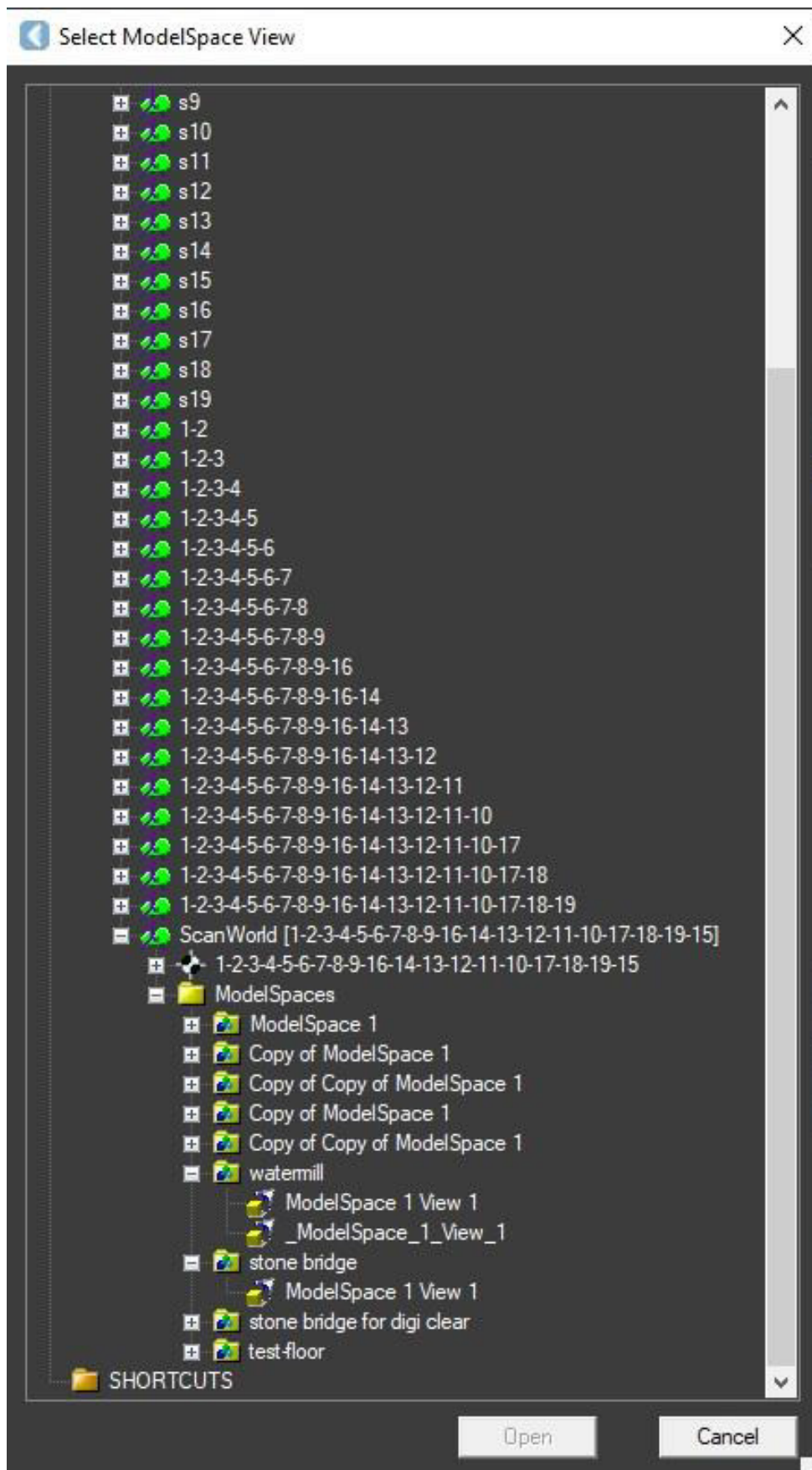
υπήρχε ώστε το αντικείμενο να απομείνει όσο πιο απομονωμένο γίνεται ώστε να συνεχιστεί ανενόχλητα η περαιτέρω επεξεργασία του.



Εικόνα 7.2.1: Το νέφος σημείων της σάρωσης από τη στάση S12. Διακρίνεται ότι έχει σαρωθεί η βορειοανατολική πλευρά του νερόμυλου και πόσα σημεία μετρήθηκαν.



Εικόνα 7.2.2: Το νέφος σημείων από τη στάση S2. Περιέχει τη σάρωση της νότιας πλευράς του γεφυριού

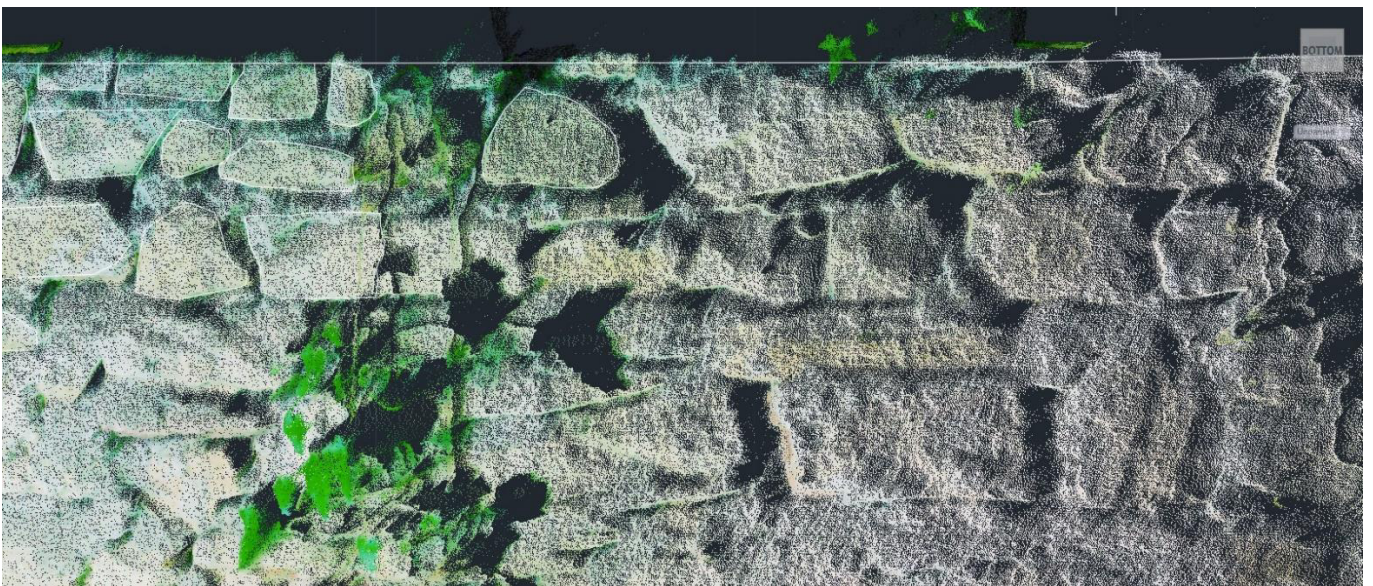


Εικόνα 7.2.3: Η διαδοχική ένωση των νεφών σημείων μέχρι την δημιουργία του ενιαίου τρισδιάστατου μοντέλου για τον νερόμυλο και το γεφύρι της Νονούλως

