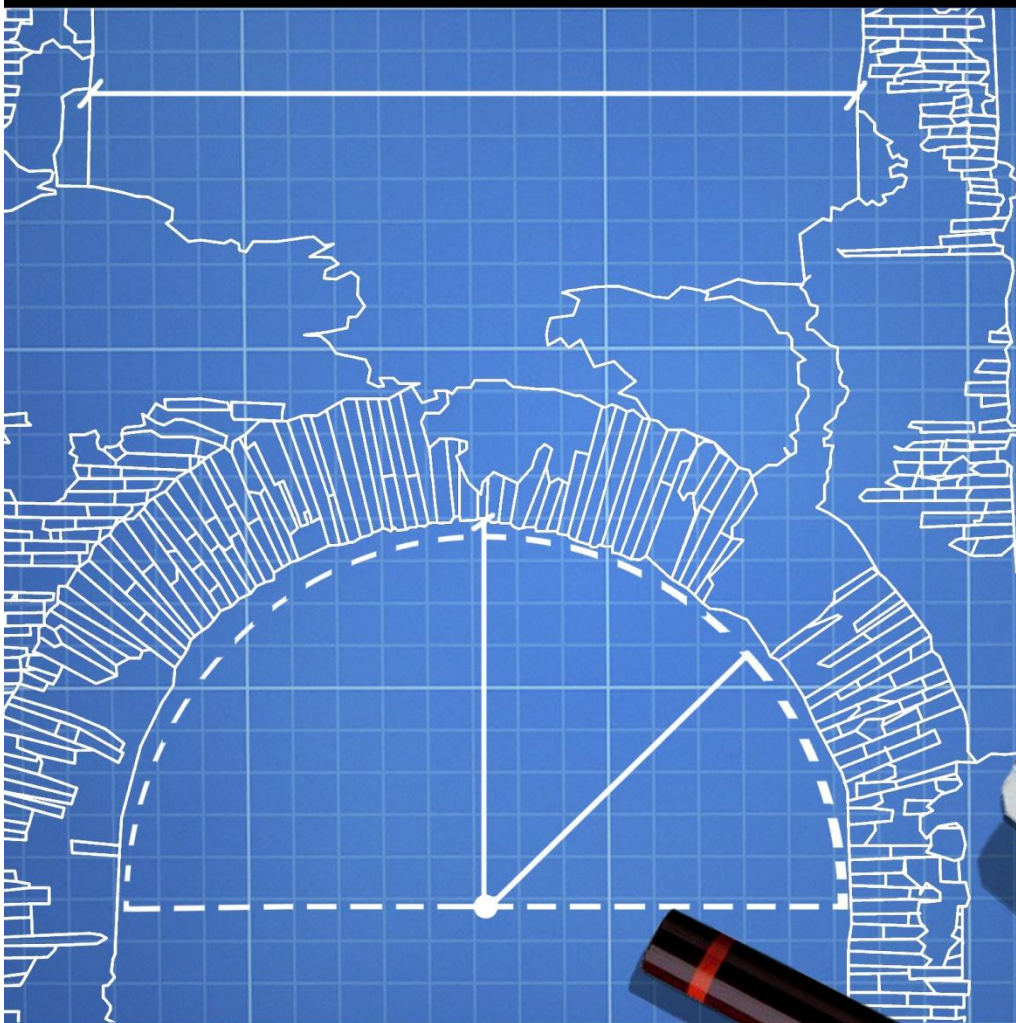


ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ
ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

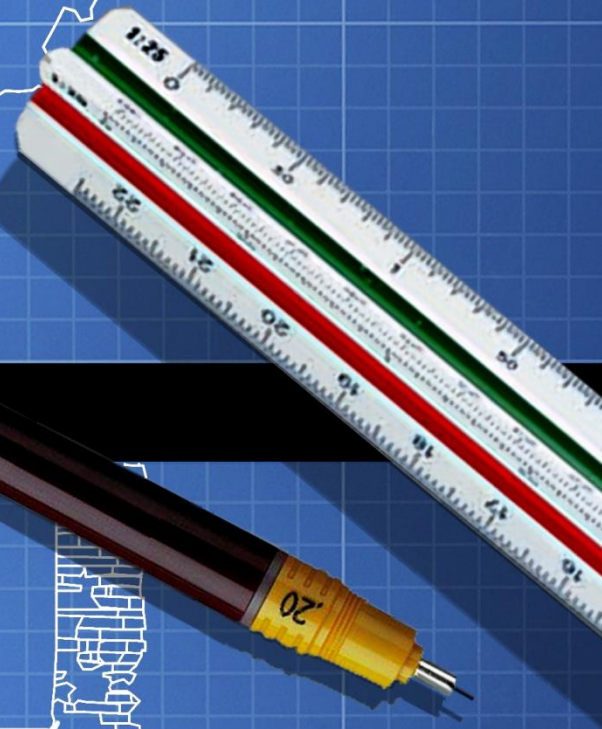
ΜΕΛΕΤΗ ΡΩΜΑΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ



Πτυχιακή εργασία των:
Παπαδοπούλου Ελένη
Γκούμας Γεώργιος

ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ
Δρ Κακαβάς Παναγιώτης
Δρ Κωνσταντίνα-Θηρεσία Βοζίκη

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ



ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

ΤΙΤΛΟΥΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΡΩΜΑΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ

Πτυχιακή εργασία των:

Γκούμας Γεώργιος

Παπαδοπούλου Ελένη

ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ

Δρ Κακαβάς Παναγιώτης

Δρ Κωνσταντίνα-Θηρεσία Βοζίκη

ΠΑΤΡΑ 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ρωμαϊκό υδραγωγείο ξεκινάει από τις πηγές «Νερομάνα» του Ρωμανού και καταλήγει, μετά από διαδρομή 7,5 χλμ. στην Αρόη κάτω από το βυζαντινό κάστρο. Η Πάτρα έγινε ρωμαϊκή αποικία το 31 π.Χ. και η επικράτηση της ρωμαϊκής αρχιτεκτονικής ήταν καθολική. Πολλά δημόσια κτίρια και έργα έγιναν με δαπάνες των ρωμαίων αυτοκρατόρων και ευεργετών της πόλης. Μεταξύ αυτών ήταν το ρωμαϊκό υδραγωγείο, έργο απαραίτητο σε μια πολυάνθρωπη πόλη όπως η Πάτρα. Οι Ρωμαίοι κατασκεύασαν μια μεγάλη δεξαμενή νερού στις πηγές του Ρωμανού, από όπου ξεκινά ο χείμαρρος του Διακονιάρη. Η δεξαμενή έγινε με τη μορφή τεχνητού φράγματος στην αρχή του λαγκαδιού και σ' απόσταση δέκα μέτρων από τις πηγές. Τμήμα του αρχικού τοίχου του φράγματος βρίσκεται σήμερα ενσωματωμένο στη βάση της σύγχρονης δεξαμενής, ενώ σε απόσταση 20 μ., μέσα στην κοίτη του ποταμού βρίσκονται αρκετά μεγάλα κομμάτια ισχυρού τοίχου. Το ρωμαϊκό υδραγωγείο έχει κηρυχτεί αρχαιολογικός χώρος. Η μελέτη θα συμπεριλαμβάνει τις εξής εργασίες:

- Συλλογή στοιχείων για το μνημείο (ιστορικά, τοπογραφικά, κτλ)
- Αποτύπωση μέρους του ρωμαϊκού υδραγωγείου (Αποτύπωση Ρ.Υ.Π.)
- Μελέτη παθολογίας-υπάρχουσα κατάσταση
- Καταγραφή ιδιαίτερων αρχιτεκτονικών στοιχείων
- Μελέτη φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων των δομικών υλικών στο εργαστήριο του τμήματος Α.Α.Κ.
- Πρόταση αποκατάστασης του ρωμαϊκού υδραγωγείου σύμφωνα με το «χάρτη της Βενετίας».

ABSTRACT

The Roman aqueduct starts from the source "Neromana" Romanos and ends after 7,5 km route Aroe, Greece, under the Byzantine castle. Patras became a Roman colony in 31 BC and the predominance of Roman architecture was universal. Many public buildings and projects were at the expense of Roman emperors and benefactors of the city. Among them was the Roman aqueduct, a work necessary in a populous city like Patra. The Romans built a large tank of water at the sources of Romanos, from where starts the torrent of Diakoniaris. The tank was in the form of an artificial barrier to the top of the gorge and at a distance of ten meters from the source. Part of the original wall of the dam is now built on the basis of modern tank, and 20 meters, in the bed of the river are several large pieces of strong wall. The Roman aqueduct has announced archaeological place. The study will include the following tasks:

- Collection of data of the monument (historical, topographical, etc.)

- Imprinting of part of the Roman aqueduct (Apotyposi R.Y.P.)
- Study of pathology-existing condition
- Recording specific architecture data
- Study of physicochemical and mechanical properties of structural materials in the laboratory section of A.A.K. which will be used for static and seismic analysis part of the aqueduct.
- Proposal for restoration of the Roman aqueduct in accordance with the "Charter of Venice."

Περιεχόμενα

ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ	3
ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ	3
ΤΙΤΛΟΥΣ: ΜΕΛΕΤΗ ΡΩΜΑΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ	3
Περιεχόμενα	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 Πολιτιστική Κληρονομιά	13
1.2 Εισαγωγή.....	14
1.3 Τι είναι το υδραγωγείο.....	15
1.4 Ρωμαϊκά Υδραγωγεία στην Ελλάδα	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	27
ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	27
2.1 Εισαγωγή.....	27
2.2 Ρωμαϊκή αυτοκρατορία	29
2.3 Ρωμαϊκά υδραγωγεία στην Ευρώπη	30
2.4 Ρωμαϊκή Πάτρα.....	31
2.5 Ρωμαϊκό υδραγωγείο Πατρών	32
2.6 Τμήματα ρωμαϊκού υδραγωγείου.....	35
2.7 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΓΕΝΙΚΑ.....	61
Υλικά δομής	61
2.8 Τεχνικές κατασκευής.....	64
2.9 Ανάλυση υπάρχουσας κατάστασης	71
2.10 Η ύδρευση στην Πάτρα από την αρχαιότητα έως και την οθωμανική περίοδο.....	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	84
ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΡΩΜΑΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΤΡΑ	84
3.1 Εισαγωγή.....	84
3.2 Φωτογραμμετρικές μέθοδοι	84
3.2.1 Ιστορικά στοιχεία.....	84
3.2.2 Στάδια εξέλιξης της φωτογραμμετρίας	87
3.2.3 Συστήματα Συντεταγμένων	87
3.2.3.1 Σύστημα συντεταγμένων του φωτογραφικού επιπέδου	87
3.2.3.2 Σύστημα συντεταγμένων της φωτομηχανής.....	88

3.2.4 Φωτογραμμετρικός Εξοπλισμός	95
3.2.5 Γενικές παρατηρήσεις για την εφαρμογή φωτογραμμετρικών μεθόδων για την αποτύπωση μνημείων - χώρων	98
3.2.6 Ψηφιοποίηση με χρήση τεχνικών σάρωσης laser ή τριγωνισμού	101
3.2.7 Επιλογή βέλτιστης μεθοδολογίας αποτύπωσης μνημείων	106
3.2.8 Προϊόντα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας εικόνων	112
3.2 Θεοδόλιχος	115
3.2.2 Τοποθέτηση του θεοδόλιχου	119
3.3.3 Μετρήσεις γωνιών διεύθυνσης	119
3.3.4 Μετρήσεις ζενιθίων αποστάσεων	120
3.3.5 Ανάγνωση των μετρήσεων.....	120
3.3 Υπολογιστικό πρόγραμμα Iwitness	121
3.4 Autodesk ImageModeler	132
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	149
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	149
4.1 Εισαγωγή.....	149
4.2 Μορφολογική ανάλυση.....	150
4.3 Κατασκευαστική ανάλυση	155
4.3.α Τοιχοποιία.....	155
4.3.β Τόξα.....	156
4.3.γ Αντηρίδες	159
4.3.δ Θεμέλια	160
4.4 Παθολογία.....	160
4.5 Αξιολόγηση	166
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	169
ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ.....	169
5.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	169
5.2 Φασματοσκοπία.....	169
5.3 Φασματοσκοπία υπερύθρου.....	171
5.4 Ιστορική αναδρομή.....	171
5.5 Αρχή λειτουργίας φασματοφωτομετρίας ορατού-υπεριώδους (UV-VIS).....	172
5.6 FTIR.....	173

5.7 Υπέρθρες FTIR	175
5.8 Ποιοτική ανάλυση και ποσοτική ανάλυση.....	177
5.9 Φυσικές Αρχές	178
5.10 FTIR μικροσκόπιο	180
5.11 Επιστημονική εξέταση υλικών	180
5.12 Φωτεινές πηγές.....	181
5.13 Συμβολόμετρο (INTERFEROMETER)	181
5.14 Συλλέγοντας το φόντο (BACKGROUND).....	183
5.15 Βαθμομόνωση του φασματογράφου	183
5.16 Αντανάκλαση ATR Φασματοσκοπίας.....	183
5.17 IRPrestige-21, IRsolution	184
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο	195
ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	195
6.1 Εισαγωγικά	195
6.2 Κριτήρια και αρχές	196
6.2 α)Χάρτης Βενετίας.....	196
6.2 β) Κριτήρια και αρχές των επεμβάσεων	199
6.3 Πρόταση αποκατάστασης	201
6.3.1 Συμβατά υλικά επεμβάσεων.....	202
6.3.2 Φέρων οργανισμός-Τοιχοποιία.....	203
6.3.3 Τεχνικές	211
ΠΗΓΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ	219
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	219
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	220

ΕΙΚΟΝΑ 1. 1 ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ.....	15
ΕΙΚΟΝΑ 1.2 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ.....	16
ΕΙΚΟΝΑ 1.3 ΤΟ ΡΩΜΑΪΚΟ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ RONT DU GARD, ΣΤΗ ΓΑΛΛΙΑ.....	17
ΕΙΚΟΝΑ 1.4 ΤΟ ΡΩΜΑΪΚΟ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ ΚΑΒΑΛΑΣ.....	18
ΕΙΚΟΝΑ 1.5 ΤΟ ΡΩΜΑΪΚΟ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ ΝΙΚΟΠΟΛΕΩΣ.....	20
ΕΙΚΟΝΑ 1.6 ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ ΠΑΤΡΩΝ.....	21
ΕΙΚΟΝΑ 1.7 ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ ΜΟΡΙΑΣ.....	22
ΕΙΚΟΝΑ 1.8 ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ ΤΟΥ ΧΟΡΤΙΑΤΗ.....	23
ΕΙΚΟΝΑ 1.9 ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ ΧΑΛΚΙΔΑΣ.....	24
ΕΙΚΟΝΑ 1.10 ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙΟΥ ΑΓΙΑΣ.....	25
ΕΙΚΟΝΑ 2. 2 Η ΠΑΤΡΑ.....	28
ΕΙΚΟΝΑ 2. 2 Η ΡΩΜΑΪΚΗΣ ΑΥΤΟΚΡΑΤΟΡΙΑΣ ΣΤΙΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ 2 ^{ΟΥ} ΑΙ. Μ.Χ.....	29
ΕΙΚΟΝΑ 2. 3 ΧΑΡΤΗΣ ΡΩΜΑΪΚΩΝ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΩΝ.....	30
ΕΙΚΟΝΑ 2. 4 ΧΑΡΤΗ ΤΗΣ ΡΩΜΑΪΚΗΣ ΑΧΑΪΑΣ.....	31
ΕΙΚΟΝΑ 2. 5 ΑΠΟΨΗ ΡΩΜΑΪΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ. ΑΠΟ ΤΟ ΒΙΒΛΙΟ ΤΟΥ ΑΛΕΚΟΥ ΜΑΡΑΣΛΗ «ΠΑΤΡΑ 1900».....	32
ΕΙΚΟΝΑ 2. 6 ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΡΩΜΑΪΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ.....	33
ΕΙΚΟΝΑ 2. 7 ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ.....	35
ΕΙΚΟΝΑ 2. 8 ΛΕΚΑΝΗ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΝΕΡΟΥ.....	36
ΕΙΚΟΝΑ 2. 10 ΡΩΜΑΪΚΟ ΦΡΑΓΜΑ.....	38
ΕΙΚΟΝΑ 2. 11 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	38
ΕΙΚΟΝΑ 2. 12 Α) ΣΗΡΑΓΓΑ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ ΣΤΗ ΛΥΩΝ Β) ΣΗΡΑΓΓΑ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ ΣΤΗ ΣΑΜΟ.....	40
ΕΙΚΟΝΑ 2. 13 ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΗΡΑΓΓΑ.....	41
ΕΙΚΟΝΑ 2. 14 Α) ΣΧΕΔΙΟ ΤΩΝ ΕΡΕΙΠΙΩΝ ΤΟΥ ΡΟΝΤΕ ΛΥΡΟ Β) ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΓΕΦΥΡΑΣ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 2. 15 ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ, ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΣ ΣΧΕΔΙΟ.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 2. 16 POND DU GARD ΣΤΗΝ ΓΑΛΛΙΑ.....	44
ΕΙΚΟΝΑ 2. 17 ΣΧΕΔΙΟ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΙΦΟΝΙΟΥ.....	46
ΕΙΚΟΝΑ 2. 18 ΣΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ.....	47
ΕΙΚΟΝΑ 2. 19 ΤΟ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ ΔΙΑΤΗΡΕΙΤΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟ, ΣΕ ΟΛΟΚΛΗΡΟ ΤΟ ΑΝΩΜΑΛΟ ΕΔΑΦΟΣ.....	49
ΕΙΚΟΝΑ 2. 20 ΕΙΔΗ ΚΑΝΑΛΙΩΝ.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 2. 21 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ.....	51
ΕΙΚΟΝΑ 2. 22 ΛΕΚΑΝΗ ΔΙΑΝΟΜΗΣ (CASTELLUM DIVISORIUM) ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΝΙΜ ΣΤΗ ΓΑΛΛΙΑ.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 2. 23 ΚΥΚΛΙΚΑ ΡΩΜΑΪΚΑ ΛΟΥΤΡΑ.....	54
ΕΙΚΟΝΑ 2. 24 ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΚΑΙ ΛΥΜΑΤΑ.....	55
ΕΙΚΟΝΑ 2. 25 ΣΩΛΗΝΕΣ ΤΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ ΤΟΥ CADIZ (ΙΣΠΑΝΙΑ).....	57
ΕΙΚΟΝΑ 2. 26 ΔΕΡΜΑΤΙΝΟΣ ΣΩΛΗΝΑΣ.....	57
ΕΙΚΟΝΑ 2. 27 ΣΩΛΗΝΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΒΡΕΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΠΟΤΑΜΟ ΡΟΔΑΝΟ	58
ΕΙΚΟΝΑ 2. 28 ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΠΗΛΙΝΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΑΡΧΑΪΚΟ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ ΣΑΜΟΥ.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 2. 29 ΣΧΕΔΙΟ ΤΟΥ CASTELLUM DIVISORIUM ΟΠΩΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΒΙΤΡΟΥΒΙΟ.....	60
ΕΙΚΟΝΑ 2. 30 ΑΚΑΤΕΡΓΑΣΤΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥΣ ΜΕ ΚΟΝΙΑΜΑ.....	65
ΕΙΚΟΝΑ 2. 31 OPUS INCERTUM.....	66
ΕΙΚΟΝΑ 2. 32 OPUS RETICULATUM.....	67
ΕΙΚΟΝΑ 2. 33 OPUS TESTACEUM – LATERICIUM.....	68

ΕΙΚΟΝΑ 3. 26 Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΟΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΣΥΜΠΙΠΤΕΙ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΙΔΙΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΔΕΥΤΕΡΗ.....	124
ΕΙΚΟΝΑ 3. 27 ΤΑ ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ ΣΗΜΑΔΙΑ ΓΙΝΟΝΤΑΙ ΠΡΑΣΙΝΑ.....	125
ΕΙΚΟΝΑ 3. 28 ΜΠΑΡΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ.....	126
ΕΙΚΟΝΑ 3. 29 ΣΗΜΕΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	126
ΕΙΚΟΝΑ 3. 30 ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΑΙ ΚΑΘΕ ΕΠΟΜΕΝΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ.....	127
ΕΙΚΟΝΑ 3. 31 Α) SET SCALE Β) SELECT UNITS.....	127
ΕΙΚΟΝΑ 3. 32 Η ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΗΜΕΙΩΝ.....	128
ΕΙΚΟΝΑ 3. 33 Η ΚΛΙΜΑΚΑ.....	128
ΕΙΚΟΝΑ 3. 34 Α) ΤΡΕΙΣ ΕΠΙΛΟΓΕΣ Β) ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	129
ΕΙΚΟΝΑ 3. 35 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	129
ΕΙΚΟΝΑ 3. 36 Α) 3D POINTS DIALOG Β)EXPORT DFX.....	130
ΕΙΚΟΝΑ 3. 35 DFX OPTIONS.....	130
ΕΙΚΟΝΑ 3. 36 AUTOCAD.....	131
ΕΙΚΟΝΑ 3. 37 ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΗΜΕΙΩΝ.....	131
ΕΙΚΟΝΑ 3. 37 ΕΠΙΛΟΓΗ FILE.....	132
ΕΙΚΟΝΑ 3. 38 ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΕΙΚΟΝΕΣ (ADD IMAGES).....	133
ΕΙΚΟΝΑ 3. 39 ΟΙ ΕΙΚΟΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	133
ΕΙΚΟΝΑ 3. 40 Ο ΧΩΡΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	134
ΕΙΚΟΝΑ 3. 41 WINDOW > LAYOUT > FOUR VIEWS.....	134
ΕΙΚΟΝΑ 3. 42 ΟΙ ΤΕΣΣΕΡΙΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	135
ΕΙΚΟΝΑ 3. 43 Ο ΜΕΓΕΘΥΝΤΙΚΟΣ ΦΑΚΟΣ.....	136
ΕΙΚΟΝΑ 3. 44 Ο ΠΡΩΤΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ.....	136
ΕΙΚΟΝΑ 3. 45 LOCATOR.....	137
ΕΙΚΟΝΑ 3. 47 Η ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΗΤΑΝ ΕΠΙΤΥΧΗΣ.....	137
ΕΙΚΟΝΑ 3. 46 WORLDSPACE TOOL.....	138
ΕΙΚΟΝΑ 3. 47 ΟΡΙΖΟΥΜΕ ΤΟΥΣ ΑΞΟΝΕΣ.....	138
ΕΙΚΟΝΑ 3. 48 REFERENCE DISTANCE TOOL.....	139
ΕΙΚΟΝΑ 3. 49 REFERENCE DISTANCE.....	139
ΕΙΚΟΝΑ 3. 50 DISTANCE RULER.....	140
ΕΙΚΟΝΑ 3. 51 CREATE PRIMITIVE TOOL.....	140
ΕΙΚΟΝΑ 3. 52 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ.....	140
ΕΙΚΟΝΑ 3. 53 TEXTURING TAB.....	141
ΕΙΚΟΝΑ 3. 54 ΠΑΤΑΜΕ OK.....	141
ΕΙΚΟΝΑ 3. 55 TEXTURE EXTRACTION PROGRESS.....	142
ΕΙΚΟΝΑ 3. 58 EXPORT SCENE AS.....	142
ΕΙΚΟΝΑ 3. 56 ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ AUTOCAD.....	143
ΕΙΚΟΝΑ 3. 57 ΣΗΜΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΟΔΟΛΙΧΟΥ.....	145
ΕΙΚΟΝΑ 3. 61 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΟΔΟΛΙΧΟΥ.....	146
ΕΙΚΟΝΑ 3. 6258 ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ.....	147
ΕΙΚΟΝΑ 4. 59 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΣΧΕΣΗ ΧΩΡΟΥ.....	149
ΕΙΚΟΝΑ 4. 2 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΧΩΡΟΥ.....	150
ΕΙΚΟΝΑ 4. 3 ΚΑΤΟΨΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ.....	151
ΕΙΚΟΝΑ 4. 4 ΚΑΜΑΡΕΣ Α ΚΑΙ Β.....	151
ΕΙΚΟΝΑ 4. 5 ΚΑΜΑΡΑ Γ.....	152
ΕΙΚΟΝΑ 4. 6 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ.....	153
ΕΙΚΟΝΑ 4. 7 ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΜΑΡΑΣ Β.....	154