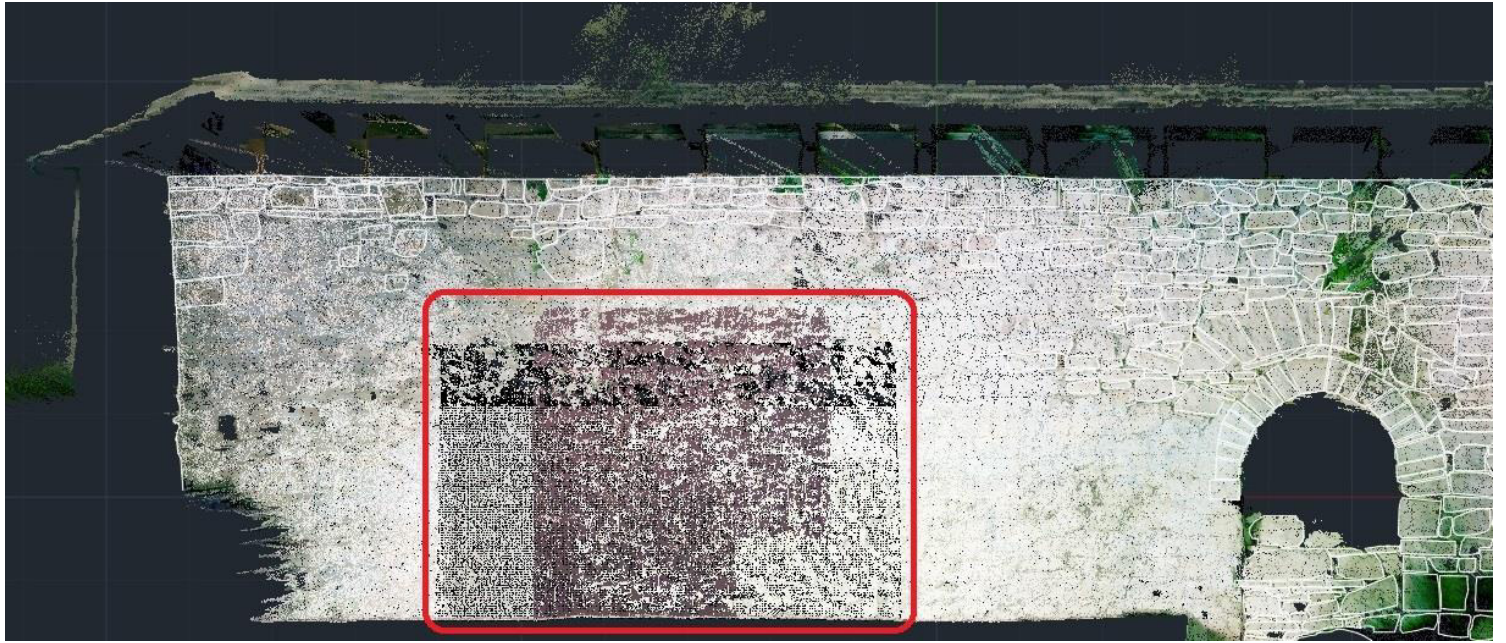
Με την τελική μορφή των δύο τρισδιάστατων μοντέλων αμέσως μπορεί να εποπτευθεί η κατασκευή στο σύνολό της, να γίνει περιήγηση γύρω από κάθε επιφάνειά της και να παρατηρηθούν κάποιες λεπτομέρειες, όπως απουσία πληροφορίας λόγω αδυναμίας μέτρησης και ύπαρξη θορύβου σε μια επιφάνεια.



Εικόνα 7.2.4: Βορειοδυτική άποψη του ενιαίου νέφους σημείων του νερόμυλου



Εικόνα 7.2.5: Ύπαρξη θορύβου επί του δυτικού εσωτερικού τοίχου



Εικόνα 7.2.6: Απώλεια πληροφορίας επί του δυτικού εσωτερικού τείχου



Εικόνα 7.2.7: Νοτιοδυτική άποψη του ενιαίου νέφους σημείων του γεφυριού της Νονούλως

8. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΠΕΤΡΙΝΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΙΟΥ ΤΗΣ ΝΟΝΟΥΛΩΣ

8.1 Επεξεργασία νεφών σημείων

Έχοντας πλέον στη διάθεσή μας τα ενοποιημένα νέφη σημείων για τις δύο πέτρινες κατασκευές, μέσω του εργαλείου Leica Cloudworx που λειτουργεί σε περιβάλλον AutoCad δίνεται η δυνατότητα για την επεξεργασία αυτών των νεφών ώστε να προκύψουν τα παραγόμενα σχέδια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης του πέτρινου νερόμυλου και του γεφυριού της Νονούλως.

Συγκεκριμένα, για τον πέτρινο νερόμυλο, με βάση την πληροφορία που υπάρχει από το ενοποιημένο νέφος σημείων του, προκύπτουν μία κάτοψη, δύο οψοτομές και την όψη του δυτικού τοίχου, την όψη του δυτικού εσωτερικού τοίχου, την όψη του βόρειου τοίχου, την όψη του βόρειου εσωτερικού τοίχου, την όψη του νότιου τοίχου και την όψη του ανατολικού εσωτερικού τοίχου. Σε ότι αφορά το γεφύρι της Νονούλως παρήχθησαν μία κάτοψη, δύο οψοτομές, μία όψη κατάντη και μία όψη ανάντη του γεφυριού. Όλα τα σχέδια είναι σε κλίμακα 1 προς 50.

Το πρώτο βήμα για την παραγωγή κατάλληλου σχεδίου είναι ο ορισμός των αξόνων πάνω στο επίπεδο το οποίο θέλουμε να σχεδιάσουμε. Αυτή δυνατότητα δίνεται μέσω της λειτουργίας “Wall” ή “Wall+Wall” έτσι ώστε να οριστεί η απαρχή των αξόνων (εικ. 8.1.1). Πρέπει να δοθεί προσοχή, να βρίσκεται πάντα το σχέδιο στο σωστό προβαλλόμενο επίπεδο, δηλαδή αν βρισκόμαστε σε κάτοψη να είμαστε σε μορφή “Plan View” και αν είμαστε σε όψη να γυρνάμε τη προβολή σε “Elevation View” γιατί αλλιώς ότι σχεδιάζουμε θα σχεδιάζεται στο λάθος επίπεδο στον τρισδιάστατο χώρο, και ο χρήστης δε θα μπορεί να το παρατηρήσει όσο σχεδιάζει την όψη του μέχρι να γυρίσει σε περιβάλλον κάτοψης και τότε θα είναι ήδη αργά και όλες οι εργασίες θα είναι λάθος.

Ύστερα, πρέπει να γίνει η απομόνωση της πλευράς εκείνης που πρέπει κάθε φορά να σχεδιαστεί. Έτσι, από το συνολικό νέφος σημείων δίνεται η δυνατότητα της απομόνωσης η οποία πρέπει να γίνει με προσοχή ώστε να μην στερήσει κομμάτι πληροφορίας από την προς σχεδίαση επιφάνεια. Αφού πλέον έχουμε καταλήξει στην επιφάνεια που πρέπει να σχεδιαστεί και με το σωστό σύστημα αξόνων και επί του σωστού επιπέδου σχεδίασης, δεν έχουμε παρά να σχεδιάσουμε κάθε διακριτή λεπτομέρεια και επίσης να θέσουμε τις υψομετρικές στάθμες του σχεδίου. Για να διευκολύνουμε την διαδικασία αναγνώρισης των λεπτομερειών, υπάρχει η δυνατότητα

εναλλαγής του χρωματισμού του νέφους σημείων μεταξύ του πραγματικού χρώματος του κάθε σημείου “True Color” και της ανακλαστικότητας που είχε “Intensity” καθώς πολλές φορές όποια λεπτομέρεια δεν είναι ευδιάκριτη στο ένα περιβάλλον, στο άλλο είναι.



Εικόνα 8.1.1: Ορισμός αξόνων επί του δυτικού τοίχου με σκοπό την σχεδίαση της όψης του

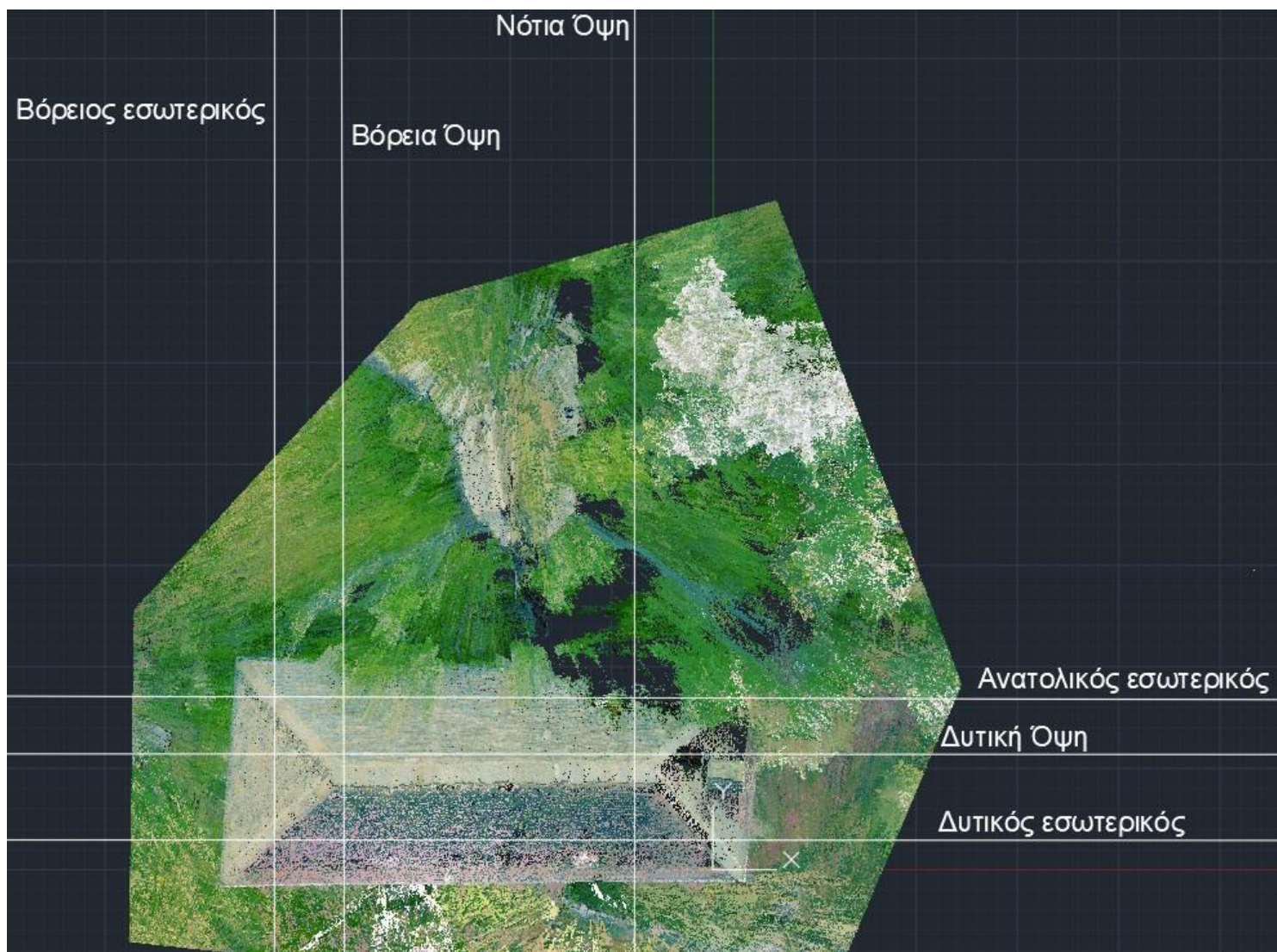


Εικόνα 8.1.2: Το κόψιμο της επιφάνειας σε περιβάλλον κάτοψης με σκοπό την σχεδίαση της δυτικής όψης του νερόμυλου



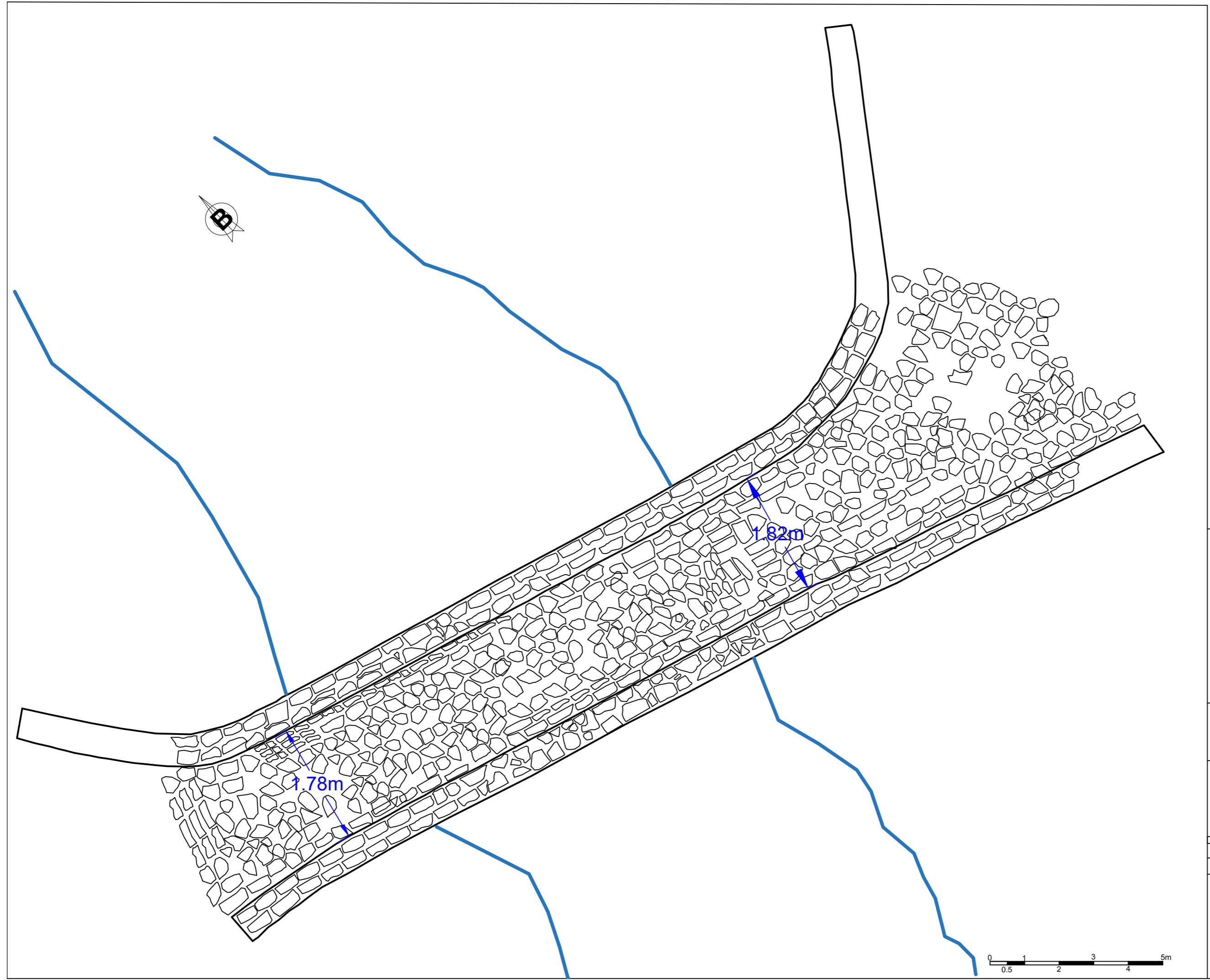
Εικόνα 8.1.3: Το κόψιμο της επιφάνειας της εικόνας 8.1.2 σε περιβάλλον όψης, με απομονωμένη πλέον την επιφάνεια ενδιαφέροντος για την σχεδίαση της δυτικής όψης του νερόμυλου

Ουσιαστικά, οι εικόνες 8.1.2 και 8.1.3 δείχνουν το ίδιο ακριβώς νέφος σημείων σε όγκο πληροφορίας, απλά αυτό αλλάζει σε μορφή ανάλογα τη θέση προβολής του. Ομοίως με την παραπάνω διαδικασία παράγονται όλα τα απαραίτητα, για την γεωμετρική τεκμηρίωση των δύο μνημείων, σχέδια που αναφέρθηκαν. Πολύ σημαντικό είναι κάθε φορά που ορίζεται ένα καινούργιο τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς να αποθηκεύεται ξεχωριστά και να του δίνεται το δικό του όνομα. Το ίδιο συνιστάται να γίνεται και με τα κοψίματα για την απομόνωση των επιφανειών ώστε ο χρήστης να μπορεί ανά πάσα στιγμή να προσανατολίζεται και να γνωρίζει πού και πώς ακριβώς έχει επέμβει στο τρισδιάστατο μοντέλο.