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Πολιτιστική Κληρονομιά

«Έχουμε το προνόμιο να ζούμε σε μια χώρα που κάθε σπιθαμή του εδάφους της μαρτυρεί πολιτισμό και ιστορία. Εκτός από τους ιστορικούς τόπους με παγκόσμια ακτινοβολία - Αθήνα, Δελφοί, Ολυμπία και πολλοί άλλοι - μνημεία υπάρχουν παντού: αρχαία ιερά και εξωκλήσια σε σχεδόν απάτητες βουνοκορφές, και στο βυθό των θαλασσών μας, καταποντισμένα λιμάνια, πλοία, έργα τέχνης, απλοί αμφορείς και τόσα άλλα, σε μεγάλο πλήθος. Είναι ένα προνόμιο μοναδικό, το οποίο, όμως δημιουργεί και τη σοβαρή υποχρέωση της προστασίας αυτής της κληρονομιάς.

Η προστασία των έργων του Πολιτισμού δεν είναι μόνον ένα ηθικό χρέος. Είναι και συμφέρον, επειδή η πολιτιστική κληρονομιά αποτελεί πλούτο και με την κυριολεκτική σημασία του όρου. Ακόμα περισσότερο, όμως τα μνημεία, ως παράγοντες της ακτινοβολίας του πολιτισμού μας, είναι πηγή κύρους για τη χώρα μας και βασικό έρεισμα για το χειρισμό εθνικών μας υποθέσεων. Ας μην ξεχνάμε ότι το κύρος αυτό, η φιλοσοφία, οι πολιτικές ιδέες και η τέχνη μας πολύ βοήθησαν στην ανάπτυξη του φιλελληνισμού, ο οποίος με τη σειρά του πολύ συνέβαλε στην αποκατάσταση της εθνικής ανεξαρτησίας μας. Έτσι πέρα από κάθε σκοπιμότητα, η πολιτιστική κληρονομιά μας παραμένει δάσκαλος και οδηγός, η εσωτερική μας δύναμη, η ευσυνειδησία και η υπερηφάνεια μας.

Αυτό που κράτησε τον ελληνισμό όρθιο μέσα στους αιώνες είναι η δύναμη της παράδοσής του, που τροφοδοτείται από την παρουσία των μνημείων της στο περιβάλλον του καθημερινού ανθρώπου. Όμως, η παρουσία αυτή εξασφαλίζεται μόνον με κατάλληλους θεσμούς, με κατάλληλα τεχνικά έργα, με δημιουργία μουσείων και πολλά άλλα συναφή. Βεβαίως, για όλα αυτά χρειάζονται άνθρωποι, χρήματα και μέσα, πολύ περισσότερα από όσα διαθέτουμε σήμερα.

Βεβαίως - και αυτό είναι το σπουδαιότερο - χρειάζεται μια άλλου τύπου βίωση της κληρονομιάς μας, που δεν θα υπάρξει αν δεν αλλάξει εκ βάθρων το ακατάλληλο εκπαιδευτικό μας σύστημα. Γιατί δεν θα διαθέτουμε δραστική προστασία της κληρονομιάς μας όσο κάθε Έλληνας πολίτης δεν θα είναι ένας συνειδητός ευαίσθητος και παθιασμένος φρουρός της.»

Μελίνα Μερκούρη

1.2 Εισαγωγή

Σε κάθε τόπο, σε διαφορετικές ιστορικές περιόδους, οι κοινωνικές ομάδες που έζησαν εκεί, δημιούργησαν πολιτισμούς των οποίων τα δημιουργήματα τους, καταγράφονται στα εναπομείναντα ίχνη των κατασκευών που διασώθηκαν στις μέρες μας. Στην ιστορία τους και στην σχετικά σύντομη διάρκεια τους οι κατασκευές αυτές δέχθηκαν πολλές χρήσεις, ερμηνείες και επεμβάσεις. Πολλές εξαφανίστηκαν, άλλες διατηρήθηκαν ως ερείπια και λιγότερες από αυτές συνεχίζουν τη ζωή τους μέχρι σήμερα. Οι ανθρώπινες δημιουργίες είναι ζωντανές μαρτυρίες των κατασκευαστικών μεθόδων αλλά και της γενικότερης αντίληψης του κάθε πολιτισμού.

Κάθε μνημείο αποτελείται από στοιχεία του πολιτισμού που τα δημιούργησε. Η εξέταση των ιδιαίτερων αυτών στοιχείων αποτελεί αντικείμενο μελετών. Ωστόσο η πορεία που θα πρέπει να ακολουθήσει μια αντίστοιχη έρευνα καθώς και τα επιμέρους θέματα στα οποία θα πρέπει να επικεντρωθεί το ενδιαφέρον, είναι σημαντικό να προσδιοριστούν με όση σαφήνεια επιτρέπουν οι ιδιαιτερότητες κάθε περίπτωσης.

Στην πτυχιακή μας εργασία αναλύουμε το τμήμα *ρωμαϊκού υδραγωγείου* ένα από τα πιο σημαντικά αρχαιολογικά επιτεύγματα της αρχιτεκτονικής αλλά και του τεχνολογικού πολιτισμού. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η συλλογή στοιχείων για το μνημείο και στοιχεία της περιοχής, η δομή ενός ρωμαϊκού υδραγωγείου, και η μεθοδολογία αποτύπωσης της όψης του μνημείου. Επίσης η μελέτη φυσικοχημικών και μηχανικών ιδιοτήτων των δομικών υλικών στο εργαστήριο του τμήματος Α.Α.Κ.. Η μελέτη της παθολογίας-υπάρχουσα κατάσταση. Πρόταση αποκατάστασης του ρωμαϊκού υδραγωγείου σύμφωνα με το «χάρτη της Βενετίας». Το μεγαλόπνοο και ζωτικής σημασίας αυτό έργο, κατασκευάστηκε πιθανώς από τον αυτοκράτορα Αδριανό, στις αρχές του 2ου αι. μ.Χ. αποτελεί χαρακτηριστικό δείγμα ρωμαϊκής αρχιτεκτονικής.

Σύμφωνα με τον Βιτρούβιο οποίος είχε αφιερώσει ένα ολόκληρο κεφάλαιο για τα υδραγωγεία η αρχιτεκτονική πρέπει να ικανοποιεί τρεις συνθήκες:

Την αισθητική απόλαυση, **τη σκοπιμότητα**, να είναι δηλαδή εξυπηρετική ως προς την λειτουργία για την οποία προορίζεται και τέλος **την αντοχή**, το να είναι κατασκευασμένη άρτια. Όταν ικανοποιεί μόνο την αντοχή και την σκοπιμότητα την ονομάζουμε τεχνικό έργο. Η αισθητική συνθήκη, οι παράγοντες δηλαδή καλλιτεχνικής και αισθητικής έκφρασης, είναι δυνατόν να μετατρέψουν το τεχνικό έργο σε έργο τέχνης.

Οι Ρωμαίοι κατασκεύασαν πολλά υδραγωγεία για την παροχή νερού στις πόλεις και βιομηχανικές περιοχές. Αυτά τα υδραγωγεία ήταν από τα μεγαλύτερα κατορθώματα της μηχανικής του αρχαίου κόσμου, και να θέσει ένα πρότυπο για πάνω από χίλια χρόνια μετά την πτώση της Ρώμης.

Πολλές πόλεις εξακολουθούν να διατηρούν και να χρησιμοποιούν τα αρχαία υδραγωγεία ακόμη και σήμερα, αν και έχουν ανοίξει τα κανάλια συνήθως έχουν αντικατασταθεί από τις σωληνώσεις.

1.3 Τι είναι το υδραγωγείο

Υδραγωγείο ονομάζουμε το τεχνητό κανάλι που κατασκευάζεται για να μεταβιβάσει το ύδωρ από μια θέση σε μια άλλη. Ο όρος ετυμολογείται από τις λέξεις «ύδωρ» και «άγω». Αν για έναν άνθρωπο το πολυτιμότερο υλικό αγαθό είναι το οξυγόνο που αναπνέει, για μια πόλη το σημαντικότερο αγαθό είναι το νερό. Από τους πρώτους υποτυπώδεις οικισμούς της προϊστορίας ως τις αχανείς και τεχνολογικά εξελιγμένες μεγαλουπόλεις των καιρών μας, η δυνατότητα εύκολης πρόσβασης σε επαρκή αποθέματα πόσιμου νερού αποτέλεσε προϋπόθεση της δημιουργίας τους. Και μπορεί σήμερα η πρόσβαση αυτή είναι τόσο εύκολη όσο το άνοιγμα μιας βρύσης, τα πράγματα όμως δεν ήταν πάντοτε τόσο απλά.

Την εποχή που οι αρχαίοι οικισμοί άρχισαν να οργανώνονται σε επίπεδο πόλης, η απλή γεινίαση με ποταμούς, λίμνες ή πηγές έπαψε να επαρκεί, και η ανάγκη για δημιουργία δικτύων μεταφοράς και διανομής νερού άρχισε να γίνεται επιτακτική προκειμένου να εξασφαλιστεί η περαιτέρω ανάπτυξη τους. Η ανάγκη αυτή οδήγησε στην κατασκευή των πρώτων υδραγωγείων - υπόγειων ή υπέργειων αγωγών, δηλαδή, μεταφοράς νερού. Ίχνη προϊστορικών υδραγωγείων έχουν βρεθεί στην κοιλάδα του Νείλου της Αιγύπτου, στην αρχαία πόλη Τύρο της Συρίας, στην Κίνα, στην Κεντρική Αμερική και σε πολλά άλλα ακόμη σημεία του κόσμου.

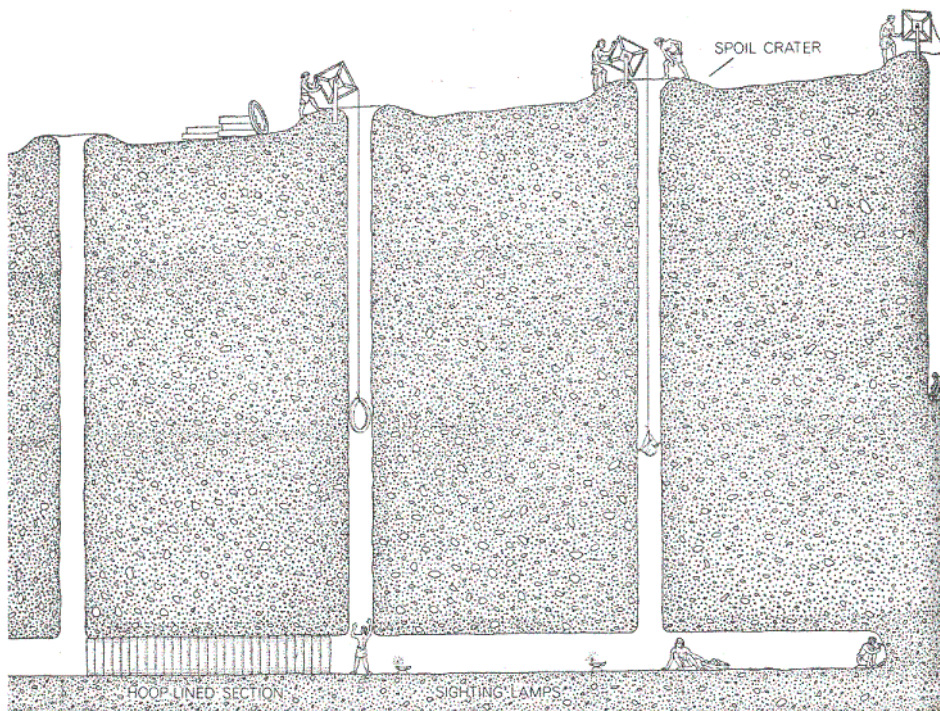


Εικόνα 1. 1 Υδραγωγείο

Μολονότι οι Ρωμαίοι θεωρούνται οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές υδραγωγείων της Αρχαιότητας, τα αρδευτικά συστήματα *qanats* εξυπηρετούσαν την Περσία, την Ινδία, την Αίγυπτο και άλλες χώρες της Μέσης Ανατολής εκατοντάδες χρόνια νωρίτερα. Τα συστήματα αυτά περιλάμβαναν σήραγγες διανοιγμένες σε κλιτύς λόφων, μέσω των οποίων διοχετευόταν νερό για την άρδευση του υποκείμενων πεδιάδων. Κάπως συγγενέστερο προς τα κλασικά ρωμαϊκά έργα ήταν ένα υδραγωγείο κτισμένο με ασβεστόλιθο από τους Ασσυρίους περί το 691 π. Χ. για την ύδρευση της όλης Νινευί.

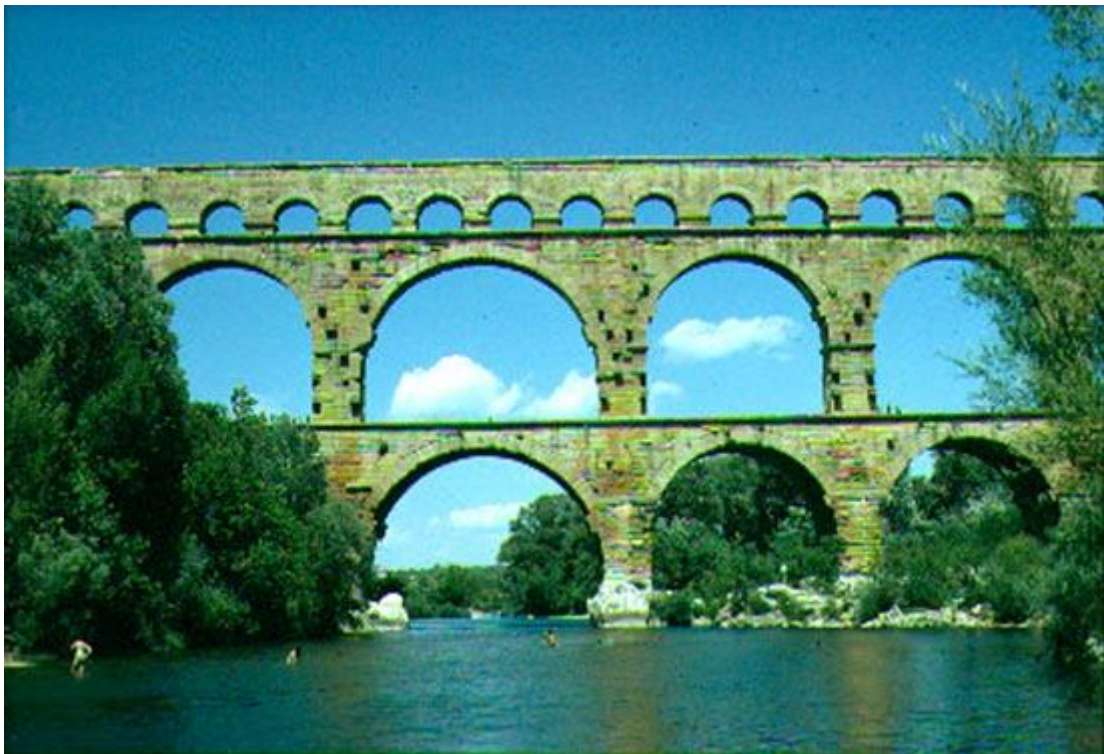
Οι *qanats*, αποτελούνταν από σήραγγες που άρχιζαν στους πρόποδες των βουνών και σταδιακά προς τα κάτω για να φέρει νερό στα κέντρα του πληθυσμού. Οι *qanats* ήταν με το χέρι σκαμμένοι, έτσι κατακόρυφοι άξονες έπρεπε να τοποθετηθούν κάθε 20 έως 30 μέτρα σε όλο το μήκος της *qanat*, προκειμένου να αρθούν υλικών εκσκαφής, καθώς και να παρέχει αερισμό και την πρόσβαση για τις επισκευές. Το ανασκαμμένο χώμα είχε χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αναχωμάτων γύρω από τα αξονικά ανοίγματα, τα οποία εμπόδιζαν την επιφανειακή απορροή από την είσοδο του *qanat* για να μην μολύνουν το νερό.

Όταν το έδαφος ήταν χαλαρό ενισχυόταν με δακτυλίους οι οποίοι αποτελούνται από ψημένο πηλό, είχαν εγκατασταθεί για την πρόληψη κατολίσθησης. Σήμερα, *qanats* χρησιμοποιούνται ακόμη στο Ιράν και εξακολουθούν να κατασκευάζονται με τον ίδιο σχεδόν τρόπο.



Εικόνα 1.2 Αναπαράσταση κατασκευής υδραγωγείου

Οι Ρωμαίοι είναι ίσως οι πιο διάσημοι οικοδόμοι υδραγωγείου της αρχαίας εποχής. Στην πραγματικότητα, η λέξη "υδραγωγείο" προέρχεται από το λατινικό *aqua* λέξεις («νερό») και *ducere* ("να οδηγήσει"). Μέσα σε μια περίοδο περίπου 500 ετών, οι Ρωμαίοι κατασκεύασαν 11 μεγάλα υδραγωγεία για την παροχή νερού στην πόλη της Ρώμης. Το πρώτο ρωμαϊκό υδραγωγείο, το *Aqua Appia*, χτίστηκε γύρω στο 312 π.Χ.. Μέχρι τη στιγμή που το 11ο υδραγωγείο, το *Aqua Αλεξάνδρειας*, ολοκληρώθηκε το 226 μ.Χ., η Ρώμη από υδραγωγεία λάμβανε περίπου 50 εκατομμύρια γαλόνια νερού κάθε μέρα. Εκτός από την κατασκευή υδραγωγείων για τη Ρώμη, οι Ρωμαίοι έχτισαν επίσης υδραγωγεία για τις περιφέρειες σε όλη την αυτοκρατορία τους, συμπεριλαμβανομένης της Γαλλίας, της Ισπανίας της Ελλάδας, και τη Βόρεια Αφρική. Ερείπια των περισσότερων ρωμαϊκών υδραγωγείων εξακολουθούν να υπάρχουν και μερικά, όπως εκείνο της Σεγκόβια, στην Ισπανία, είναι ακόμα σε χρήση.



Εικόνα 1.3 Το ρωμαϊκό υδραγωγείο Pont du Gard, στη Γαλλία

Όπως τα qanats, το Ρωμαϊκό υδραγωγείο στηρίχθηκε κυρίως από τη βαρύτητα για τη λειτουργία του. Ήταν χτισμένο σε επίπεδο έδαφος και σε υπέδαφος, όπου είναι δυνατόν, με μια πολύ προοδευτική κλίση 1 / 200 ή λιγότερο. Όταν έπρεπε να περάσουν μεγάλες κοιλάδες, έκτιζαν στοές, ή τοξωτές γέφυρες, ώστε να διατηρηθεί το επιθυμητό ύψος για το νερό.

Μετά την πτώση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας και την είσοδο της ανθρωπότητας στον μεσαίωνα πολλά από τα ρωμαϊκά υδραγωγεία συνέχιζαν

να χρησιμοποιούνται. Δεδομένου ότι οι επαρκείς επισκευές τυπικά δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθούν, τα περισσότερα από τα υδραγωγεία τελικά έπεσαν σε αχρηστία. Κατά τη διάρκεια αυτής της εποχής, τα υδραγωγεία κατασκευάζονταν κυρίως από κληρικούς. Για αυτό το λόγο οι κληρικοί αυτοί είχαν το βαθμό του ποντίφικα (pontifex) που σημαίνει αυτό που κτίζει γέφυρες. Έτσι προέρχεται η ονομασία του Πάπα - ποντίφικας γιατί είναι ο γεφυροποιητής μεταξύ του ανθρώπου και του θεού. Ωστόσο, τα υδραγωγεία που κατασκευάζονταν ήταν συχνά για τη χρήση των Μοναστηριών μόνο και ήταν σχετικά ασήμαντα σε σύγκριση με τα υπέροχα υδραγωγεία των Ρωμαίων. Επειδή πολλά αποθέματα νερού των πόλεων ήταν ανεπαρκείς και μολυσμένα, ασθένειες όπως ο τύφος, η δυσεντερία, η χολέρα ήταν κοινές κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.

1.4 Ρωμαϊκά Υδραγωγεία στην Ελλάδα Υδραγωγείο Καβάλας



Εικόνα 1.4 Το ρωμαϊκό υδραγωγείο Καβάλας

Στη μορφή που είναι σήμερα το υδραγωγείο είναι σχεδόν βέβαιο ότι πρόκειται για ένα έργο του Ιμπραήμ Πασά την περίοδο της Οθωμανοκρατίας ανάμεσα στο 1530 και 1540. Από τις τελευταίες μελέτες όμως που έχουν γίνει οι αρχαιολόγοι οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα πως ίσως πρόκειται και για ρωμαϊκό κτίσμα. Οδηγήθηκαν προς αυτήν την κατεύθυνση καθώς διαπίστωσαν πως τα τούβλα που χρησιμοποιήθηκαν για το κτίσμα είναι ρωμαϊκής προέλευσης. Το κτίσμα ωστόσο ανακατασκευάστηκε αρκετές φορές και βρίσκεται στη μορφή που σώζεται μέχρι σήμερα. Παράλληλα έντονο είναι

και το αραβικό στοιχείο, σύμφωνα με τις επιγραφές που υπάρχουν επάνω στο κτίσμα. Γεγονός που μας οδηγεί στο ότι τα χρήματα για την ανακατασκευή του, στην περίοδο της Οθωμανοκρατίας ήρθαν από την Αίγυπτο.

Το έργο αυτό μεγάλης σπουδαιότητας και ανακούφισης για τους κατοίκους υπήρξε μεγαλοπρεπές, ξεχώριζε από τα άλλα έργα και έγινε σύμβολο της πόλης. Έφερε το πολύτιμο αγαθό, το νερό, όχι μόνο στα πιο ψηλά μέρη του κάστρου, αλλά κόσμησε τις πλατείες με βρύσες και το έφερε ως εκεί που χρειαζόταν-λουτρά, κοινωφελή ιδρύματα, σπίτια και στο χώρο του παζαριού για να πίνουν και τα ζώα. Η κατασκευή του υδραγωγείου περιλαμβάνει 60 ασπίδες τεσσάρων διαφορετικών μεγεθών με μέγιστο ύψος 52 μέτρα, σε δυο επίπεδα το ένα πάνω στο άλλο. Στην κορυφή του τεράστιου κτίσματος υπάρχει διπλό τείχος για προστασία και μέσα απ' αυτό το νερό κυλάει προς την πόλη με φυσική ροή. Με τον τρόπο αυτό υδροδοτήθηκε όλη η πόλη με πέντε κοινόχρηστες πετρόχτιστες βρύσες δίπλα στις εισόδους της πόλης, με την τεχνική της εποχής εκείνης. Υπήρχαν όμως και πολλά τοπικά και ιδιωτικά πηγάδια μέσα στην πόλη για την άνετη και ασφαλή προμήθεια του νερού από τους πολίτες σε περίπτωση ανάγκης.