Εικόνα 8.1.4: Σημείωση επί του ενιαίου μοντέλου των κοψιμάτων επιφανειών που έχουν πραγματοποιηθεί

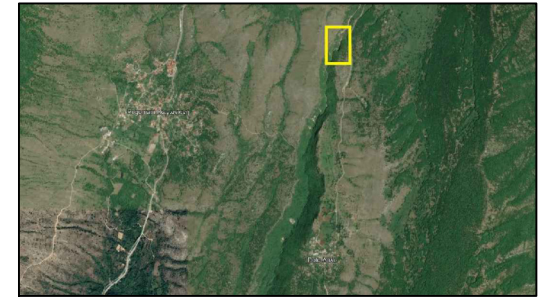
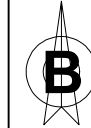
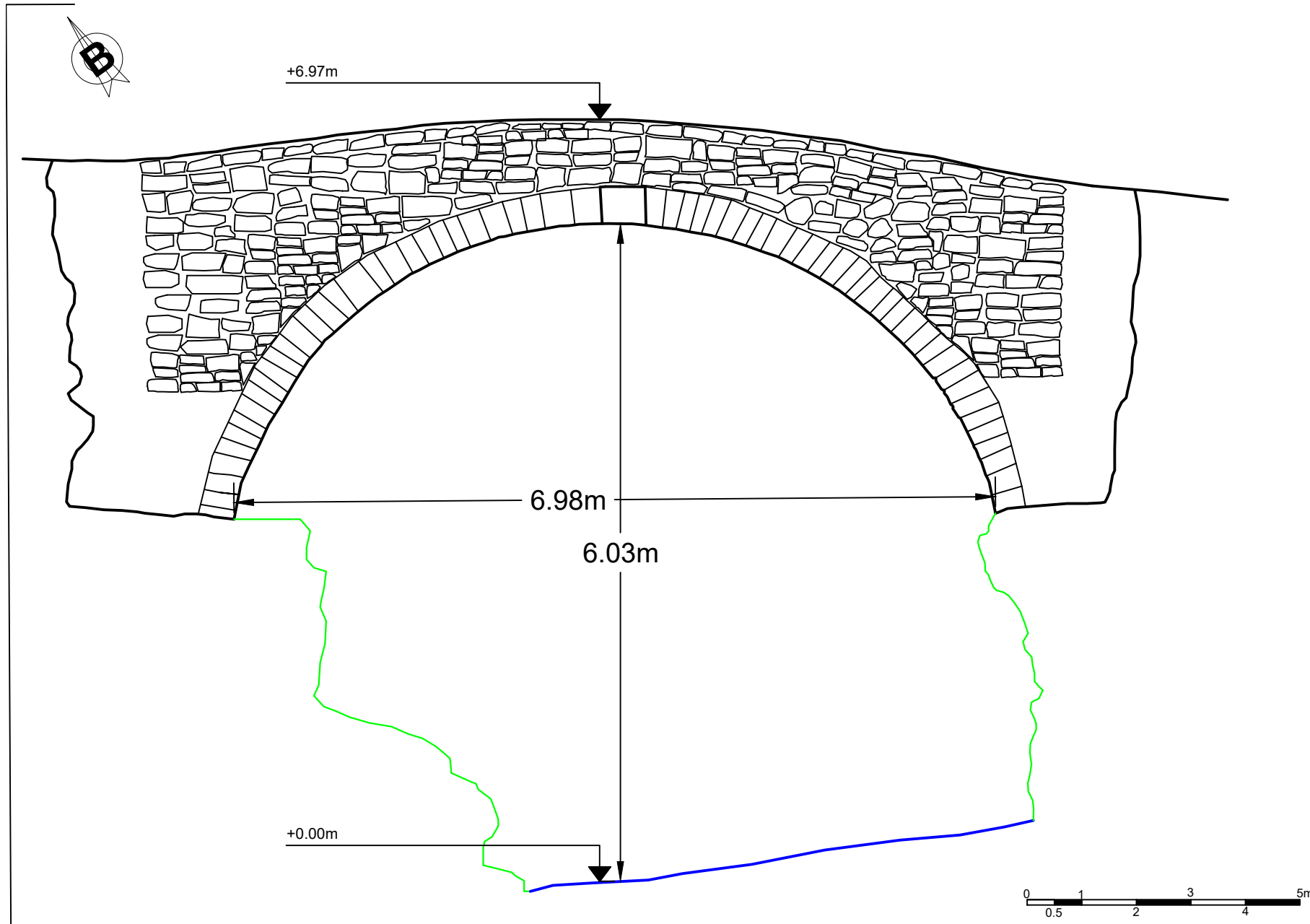
8.2 Παραγόμενα σχέδια



ΠΑ.Δ.Α. ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
 ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ
 ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΙΟΥ ΣΤΟ ΔΟΛΟ ΠΩΓΩΝΙΟΥ

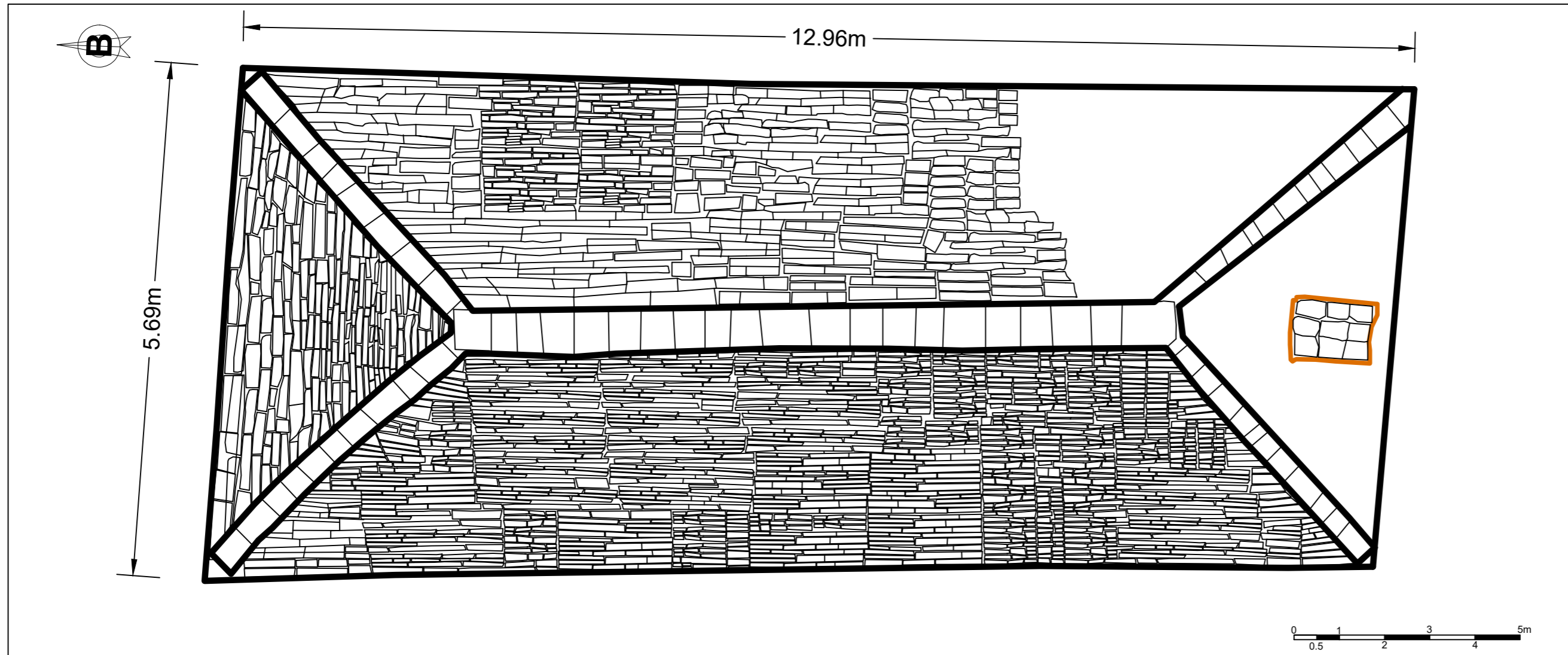
ΕΚΠΟΝΗΣΗ	ΕΠΙΒΛΕΨΗ
ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΠΕΚΟΣ	ΒΑΣΙΛΗΣ ΠΑΓΟΥΝΗΣ
ΚΑΤΟΨΗ ΓΕΦΥΡΙΟΥ ΤΗΣ ΝΟΝΟΥΛΩΣ	ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50