Υδραγωγείο Νικόπολης.

Η κατασκευή υδραγωγείου, προκειμένου να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα ύδρευσης της Νικόπολης, κρίθηκε απαραίτητη ήδη από την αρχή της ίδρυσής της. Η λύση δόθηκε με την κατασκευή ενός από τα πλέον αξιόλογα έργα από άποψη τεχνικής της περιόδου της ρωμαιοκρατίας στον ελλαδικό χώρο, το Υδραγωγείο, που μετέφερε άφθονο πόσιμο νερό, καλής ποιότητας, από τις πηγές του Λούρου στη θέση Άγιος Γεώργιος, βορειοανατολικά της Νικόπολης. Λείψανα του υδραγωγείου σώζονται σε όλη τη διαδρομή του.

Το σημαντικό έργο της κατασκευής ενός αγωγού μεγάλου μήκους, με κλίση που απαιτούσε η υψομετρική διαφορά των 80 μ. που χωρίζει την αφετηρία του αγωγού στις πηγές του Αγ. Γεωργίου από 120 μ. σε 32 μ. απόλυτο υψόμετρο στην περιοχή του Νυμφαίου της Νικόπολης, σε μία διαδρομή με ποικίλο γεωμορφολογικό ανάγλυφο, που έπρεπε να παρακάμψει πολλούς λόφους, απαιτούσε τεχνικές γνώσεις και τολμηρές λύσεις. Για την κατασκευή του αγωγού χρησιμοποιήθηκαν τρεις τρόποι:

- Λάξευση αύλακας ορθογώνιας διατομής κατά μήκος της πλαγιάς λόφων, με χτιστή τοξωτή κάλυψη, επένδυση με υδραυλικό κονίαμα και τετράγωνα ανοίγματα εξαερισμού. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η εξωτερική παρεία του αγωγού είναι κτιστή με πλινθοδομή ή μικρού μεγέθους πέτρες διαγώνια τοποθετημένες μέσα σε κονίαμα.

- Διάνοιξη σήραγγας, λαξευμένης στον ασβεστολιθικό βράχο, με σχεδόν κάθετες παρειές και οξύληκτη οροφή και πορεία που καθορίζεται από τη δυσκολία λάξευσης του βράχου. Ανά 40 μ. ανοίγονται τετράγωνα πυργοειδή ανοίγματα εξαερισμού - φρεάτια ελέγχου, με εσωτερικό αγωγό και ισχυρούς τοίχους.
- Κατασκευή πεσσοστοιχιών, οι οποίες γεφύρωναν τμήματα μεταξύ λόφων ή καθόριζαν την κλίση του αγωγού στις πεδινές εκτάσεις. Οι πεσσοί έχουν πυρήνα με χυτή τοιχοποιία, η οποία εξωτερικά επενδύεται με αμιγή πλινθοδομή ή με εναλλασσόμενες ζώνες αργολιθοδομής και πλίνθων. Το μέγεθος των πεσσών ποικίλει, ανάλογα με το σημείο που καλούνται να γεφυρώσουν και την υψομετρική που ακολουθούν, ενώ συχνά ενισχύονται με αντηρίδες. Συνδέονται με τόξα, σε μονή ή διπλή σειρά, στο ύψος της γένεσης των οποίων σχηματίζονται γείσα – κορνίζες που περιτρέχουν τον πεσσό και τις αντηρίδες, όπου αυτές υπάρχουν.

Το υδραγωγείο, με κατεύθυνση βορειοανατολική – νοτιοδυτική, διέσχιζε σχεδόν όλο το ανατολικό, κεντρικό και νότιο τμήμα του σημερινού Νομού Πρέβεζας, διανύοντας μία απόσταση μεγαλύτερη των 50 χλμ., εωσότου τροφοδοτήσει τις δύο μεγάλες δεξαμενές στο Νυμφαίο της Νικόπολης, στο ύψος της κεντρικής δυτικής πύλης του ρωμαϊκού τείχους. Από εκεί συνεχίζει την πορεία του προς νότο και ανατολικά, ακολουθώντας την πορεία του ρωμαϊκού τείχους, με το οποίο σε μεγάλο μήκος ταυτίζεται. Πιθανώς κατέληγε σε μία δεύτερη μεγάλη υδατοδεξαμενή, αντίστοιχη του Νυμφαίου.

Η κατασκευή του υδραγωγείου χρονολογείται πιθανώς στους πρώτους χρόνους ίδρυσης της πόλης (τέλη 1ου αι. π.Χ – αρχές 1ου αι. μ.Χ) , ενώ σημαντικές επεμβάσεις έγιναν, σύμφωνα με τις γραπτές πηγές, επί αυτοκράτορα Ιουλιανού, (341 – 343 μ.Χ).

Το υδραγωγείο της Νικοπόλεως



Εικόνα 1.5 Το ρωμαϊκό υδραγωγείο Νικοπόλεως

Το υδραγωγείο της Νικοπόλεως ήταν αρκετά μεγάλο για να καλύπτει επί μήνες τις ανάγκες της πόλης. Από τον ίδιο αγωγό τροφοδοτούταν και το υδραγωγείο του Νυμφαίου. Δυστυχώς η οχύρωση και η άμυνα της Νικόπολης δεν ήταν σε αντίστοιχα ψηλό επίπεδο και έγινε εύκολος στόχος λεηλασιών από Γόθους, Σαρακηνούς και Βουλγάρους μέχρι που καταστράφηκε ολοσχερώς και εγκαταλείφθηκε.

Υδραγωγείο Πατρών



Εικόνα 1.6 Υδραγωγείο Πατρών

Στην περιοχή Ασυρμάτου Αρόης, στην παλιά Σαμακιά, μια συνοικία λίγο έξω από την Πάτρα, κοντά στο Δασύλλιο, έχουν απομείνει τα ερείπια ενός από τα αρχαιότερα κτίσματα της περιοχής, κατασκευαστικό δείγμα της ρωμαϊκής εποχής. Οι σωστικές ανασκαφές στη ρωμαϊκή πόλη της Πάτρας έφεραν στο φως αρκετά πηγάδια που εξυπηρετούσαν οικιακές ανάγκες, αλλά και ένα άρτια οργανωμένο σύστημα ύδρευσης με υπόγειους αγωγούς και τρεχούμενο νερό, που τροφοδοτούσε ακόμη και σιντριβάνια σε ιδιωτικές κατοικίες. Το νερό έφτανε στην πόλη μέσω του ρωμαϊκού υδραγωγείου, διανύοντας πορεία 7,5 περίπου χιλιομέτρων. Από τις νοτιοανατολικές παρυφές της αρχαίας ακρόπολης, όπου κατέληγε το υδραγωγείο, το νερό διαμοιραζόταν σε υπόγειους αγωγούς και διακλαδιζόταν μέσα στην πόλη. Το μεγαλόπνοο και ζωτικής σημασίας αυτό έργο, το οποίο βέβαια θα ήταν και δαπανηρό, κατασκευάστηκε πιθανώς από τον αυτοκράτορα Αδριανό, στις αρχές του 2ου αι. μ.Χ.. Το νερό ξεκινούσε από τις πηγές του χειμαρροπόταμου Διακονιάρη, στη σημερινή τοποθεσία Νερομάννα του Ρωμανού, όπου συναντάμε τα πρώτα ερείπια του κτίσματος. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι και η

σημερινή πόλη της Πάτρας μεταφέρει το νερό από τις ίδιες πηγές. Από εκεί ακολουθεί μια δύσκολη καθοδική διαδρομή, μέσα από χαμηλούς λόφους και χαράδρες, για να καταλήξει μετά από μακρά πορεία στην περιοχή της σημερινής Αρόης, πίσω ακριβώς από την αρχαία ακρόπολη. Στο μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής του ο αγωγός ήταν υπόγειος, κυρίως κατά τις ομαλές και κατηφορικές πλαγιές των λόφων, είχε δε μεγάλη διάμετρο και ήταν καμαροσκεπής. Στα υπόλοιπα τμήματα, κυρίως στις χαράδρες και όπου η υψομετρικές διαφορές έπρεπε να γεφυρωθούν για την απρόσκοπτη κατηφορική πορεία του νερού, υπήρχαν ψηλές κτιστές καμάρες, πάνω από τις οποίες περνούσε ο αγωγός. Τα υπέργεια αυτά κτιστά τμήματα διασώζονται σε μερικά σημεία στο αρχικό τους ύψος αλλά και σε ικανοποιητικό μήκος και μας επιτρέπουν να σχηματίσουμε την εικόνα του εντυπωσιακού έργου.

Υδραγωγείο Μόριας



Εικόνα 1.7 Υδραγωγείο Μόριας

Στη Μόρια, λίγο έξω από τη Μυτιλήνη, μπορείτε να θαυμάσετε ένα τμήμα τοξοστοιχίας, του ρωμαϊκού υδραγωγείου μήκους 170 μ., με 17 τόξα. Πρόκειται για ένα από τα πιο σημαντικά τεχνικά έργα της Μεσογείου. Κατασκευάστηκε για τη μεταφορά νερού, από τις πηγές του όρους Όλυμπος μέχρι την πόλη της Μυτιλήνης. Ξεκινούσε από την περιοχή της Αγιάσου, τροφοδοτούνταν και από άλλες πηγές που συναντούσε. Το μήκος του ξεπερνούσε τα 26 χιλιόμετρα 1 και το νερό που τροφοδοτούσε την πόλη της Μυτιλήνης υπολογίζεται ότι ήταν 127.000 κυβικά μέτρα 1 την ημέρα. Δεν αποτελεί το μεγαλύτερο υδραγωγείο που κατασκευάστηκε την Ρωμαϊκή

εποχή, αλλά για τα δεδομένα της Λέσβου ένα από τα εντυπωσιακότερα έργα. Το υδραγωγείο της Μόριας αποτελείται από τρεις τοξοστοιχίες. Η άνω τοξοστοιχία η οποία περιλάμβανε τον αγωγό έχει δεκαεπτά τόξα. Με την καταστροφή του αγωγού κατέπεσαν τα περισσότερα τούβλινα τόξα της, στα δε εναπομείναντα μετά από διάβρωση και αποσάθρωση κονιαμάτων και δόμων επήλθε χαλάρωση της δομής τους. Ορισμένα λίθινα τόξα της μεσαίας τοξοστοιχίας κατέπεσαν ενώ τα εναπομείναντα παρουσιάζουν χαλάρωση της δομής τους. Οι εργασίες στερέωσης- αποκατάστασης - αναστήλωσης του ρωμαϊκού υδραγωγείου Μόριας Λέσβου άρχισαν το 1999 και συνεχίζονται έως σήμερα.

Υδραγωγείο του Χορτιάτη



Εικόνα 1.8 Υδραγωγείο του Χορτιάτη

Οι καιρικές συνθήκες αλλά και οι άστοχες ανθρώπινες παρεμβάσεις έχουν προκαλέσει σημαντικές φθορές σε ένα μοναδικό στο είδος του σωζόμενο μνημείο στην Κεντρική Μακεδονία, το υδραγωγείο του Χορτιάτη, μια ρωμαϊκή κατασκευή του 1ου αιώνα μ.Χ., που τροφοδοτούσε με νερό τη Θεσσαλονίκη για 19 ολόκληρους αιώνες. Ελπίδες για τη σωτηρία του δίνει, ωστόσο, ένα φιλόδοξο σχέδιο που στοχεύει στη στερέωση και την ανάδειξη της λειτουργίας του, καθώς και στην ανάδειξη του περιβάλλοντα χώρου, ώστε να γίνει επισκέψιμος.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η υδατογέφυρα σώζεται σε συνολικό μήκος περίπου 223 μ. και τμήμα της χάνεται κάτω από σύγχρονο στρατόπεδο, ενώ από τους πήλινους σωλήνες μεταφοράς του νερού σώζονται ελάχιστα λείψανα. Ενδιαφέρον είναι επίσης ότι, παρόλο που ιστορικές πηγές ήθελαν το υδραγωγείο να χτίστηκε στην αρχή του 4ου αιώνα, στο πλαίσιο της προμελέτης στάλθηκαν τμήματα πλίνθων στο Ινστιτούτο Πολιτιστικής και Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας του Ερευνητικού Κέντρου «Αθηνά» στην Ξάνθη, όπου χρονολογήθηκαν, με τη μέθοδο της θερμοφωταύγειας, στο 46 μ.Χ..

Ρωμαϊκό Υδραγωγείο Χαλκίδας



Εικόνα 1.9 Υδραγωγείο Χαλκίδας

Είναι στην περιοχή Καμάρες Β.Α. της πόλης. Διατηρείται τμήμα του κτιστού υδραγωγείου το οποίο τροφοδοτούσε την πόλη με νερό που ερχόταν από τα Καμπιά. Το ρωμαϊκό υδραγωγείο, γνωστό ως Καμάρες, θα το συναντήσετε στη βόρεια έξοδο της Χαλκίδας στην περιφερειακή οδό. Αποτελούσε έργο μεταφοράς νερού για την ύδρευση της πόλης, που κατασκεύασαν οι Ρωμαίοι.

Διατηρείται σε άριστη κατάσταση. Σώζονται δώδεκα ακέραιες καμάρες με αψίδες και τρεις κολώνες χωρίς αψίδες. Φαίνεται πως το έργο έχει γίνει σε δυο περιόδους, πρώτα από τους Ρωμαίους και κατόπιν από τους Ενετούς, ενώ έχει επιδιορθωθεί από τους Τούρκους.

Στο Δοκό σώζονται άλλες οκτώ ερειπωμένες καμάρες κατά μήκος του δρόμου Χαλκίδας Δοκού, που είναι μέρος του ίδιου υδραγωγείου.

Υδραγωγείο Μεταξοχωρίου Αγιάς



Εικόνα 1.10 Υδραγωγείο Μεταξοχωρίου Αγιάς

Στο νομό Λάρισας το μόνο υδραγωγείο που διασώζεται είναι το υδραγωγείο Μεταξοχωρίου. Ενάμιση χιλιόμετρο έξω από το χωριό Μεταξοχώρι Αγιάς συναντάμε τις οχτώ πετρόκτιστες καμάρες του παλιού υδραγωγείου του 18ου αιώνα που έχτισαν οι μοναχοί του Αγίου Ευσταθίου για να έρχεται νερό στη μονή. Οι καμάρες βρίσκονται σήμερα σε αρκετά καλή κατάσταση. Το νερό από τον ποταμό εισρεύσει στην πόλη από τη δύναμη της βαρύτητας.

ΠΗΓΕΣ ΔΙΑΔΥΚΤΙΟΥ

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%B5%CE%AF%CE%BF>

<http://7gym-laris.lar.sch.gr/ergasies/KATASKEVES/files/ydragogeia.htm>

http://www.facstaff.bucknell.edu/mvigeant/univ270_05/jake_aq/aqueducts.htm

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με την γραπτή παράδοση η Πάτρα ιδρύθηκε από τους Αχαιούς της Σπάρτης, οι οποίοι με επικεφαλής του Πρευγένη και τον υιό του Πατρέα ήλθαν στον χώρο αυτό, όταν εκδιώχθηκαν από τους Δωριείς κατά την κάθοδο των τελευταίων στην Πελοπόννησο τον 11ο αι. π.Χ., δηλαδή στο τέλος της μυκηναϊκής εποχής. Ο Πρευγένης με τον Πατρέα συνένωσαν τρεις ιωνικές πολίχνες, την Αρόη, τη Μεσάτιδα και την Άνθεια, και ίδρυσαν νέα πόλη, τις Πάτρες, που έλαβε το όνομά της από τον Πατρέα.

Με τη βοήθεια των ανασκαφών γίνεται φανερό ότι η Πάτρα πρωτοκατοικείται την Πρωτοελλαδική Περίοδο, δηλαδή την 3η χιλιετία π.Χ. Κατά την επόμενη Μεσοελλαδική Περίοδο, πρώτο μισό της 2ης χιλιετίας π.Χ., ιδρύεται ένας ακόμα οικισμός στην περιοχή της. Όμως την πρώτη μεγάλη ακμή της η Πάτρα διέρχεται κατά την επόμενη Υστεροελλαδική ή Μυκηναϊκή Περίοδο (1580 – 1100 π.Χ.). Η πληθώρα των μυκηναϊκών νεκροταφείων και των οικισμών δείχνουν ότι ο πληθυσμός έχει αυξηθεί σημαντικά και έχουν αναπτυχθεί σχέσεις και με άλλες περιοχές. Ο συνοικισμός της Πάτρας στο τέλος της μυκηναϊκής εποχής αποτελεί μια θρησκευτική ένωση και ίδρυση μιας κοινής λατρείας προς τιμήν της Αρτέμιδος. Ο ναός της Αρτέμιδος τοποθετείται με μεγάλη πιθανότητα στην περιοχή του Βελβιτσίου.

Από τις επόμενες γεωμετρική και αρχαϊκή εποχή λίγα στοιχεία έχουν εντοπιστεί. Αντιθέτως την κλασσική περίοδο (5ος και 4ος αι. π.Χ.) φαίνεται ότι γίνεται η οργάνωση της Πάτρας σε πόλη. Την ελληνιστική εποχή, από το 323 – 146 π.Χ., η πόλη απλώνεται προς τη θάλασσα και ο πληθυσμός της μεγαλώνει. Τη μεγαλύτερη, όμως, ακμή στην ιστορία της η Πάτρα διέρχεται κατά τη ρωμαϊκή περίοδο, όταν το λιμάνι της, εξαιτίας της καταστροφής της Κορίνθου, παίζει πλέον πρωτεύοντα ρόλο στην επικοινωνία Ελλάδας και Ιταλίας. Εξάλλου η ίδρυση της ρωμαϊκής αποικίας το 14 π.Χ. από τον Αύγουστο, δίνει ακόμη μεγαλύτερη ώθηση με την εγκατάσταση ρωμαίων βετεράνων, τη δημιουργία κτηματολογίου, την παροχή προνομίων, την ίδρυση βιοτεχνίας, με σημαντικότερη εκείνη των πήλινων λυχναριών που εξαγονται σχεδόν σε όλο τον τότε γνωστό κόσμο, και τη δημιουργία τουλάχιστον δύο βιοτεχνικών ζωνών, την κατασκευή επαρχιακών δρόμων, που την καθιστούν συγκοινωνιακό κέντρο, την επίστρωση των δρόμων της πόλης με λίθινες πλάκες, την ανέγερση ναών και δημοσίων κτιρίων κλπ. Στην Πάτρα

εκχωρείται από τους ρωμαίους αυτοκράτορες το δικαίωμα να κόβει και δικά της νομίσματα.

Μεγάλα δημόσια κτίρια και άλλες ευεργεσίες προς την πόλη προσέφεραν οι ρωμαίοι αυτοκράτορες, όπως το ρωμαϊκό αμφιθέατρο, το ρωμαϊκό υδραγωγείο, το ρωμαϊκό Ωδείο κλπ. Η Πάτρα είναι πλέον μία κοσμοπολίτικη πόλη. Από το τέλος, όμως, του 3ου αι. μ.Χ. αρχίζει να παρακμάζει, πιθανώς εξαιτίας ενός ισχυρότατου σεισμού που έπληξε ολόκληρη τη Β.Δ. Πελοπόννησο γύρω στα 300 μ.Χ. Μικρές αναλαμπές υπάρχουν την παλιοχριστιανική και πρωτοβυζαντινή περίοδο (4ος –6ος αι. μ.Χ.), όταν ιδρύονται πάλι νέες βιοτεχνίες. Τότε κατά πάσα πιθανότητα κατασκευάζεται και το βυζαντινό κάστρο στη θέση της αρχαίας ακρόπολης, από τον Ιουστινιανό, το οποίο υπάρχει ως σήμερα, και η πόλη έχει περιορισθεί κοντά στο κάστρο. Στα μέσα του 9ου αι. μ.Χ. η Πάτρα ακμάζει και έκτοτε ακολουθεί τις τύχες του βυζαντινού κράτους. Από το 1266 ως το 1430 ανήκει στους Φράγκους, ακολούθως στο Βυζάντιο και από το 1458 στους Τούρκους, από το 1687 έως το 1715 στους Ενετούς και πάλι στους Τούρκους μέχρι την Επανάσταση του 1821.

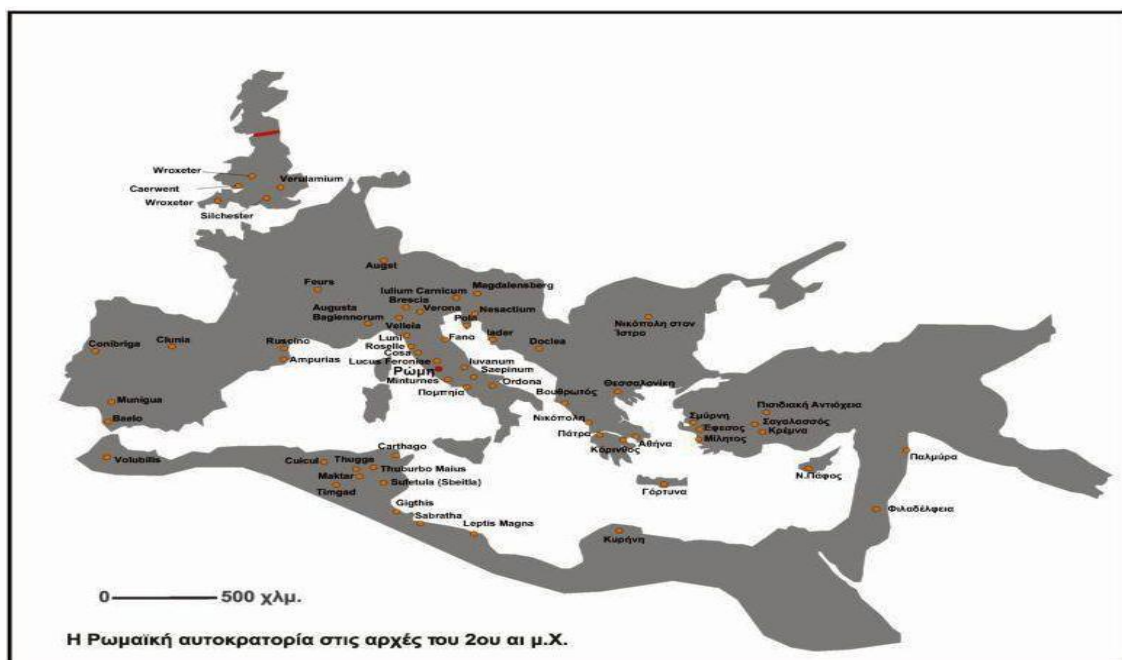
Μετά την απελευθέρωση η Πάτρα αναπτύσσεται ταχύτατα χάρις στο λιμάνι της και το εμπόριο που διεξάγεται μέσω αυτού. Ωραία νεοκλασικά κτίρια κοσμούν την πόλη, της οποίας οι δρόμοι καταλήγουν στη θάλασσα. Αναπτύσσεται και η μεγάλη βιομηχανία με αποτέλεσμα την αύξηση του πληθυσμού. Σήμερα η Πάτρα περιλαμβάνεται μέσα στις σπουδαιότερες ελληνικές πόλεις με την έντονη καλλιτεχνική και πνευματική ζωή¹.