ΠΑ.Δ.Α. ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
 ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ
 ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΙΟΥ ΣΤΟ ΔΟΛΟ ΠΩΓΩΝΙΟΥ

ΕΚΠΟΝΗΣΗ	ΕΠΙΒΛΕΨΗ
ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΠΕΚΟΣ	ΒΑΣΙΛΗΣ ΠΑΓΟΥΝΗΣ
ΚΑΤΑΝΤΗ ΟΨΗ ΓΕΦΥΡΙΟΥ ΤΗΣ ΝΟΝΟΥΛΩΣ	ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50



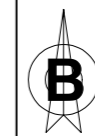
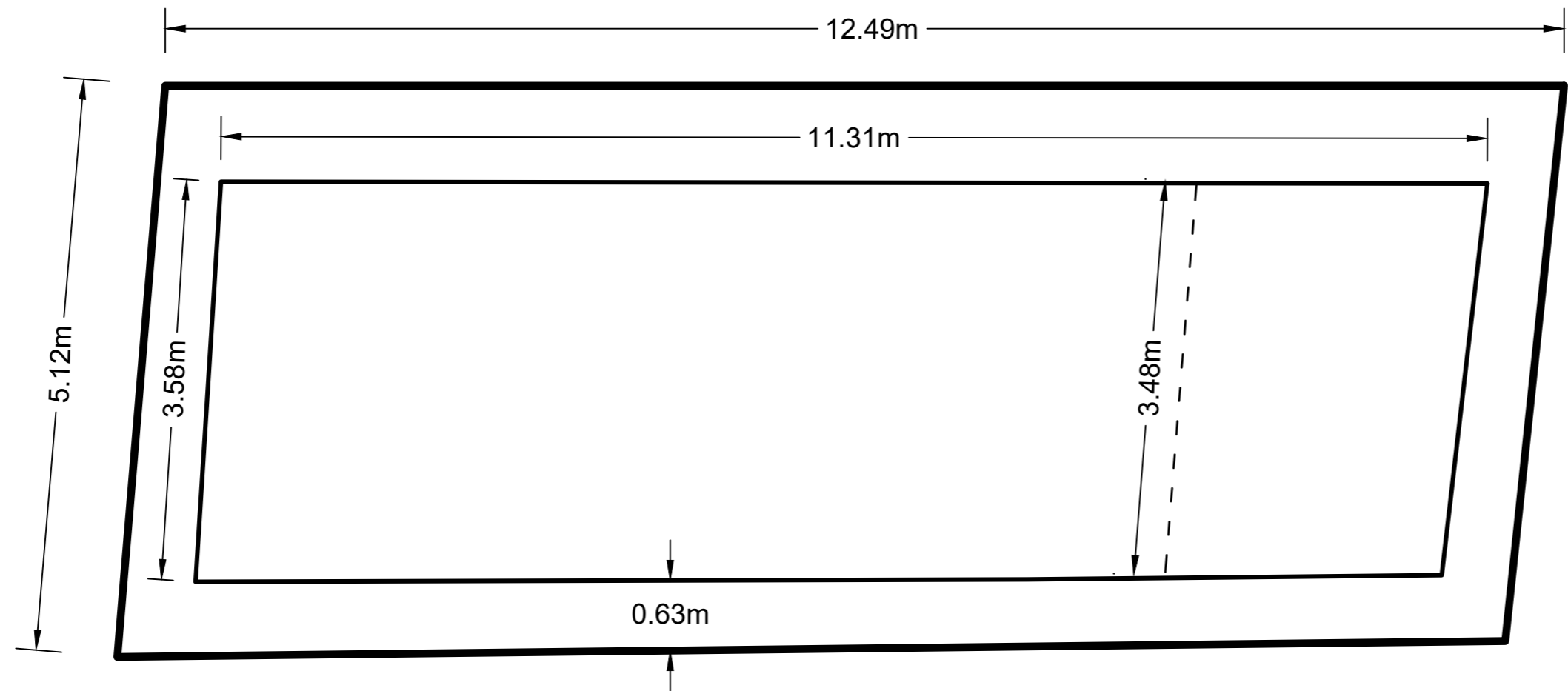




ΠΑ.Δ.Α. ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
 ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ
 ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΙΟΥ ΣΤΟ ΔΟΛΟ ΠΩΓΩΝΙΟΥ

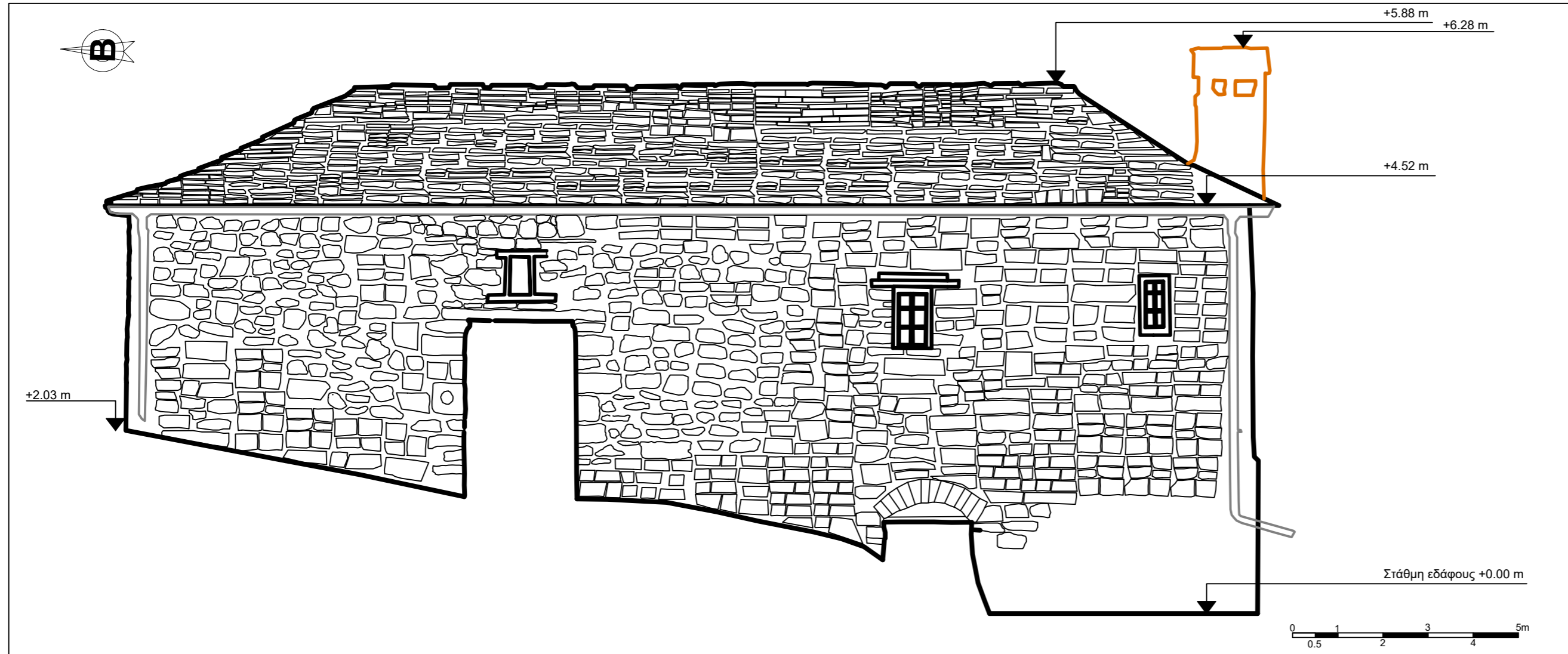
ΕΚΠΟΝΗΣΗ	ΕΠΙΒΛΕΨΗ
ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΠΕΚΟΣ	ΒΑΣΙΛΗΣ ΠΑΓΟΥΝΗΣ
ΚΑΤΟΨΗ ΣΤΕΓΗΣ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ	ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50



ΠΑ.Δ.Α. ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ
ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΙΟΥ ΣΤΟ ΔΟΛΟ ΠΩΓΩΝΙΟΥ

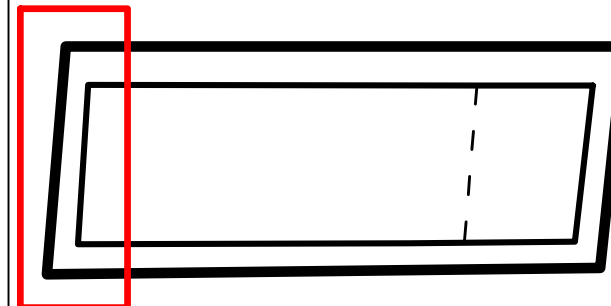
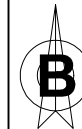
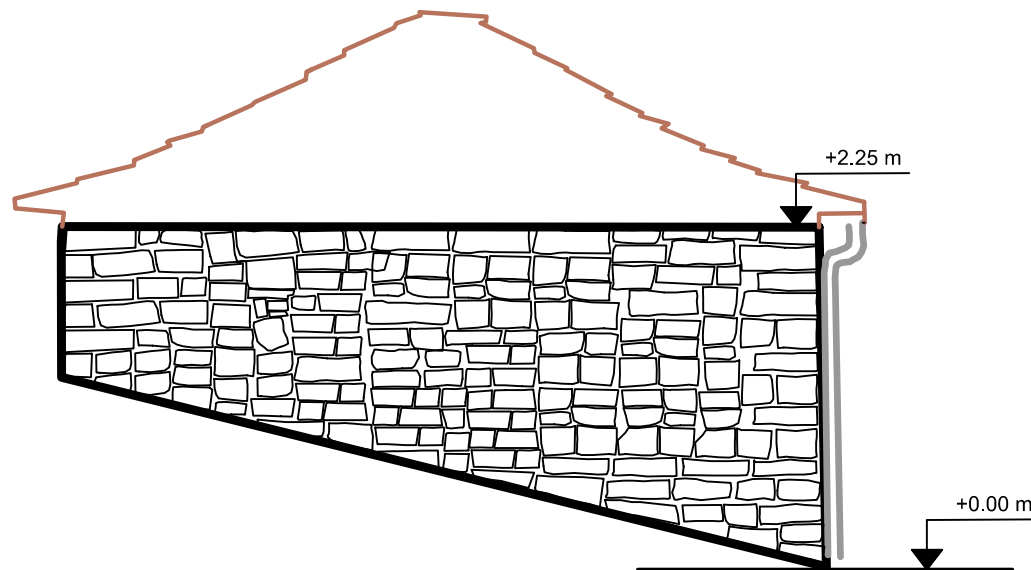
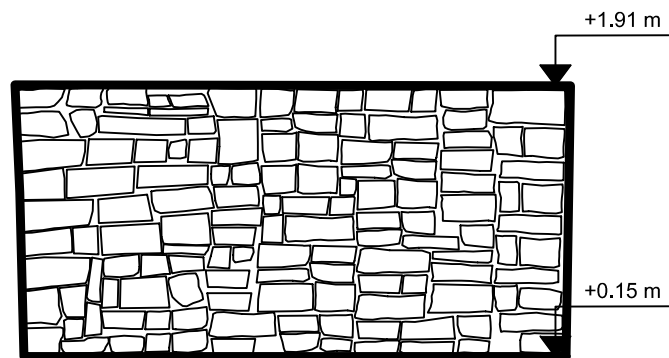
ΕΚΠΟΝΗΣΗ	ΕΠΙΒΛΕΨΗ
ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΠΕΚΟΣ	ΒΑΣΙΛΗΣ ΠΑΓΟΥΝΗΣ
ΚΑΤΟΨΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ	ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50



Π.Δ.Α. ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
 ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ
 ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΙΟΥ ΣΤΟ ΔΟΛΟ ΠΩΓΩΝΙΟΥ

ΕΚΠΟΝΗΣΗ	ΕΠΙΒΛΕΨΗ
ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΠΕΚΟΣ	ΒΑΣΙΛΗΣ ΠΑΓΟΥΝΗΣ
ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ	ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50



ΠΑ.Δ.Α. ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ
ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΙΟΥ ΣΤΟ ΔΟΛΟ ΠΩΓΩΝΙΟΥ