Εικόνα 2. 2 Η Πάτρα

2.2 Ρωμαϊκή αυτοκρατορία

Η Ρώμη ξεκίνησε την ιστορία της ως βασιλείο και, μετά την εκδίωξη του βασιλιά, συνέχισε ως δημοκρατικό κράτος (πόλη). Στην πορεία των αιώνων εξελίχθηκε αυτή η δημοκρατία σε μια εκτεταμένη στρατιωτική δικτατορική αυτοκρατορία, της οποίας τα εδάφη έφταναν, από τα σύνορα της Περσίας μέχρι τη Βρετανία και από την κεντρική Γερμανία μέχρι τη βόρεια Αφρική. Αρχικά κατακτήθηκε, μεταξύ 380 και 200 π.Χ. η ιταλική χερσόνησος, μαζί της και οι πόλεις της «Μεγάλης Ελλάδας» στη νότια Ιταλία. Μεταξύ 200 και 44 π.Χ. ακολούθησαν η ίδια η Ελλάδα, οι ακτές της Αδριατικής (σημερινή Αλβανία μέχρι την Κροατία), η Μικρά Ασία, ένα μεγάλο μέρος της βορειοαφρικανικής ακτής, καθώς επίσης οι περιοχές που βρίσκονται σήμερα η Ισπανία, η Ολλανδία και η Γαλλία, μέχρι τον ποταμό Ρήνο. Αργότερα προστέθηκαν σ' αυτές τις κατακτήσεις ένα μέρος της κεντρικής Ευρώπης (σημερινή Γερμανία), η Βρετανία και η ανατολική ακτή της Ιρλανδίας (εικόνα 2.2). Οι Ρωμαίοι κατασκεύασαν επίσης πολλά υδραγωγεία σε όλη την αυτοκρατορία, μερικά από τα οποία υπάρχουν ακόμα και στην Ελλάδα (Αθήνα, Μυτιλήνη, Πάτρα κ.ά.) Το υδραγωγείο του Αδριανού ήταν στην Αθήνα σε χρήση μέχρι το 1930.



Εικόνα 2. 2 Η Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας στις αρχές του 2^{ου} αι. μ.Χ.

Είχε χτιστεί γύρω στο 150 μ.Χ., μάζευε νερά από την Πάρνηθα και την Πεντέλη στην περιοχή των Αχαρνών και από εκεί ένας κεντρικός αγωγός, ύψους 1,6 μ. και πλάτους 0,70 μ., τα έφερνε στη Δεξαμενή, στο σημερινό Κολωνάκι. Ο αγωγός ήταν αλλού πέτρινος, αλλού πλίνθινος και, ανάλογα με το έδαφος, αλλού υπέργειος με υδατογέφυρες και αλλού υπόγειος. Το μεγαλύτερο υδραγωγείο των Ρωμαίων σε όλη την αυτοκρατορία ήταν αυτό στη Γαλλία που περνάει ακόμα και σήμερα από τη γέφυρα Pont du Gard. Το συνολικό υδραγωγείο ήταν το μεγαλύτερο ρωμαϊκό κτίσμα εκτός Ιταλίας. Η

γέφυρα Pont du Gard, με ύψος 49 m και μήκος 275 m, είναι το σημαντικότερο μέρος ενός καναλιού με μήκος 50 km, το οποίο έχει συνολική μείωση ύψους 17 m και δείχνει την εντυπωσιακή ικανότητα εκείνης της εποχής για τοπογραφικές μετρήσεις².

2.3 Ρωμαϊκά υδραγωγεία στην Ευρώπη

Τα Ρωμαϊκά υδραγωγεία είναι από τα πιο εντυπωσιακά και ενδιαφέροντα αρχαιολογικά ευρήματα που έχουν διασωθεί από τον αρχαίο κόσμο. Αν και πιο γνωστά στο ευρύ κοινό είναι οι γέφυρες των υδραγωγείων, υπάρχει και η πλήρης δομή τους με λεκάνες, σιφώνια, φρεάτια πτώσης και σταθμούς διανομής που είναι εντυπωσιακά επιτεύγματα της μηχανικής, ακόμη και με τα σημερινά πρότυπα. Υπάρχουν πάνω από 800 ρωμαϊκά υδραγωγεία που έχουν τεκμηριωθεί στη λεκάνη της Μεσογείου, με συνολικό μήκος του καναλιού τουλάχιστον 5.000 χιλιομέτρων.

Τα αρχαία υδραγωγεία είναι ένα πολύτιμο στοιχείο της κοινής πολιτιστικής κληρονομιάς όλων των λαών στη λεκάνη της Μεσογείου είναι μια μοναδική πηγή επιστημονικών δεδομένων. Τα Υδραγωγεία μας δίνουν πληροφορίες σχετικά με τα επίπεδα γνώσης στην υδρολογία και την κατασκευή στον αρχαίο κόσμο, στην κοινωνική ζωή και στην ιστορία των πόλεων κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους.



Εικόνα 2. 3 Χάρτης ρωμαϊκών υδραγωγείων

Ένα υδραγωγείο είναι ευάλωτο (εκτός από τις γέφυρες) και πολύ πιο πιθανό να έχει υποστεί ζημιές και την καταστροφή επειδή είναι πιο δύσκολο για την προστασία του λόγω της στενής δομής του και συνήθως βρίσκετε μακριά από αστικά κέντρα και δυστυχώς δεν διατηρείτε ως ελκυστικό και φωτογενή έκθεμα.

Επίσης είναι δύσκολη η πρόσβαση στην βιβλιογραφία των ρωμαϊκών υδραγωγείων, γιατί είναι γραμμένα σε περισσότερες από 20 διαφορετικές γλώσσες και εκτείνονται σε βιβλιοθήκες σε όλη την Ευρώπη³.

2.4 Ρωμαϊκή Πάτρα

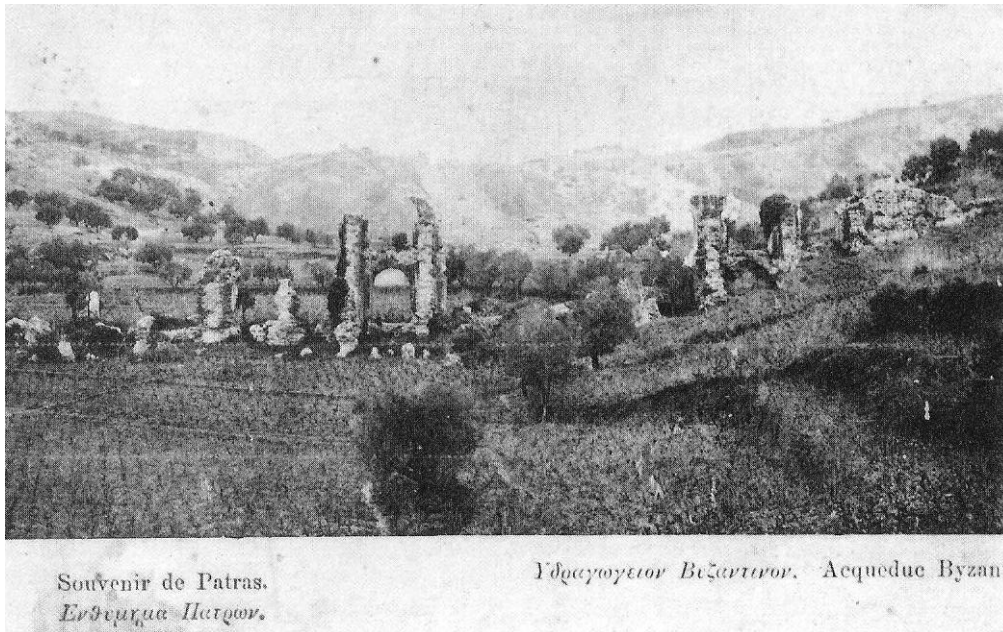
Όταν ο Πausanίας επισκέφτηκε την Πάτρα στο δεύτερο μισό του 2^{ου} αιώνα μ.Χ., η πόλη ήταν ένα από τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα της Πελοποννήσου αλλά και του ευρύτερου ελλαδικού χώρου, ενισχυμένη με σύγχρονες υποδομές (δρόμους, αποχετευτικό σύστημα, λουτρά) και διακοσμημένη με μνημειακά κτίρια και μνημεία. Η ευμάρεια της πόλης στηριζόταν σε μεγάλο βαθμό στην ισχυρή οικονομία που πρόσφερε το λιμάνι της και η άνθηση της τοπικής της βιοτεχνίας της κατεργασίας του μαλλιού.

Η προνομιακή θέση του λιμανιού στην είσοδο του κορινθιακού κόλπου ήταν προφανώς ένας από τους σημαντικότερους λόγους που ο Αύγουστος μετά την ναυμαχία του Ακτίου, επέλεξε να ιδρύσει στη θέση αυτή μια ρωμαϊκή αποικία με τον επίσημο τίτλο **Colonia Augusta Achaia Patrensis** (Στράβων 8.7.5). Η ρωμαϊκή αποικία ιδρύθηκε στη θέση της ομώνυμης αχαϊκής πόλης η οποία ήταν ένα από τα πολιτικά κέντρα της Ρώμης κατά τη διάρκεια του 2^{ου} αι. π.Χ.⁴. (εικόνα 2.4).



Εικόνα 2. 4 Χάρτη της Ρωμαϊκής Αχαΐας

Η ίδρυση της αποικίας συνοδεύτηκε πιθανότητα με οικιστική επέκταση της πόλης από τον αρχικό πυρήνα της περιοχής (περιοχές γύρω από την Ακρόπολη) προς τα ΝΔ, δηλαδή προς την πλευρά της θάλασσας και του λιμανιού. Η ελληνιστική πόλη αναπτυσσόταν κυρίως νότια του βραχώδους υψώματος της Ακρόπολης και τουλάχιστον σε μια φάση της ιστορίας της συνδεόταν με το λιμάνι μέσω μακρών τειχών (Θουκυδ.5.52). Ελάχιστα είναι γνωστά από την τοπογραφία και την αρχιτεκτονική της ελληνιστικής πόλης. Οι ανασκαφές έφεραν στο φως μια κατά βάση ρωμαϊκή πόλη που εκτείνεται προς την θάλασσα και διαθέτει μνημειακά πλινθόκτιστα κτίρια, μνημεία, υποδομές και μεγάλους δρόμους με στοές και καταστήματα στις πλευρές τους.



Εικόνα 2.5 Άποψη ρωμαϊκού υδραγωγείου. Από το βιβλίο του Αλέκου Μαρασλή «ΠΑΤΡΑ 1900»

2.5 Ρωμαϊκό υδραγωγείο Πατρών

Η Πάτρα έγινε ρωμαϊκή αποικία το 31 π.Χ⁵. και η επικράτηση της ρωμαϊκής αρχιτεκτονικής ήταν καθολική. Πολλά δημόσια κτίρια και έργα έγιναν με δαπάνες των ρωμαίων αυτοκρατόρων και ευεργετών της πόλης. Μεταξύ αυτών ήταν το ρωμαϊκό υδραγωγείο, έργο απαραίτητο σε μια πολυάνθρωπη πόλη όπως η Πάτρα. Ήταν η εποχή που η Πάτρα διερχόταν τη μεγαλύτερη ακμή της ιστορίας της καταλαμβάνοντας τη θέση της πύλης της Ελλάδας προς την Ιταλία.

Οι σωστικές ανασκαφές στη ρωμαϊκή πόλη της Πάτρας έφεραν στο φως αρκετά πηγάδια που εξυπηρετούσαν οικιακές ανάγκες, αλλά και ένα άρτια οργανωμένο σύστημα ύδρευσης με υπόγειους αγωγούς και τρεχούμενο νερό, που τροφοδοτούσε ακόμη τα σιντριβάνια, τις ιδιωτικές κατοικίες και τα λουτρά.