ΕΚΠΟΝΗΣΗ

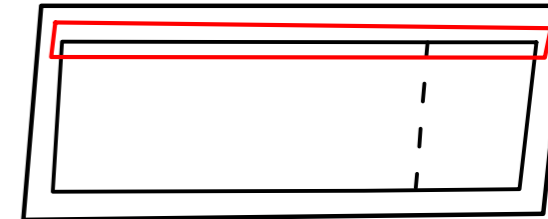
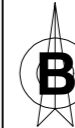
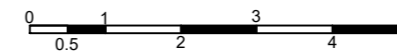
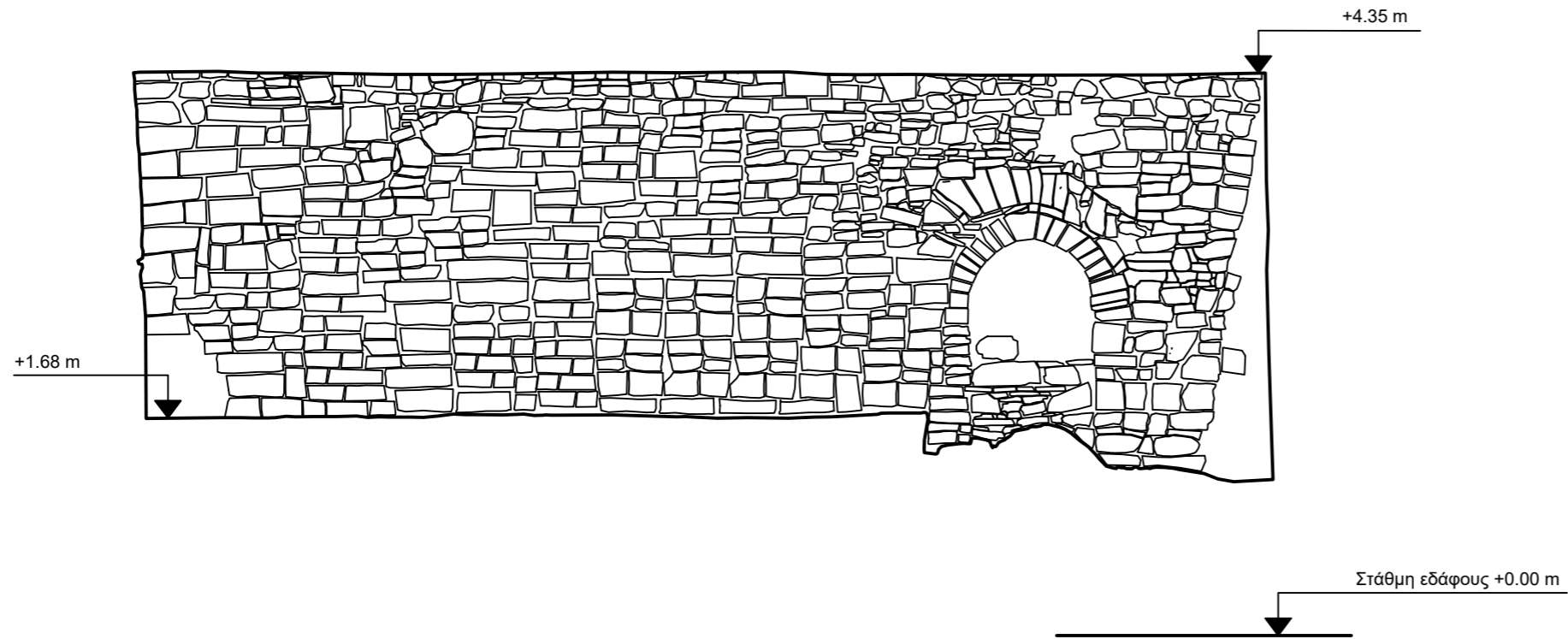
ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΠΕΚΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΨΗ

ΒΑΣΙΛΗΣ ΠΑΓΟΥΝΗΣ

ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΚΑΙ
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ
ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ

ΚΛΙΜΑΚΑ
1:50



Π.Δ.Α. ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ
Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ
ΚΑΙ ΓΕΦΥΡΙΟΥ ΣΤΟ ΔΟΛΟ ΠΩΓΩΝΙΟΥ

ΕΚΠΟΝΗΣΗ	ΕΠΙΒΛΕΨΗ
ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΠΕΚΟΣ	ΒΑΣΙΛΗΣ ΠΑΓΟΥΝΗΣ
ΟΨΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ	ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο αναπτύσσεται μια συνολική αποτίμηση των πεπραγμένων που έλαβαν χώρα για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο: «Γεωμετρική τεκμηρίωση μνημείων. Η περίπτωση του παραδοσιακού νερόμυλου και γεφυριού στο Δολό Πωγωνίου» καθώς και πιθανές προτάσεις για την μελλοντική διαχείριση των δεδομένων που παρήχθησαν και γενικότερα την αξιοποίησή τους και την ανάδειξη των δύο νεοτέρων αυτών μνημείων.

Αρχικά, η μέθοδος προσέγγισης της αρχικής συλλογής δεδομένων επιλέχθηκε να είναι η γεωδαιτική, δηλαδή η χρήση επίγειου σαρωτή laser. Η αποτύπωση με laser scanner αποτελεί σίγουρα ένα εργαλείο αποτύπωσης που δίνει την μέγιστη καταγραφή μετρητικής πληροφορίας καθώς συνδυάζει την ακρίβεια της τοπογραφικής αποτύπωσης και την ταχύτητα στις εργασίες πεδίου. Ο πλούτος της πληροφορίας που δίνει ένα τέτοιο εργαλείο αποτελεί ταυτόχρονα το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αλλά και μειονέκτημα του. Η μέθοδος αποτύπωσης με laser scanner χρειάστηκε ελάχιστο χρόνο αποτύπωσης και σε σύγκριση με τον όγκο των μετρήσεων που ελήφθησαν αμελητέο. Επίσης αποτυπώθηκαν σημεία δυσπρόσιτα και με λεπτομέρεια που ενδεχομένως με απλή παρατήρηση σε πιο κλασσικές μεθόδους να μην είχε διαφανεί. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι επίσης η δυνατότητα που παρέχει για την αποτύπωση πολύπλοκων μορφών. Στην αποτύπωση μνημείων δίνει εκτός από τα σχέδια της γεωμετρικής τεκμηρίωσης και λεπτομερή αποτύπωση σε θέματα παθολογίας όπως την αποτύπωση ρωγμών και παραμορφώσεων.

Ειδικά στην περίπτωση του νερόμυλου ο οποίος είχε φέρουσα τοιχοποιία και εντός της κατασκευής του θα ήταν πολύ δύσκολο να τεκμηριωθούν γεωμετρικά αυτοί οι τοίχοι με την φωτογραμμετρική μέθοδο λόγω έλλειψης φωτισμού, και έτσι θα χανόταν η πληροφορία της τομής και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του νερόμυλου. Πόσο μάλλον με κλασσικές τοπογραφικές μεθόδους μια λεπτομερής γεωμετρική τεκμηρίωση θα ήταν σχεδόν αδύνατη. Στην περίπτωση του γεφυριού βέβαια η χρήση επίγειου σαρωτή Laser δημιούργησε ένα πρόβλημα, αυτό των κυκλικών «τρυπών» μειωμένης πληροφορίας στη θέση στάσης του σαρωτή, επάνω στο κατάστρωμα του γεφυριού. Πρόκειται όμως για στάσεις οι οποίες δε μπορούσαν

να αποφευχθούν καθώς θα υπήρχε έλλειψη μεγαλύτερης πληροφορίας για το σύνολο του γεφυριού.

Σαν μειονέκτημα της μεθόδου είναι το δεδομένο κόστος εξοπλισμού ενός οργάνου σαν τον Leica BLK360, αλλά όταν απαιτείται πραγματικά εργασία μίας ημέρας για την ολοκλήρωση μετρήσεων ακόμα και δύο μνημείων, το ισοζύγιο τείνει προς τη χρήση του. Επίσης, οι μετρήσεις με laser scanner συνήθως αφορούν σημαντικά έργα και σκοπούς αποτύπωσης, οπότε συνήθως εξασφαλίζεται η παροχή τους από κάποιο συνεργαζόμενο ίδρυμα ή ανήκει στον προϋπολογισμό του έργου. Δεν πρόκειται για ένα όργανο το οποίο έχει ο κάθε μηχανικός στην άμεση διάθεσή του, δεν υπάρχει και πραγματικός λόγος για καθημερινή χρήση κιόλας. Οι εταιρείες διάθεσης των συγκεκριμένων σαρωτών μάλιστα παρέχουν και τη δυνατότητα δανεισμού με την ημέρα. Ένα άλλο πιθανό μειονέκτημα είναι ότι τα δεδομένα από έναν σαρωτή laser είναι αρκετά ογκώδη και απαιτούν την διαχείρισή τους από έναν πιο αναβαθμισμένο ηλεκτρονικό υπολογιστή σε σχέση με έναν απλό οικιακό υπολογιστή ειδικά παλιότερης γενιάς. Παρομοίως όμως τέτοιες εργασίες απαιτούν ειδική υποδομή και προετοιμασία το οποίο οφείλει να γνωρίζει ο μηχανικός του έργου.

Να τονιστεί ότι τα δεδομένα δεν αναφέρονται σε συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων. Γι' αυτό το λόγο η συγκεκριμένη μέθοδος θα ήταν προτιμότερο να συνδυαστεί με τις κλασικές μεθόδους αποτύπωσης, προκειμένου να ενταχθεί και στο κρατικό σύστημα ΕΓΣΑ87. Αυτό θα έχει την αξία του να γίνει για την ένταξη των τεκμηριώσεων των δύο μνημείων σε μία ανοιχτή διαδικτυακή πύλη η οποία θα είναι εύκολα προσβάσιμη και κατανοητή από τον καθένα, καθώς όχι μόνο το γεφύρι της Νονούλως αλλά όλα τα παραδοσιακά πετρόχιστα γεφύρια της Ηπείρου αποτελούν μνημεία και οφείλεται να διατηρηθούν και προβληθούν ως κομμάτι της πολιτισμικής μας κληρονομιάς.

Επίσης, μία πρόταση που προκύπτει μετά το πέρας των εργασιών πεδίου και γραφείου είναι ότι οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν την εποχή του καλοκαιριού, κάτι το οποίο βοήθησε στην αποτύπωση του γεφυριού καθώς το ρέμα του Κουβαρά δεν κατέβαζε έντονα νερά και επιτράπη η σάρωση από στάση κάτω από την καμάρα, αλλά αναφορικά με τον νερόμυλο η βλάστηση ήταν έντονη. Κάτι που αναπόφευκτα απέκρυψε πληροφορίες από το μοντέλο και δημιούργησε θόρυβο στα νέφη, ειδικά για την νότια και βόρεια πλευρά του νερόμυλου οι οποίες είναι και κατά το ήμισυ

αποκρυμμένες καθώς ο νερόμυλος είναι χτισμένος στο πόδι του λόφου που υψώνεται στην ανατολική πλευρά. Οπότε σε μια εποχή χειμερινή με χαμηλή βλάστηση θα μπορούσαν να επαναληφθούν μετρήσεις ή έστω να ληφθούν φωτογραφίες, αν δεν είναι δυνατή η χρήση laser scanner ξανά στη συγκεκριμένη τοποθεσία, ώστε να αποδοθούν τα κομμάτια που υπέπεσαν σε θόρυβο και με διπλό κέρδος την φωτογραμμετρική απόδοση του μοντέλου.

Αναφορικά με τα παραγόμενα σχέδια (όψεις, κατόψεις κλπ.) το σχήμα και οι διαστάσεις κάθε πέτρας ξεχωριστά αλλά και εν γένει της μορφής των δύο πέτρινων παραδοσιακών κατασκευών σε κλίμακα 1 προς 50 κρίνεται ικανοποιητική και μακάρι να φανεί πολύτιμη για μελλοντικές χρήσεις και σκοπούς, επεμβατικούς ή/και ενημερωτικούς-εκπαιδευτικούς, γύρω από τα δύο μνημεία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αδαμόπουλος Ε., 2017. Γεωμετρική τεκμηρίωση στο πλαίσιο ολοκληρωμένης διαγνωστικής μελέτης του αρχαίου ναού του Πυθίου Απόλλωνος στη Ρόδο. Μεταπτυχιακή εργασία, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ.

Αντωνιάδη Μ., 2020. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τρισδιάστατη αποτύπωση του Ναού της Αγίας Σοφίας στη Δράμα με Laser Scanner

Αρχοντάκης Γ., 2012. Γεωμετρική τεκμηρίωση του Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών – Δημιουργία Τρισδιάστατου Μοντέλου

Γαλερίδης Α., 1995. Τα πέτρινα γεφύρια της Θεσσαλίας. Εκδόσεις ΤΕΕ Θεσσαλίας 2006

Βλάχου Μ., 2012. Διπλωματική εργασία, Γεωμετρική τεκμηρίωση του Ρωμαϊκού Ωδείου Πατρών – Τοπογραφική Αποτύπωση – Αποτύπωση Ψηφιδωτών

Βλάχος Δ., 1987. Ο συνδυασμός τοπογραφικών και φωτογραμμετρικών μεθόδων στις αποτυπώσεις αρχιτεκτονικών μνημείων και αρχαιολογικών χώρων. Κε.Δ.Α.Κ – Τ.Ε.Ε.Κ.Μ – Σ.Α.Τ.Μ.Β.Ε Επιστημονικό Συνέδριο : Σύγχρονες Μέθοδοι Αποτύπωσης και Τεκμηρίωσης Μνημείων και Αρχαιολογικών Χώρων. Θεσσαλονίκη, Άγιον Όρος, Σύλλογος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Βόρειας Ελλάδας

Γιαννάκουλα Χ., 2018 Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Γεωμετρική Τεκμηρίωση Μνημείων με νέες Τεχνολογίες. Εφαρμογή στο Ναό της Δήμητρας στη Νάξο.

Κακαέ Β., 2020. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Τοξωτές Πέτρινες Γέφυρες: Ιστορική Αναδρομή και Τεχνολογία Κατασκευής

Καραντώνη Φ., Κατασκευές από Τοιχοποιία. Σχεδιασμός & Επισκευές, 2^η Έκδοση. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2012

Λιανός Ν., 2017. Η χρήση της τρισδιάστατης ψηφιακής μεθοδολογίας, στη μελέτη, προστασία και ανάδειξη μνημείων και ιστορικών συνόλων

Μαυροκεφάλου Ε., 2022. Διπλωματική εργασία, Τρισδιάστατη αποτύπωση του Ιστορικού Πλοίου Θ/Κ «Γ. ΑΒΕΡΩΦ»

Μπούρμπου Μ., 2016. Διπλωματική εργασία, Αποτίμηση και Ενίσχυση Διατηρητέου Κτιρίου από Φέρουσα Τοιχοποιία

Παγούνης Ν., 2022. Διπλωματική εργασία, Ολοκληρωμένη Τεκμηρίωση και Ανάδειξη Πολιτισμικού Υλικού με τη χρήση Σύγχρονων Γεωχωρικών Τεχνολογιών – Η περίπτωση του Δολού Πωγωνίου

Πατιάς Π., Εισαγωγή στη φωτογραμμετρία, Αθήνα, Εκδόσεις Ζήτη 1991

Πετρονώτης Α., 2012. Νεοελληνική Παραδοσιακή Γεφυροποιία, ήτοι το χτίσιμο ενός Πετρογέφυρου. Πρώτη παρουσίαση στο Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Μακρινίτσας

Τοκμακίδης Κ., 1987. Μεθοδολογία για την τοπογραφική αποτύπωση-τεκμηρίωση μνημείων και αρχαιολογικών χώρων. Κε.Δ.Α.Κ – Τ.Ε.Ε.Κ.Μ – Σ.Α.Τ.Μ.Β.Ε Επιστημονικό Συνέδριο: Σύγχρονες Μέθοδοι Αποτύπωσης και Τεκμηρίωσης Μνημείων και Αρχαιολογικών Χώρων. Θεσσαλονίκη, Άγιον Όρος, Σύλλογος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Βόρειας Ελλάδας

Τοκμακίδης, Κ., 2014. Τοπογραφικές αποτυπώσεις μνημείων και αρχαιολογικών χώρων. Ανάκτηση από Αποτύπωση μνημείων και αρχαιολογικών χώρων. 3D Laser: Σημειώσεις μαθήματος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Υφαντής Ν., 1996. Το Δολό στο Πωγώνι, Ακριτικός Ελληνισμός. Έκδοση Εκπολιτιστικού Συλλόγου Δολού Πωγωνίου.

Hanke Klaus και Grussenmyer Pierre, 2002. ARCHITECTURAL PHOTOGRAMMETRY: Basic theory, Procedures, Tools, Κέρκυρα.

Fieldworx, 2020. Leica Cyclone Fieldworx. In-field, survey-grade registration. Heerbrugg, Switzerland: Leica Geosystems AG.

Sgrenzaroli M., 2005. Cultural Heritage 3D Reconstruction using High Resolution Laser Scanner: New Frontiers Data Processing. In Proceedings of the CIPA 2005 XX International Symposium, Torino, Italy.