Το νερό έφτανε στην πόλη μέσω του ρωμαϊκού υδραγωγείου (εικόνα 2.5), διανύοντας πορεία 7,5 περίπου χιλιομέτρων. Από τις νοτιοανατολικές παρυφές της αρχαίας ακρόπολης, όπου κατέληγε το υδραγωγείο, το νερό διαμοιραζόταν σε υπόγειους αγωγούς και διακλαδιζόταν μέσα στην πόλη. Οι Ρωμαίοι κατασκεύασαν μια μεγάλη δεξαμενή νερού στις πηγές του Ρωμανού, από όπου ξεκινά ο χειμάρρος του Διακονιάρη. Η δεξαμενή έγινε με τη μορφή τεχνητού φράγματος στην αρχή του λαγκαδιού και σ' απόσταση δέκα μέτρων από τις πηγές. Τμήμα του αρχικού τοίχου του φράγματος βρίσκεται σήμερα ενσωματωμένο στη βάση της σύγχρονης δεξαμενής, ενώ σε απόσταση 20 μ., μέσα στην κοίτη του ποταμού βρίσκονται αρκετά μεγάλα κομμάτια ισχυρού τοίχου.



Εικόνα 2. 6 Σημερινή κατάσταση τμήματος του ρωμαϊκού υδραγωγείου

Στις πηγές του Ρωμανού όπως αποδεικνύεται από επιγραφή που βρέθηκε τον περασμένο αιώνα, λατρεύονταν οι Νύμφες, θεότητες των υδάτων. Το μεγαλόπνοο και ζωτικής σημασίας αυτό έργο, το οποίο βέβαια θα ήταν και δαπανηρό, κατασκευάστηκε πιθανώς από τον αυτοκράτορα Αδριανό, στις αρχές του 2ου αι. μ.Χ.

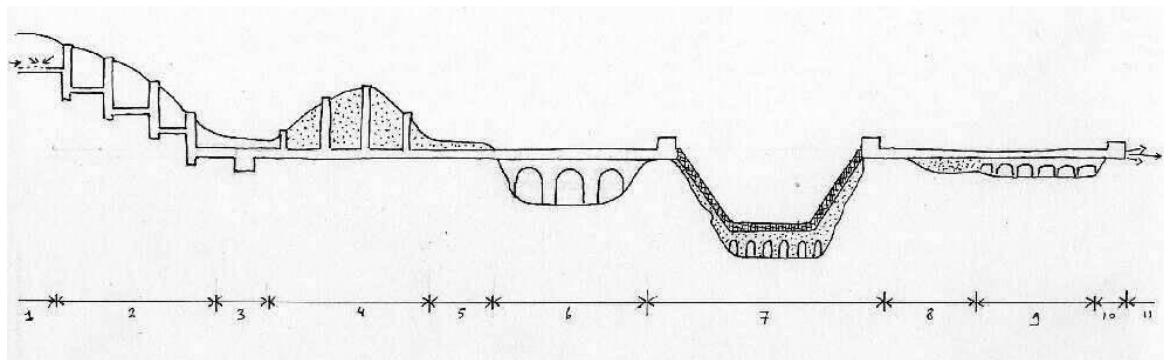
Το νερό ξεκινούσε από τις πηγές του χειμάρροπόταμου Διακονιάρη, στη σημερινή τοποθεσία Νερομάννα του Ρωμανού, όπου συναντάμε τα πρώτα ερείπια του κτίσματος. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι και η σημερινή

πόλη της Πάτρας μεταφέρει το νερό από τις ίδιες πηγές. Από εκεί ακολουθεί μια δύσκολη καθοδική διαδρομή, μέσα από χαμηλούς λόφους και χαράδρες, για να καταλήξει μετά από μακρά πορεία στην περιοχή της σημερινής Αρόης, πίσω ακριβώς από την αρχαία ακρόπολη.

Στο μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής του ο κτιστός αγωγός ήταν υπόγειος, κυρίως κατά τις ομαλές και κατηφορικές πλαγιές των λόφων, είχε δε μεγάλη διάμετρο και ήταν καμαροσκεπής. Στα υπόλοιπα τμήματα, κυρίως στις χαράδρες και όπου η υψομετρικές διαφορές έπρεπε να γεφυρωθούν για την απρόσκοπτη κατηφορική πορεία του νερού, υπήρχαν ψηλές κτιστές επιμελημένες τοξοστοιχίες, πάνω από τις οποίες περνούσε ο αγωγός. Υπήρχαν διακλαδώσεις προς διάφορες κατευθύνσεις με μικρότερης διατομής σκεπαστούς αγωγούς.

Τα υπέργεια αυτά κτιστά τμήματα διασώζονται σε μερικά σημεία στο αρχικό τους ύψος αλλά και σε ικανοποιητικό μήκος και μας επιτρέπουν να σχηματίσουμε την εικόνα του εντυπωσιακού έργου⁶ (εικόνα 2.6). Η συνεχής ροή του νερού επιτυγχανόταν χάρις στην αρχή των συγκοινωνούντων δοχείων που γνώριζαν οι Έλληνες.

2.6 Τμήματα ρωμαϊκού υδραγωγείου

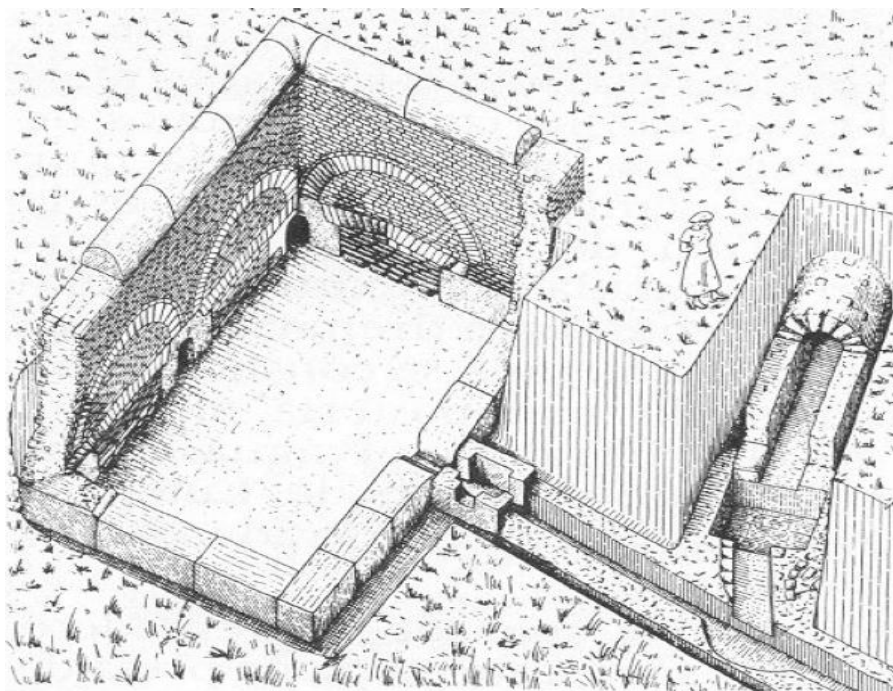


Εικόνα 2. 7 Σχεδιάγραμμα υδραγωγείου

1.Πηγή
2.Αγωγοί ρίψης
3.Δεξαμενή καθίζησης
4.Σήραγγα και φρεάτια
5.Κάλυψη από τάφρο
6.Υδραγωγείο-γέφυρα
7.Σιφόνι
8.Υποδομή
9.Στοά
10.Διανομή-λεκάνη
11. Διανομή

Υπήρχαν πολλοί τρόποι για να διέρχονται (υπόγεια) τα ύδατα σε ένα υδραγωγείο. Οι πιο γνωστοί είναι οι παρακάτω:

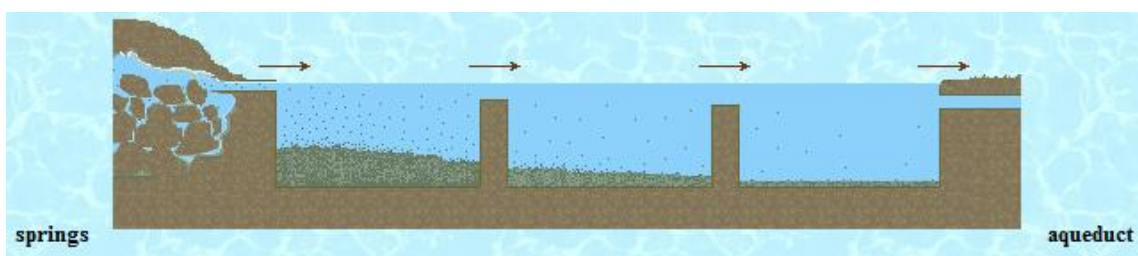
α) Η συλλογή του βρόχινου νερού πραγματοποιούνταν μέσα σε μια στρογγυλή ή ορθογώνια αίθουσα (εικόνα 2.8) το νερό που εισέρχονταν μέσω των πολυάριθμων χωρισμάτων ή μερικές φορές και τοξωτών ανοιγμάτων. Μια ενιαία έξοδος ελευθέρωνε το νερό από την περιοχή της λεκάνης στους αγωγούς του υδραγωγείου.



Εικόνα 2. 8 Λεκάνη συλλογής νερού

β) Στοές διείσδυσης

Οι στοές διείσδυσης ήταν τμήματα του υδραγωγείου, 20 με 100 μέτρα σε ύψος, οι οποίες τοποθετούνταν παράλληλα με την κλίση ενός λόφου, έτσι ώστε να κατευθύνουν την ροή του νερού που κυλούσε από τα ανοίγματα των τοίχων, μέσα στην στοά. Στην μια πλευρά, το νερό συλλέγονταν σε μια εγκατεστημένη λεκάνη, ώστε να απαλλαγεί από τα συντρίμια και τα ιζήματα, που μπορεί να είχαν μεταφερθεί με το νερό.(εικόνα 2.9)



Εικόνα 2. 9 Λεκάνες συλλογής νερού

γ) Ποταμός

Ένα ποτάμι ως πηγή για ένα υδραγωγείο δεν ήταν πολύ δημοφιλής κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους.

δ) Φράγματα

Τα φράγματα ήταν η συχνότερη πηγή νερού για τα ρωμαϊκά υδραγωγεία. Η εισαγωγή νερού μέσω σωλήνα από ποταμούς, χρησιμοποιούνταν περιστασιακά. Τεχνικές λίμνες σαν πηγή νερού ήταν σπάνιες, εάν και μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να εξισώνουν τις διακυμάνσεις των εποχιακών ρυθμών ροής των κύριων πηγών.

Η πηγή για καθαρό και άφθονο νερό δεν ήταν πάντα προφανής. Η δυσκολία στην αναζήτηση πόσιμων πηγών νερού μετατράπηκε σε «αυτοκρατορική» επιστήμη. Όταν οι πηγές ήταν προφανείς όπως για παράδειγμα, λίμνες, ρυάκια και μικρές πηγές, οι μηχανικοί το μόνο που έπρεπε να κάνουν ήταν να ελέγξουν και να αποφασίσουν για την ποιότητα του νερού. Ο Βιτρούβιος αναφέρει στο βιβλίο του, ότι έλεγε στους μηχανικούς να μην ελέγχουν μόνο την καθαρότητα, την γεύση και την ροή του νερού αλλά και την σωματική διάπλαση και υγεία των ανθρώπων που το πίνουν. Το έδαφος και διάφοροι τύποι πετρωμάτων ήταν αρκετά καλοί δείκτες για την ποιότητα του νερού. Για παράδειγμα ο πηλός στο έδαφος είναι ένδειξη για την κακή ποιότητα του νερού, αλλά νερό που βρισκόταν γύρω από κόκκινη tufa (είδος πορώδους ηφαιστειογενούς λίθου) ήταν αγνό και καθαρό. Πολλές πηγές ήταν υπόγειες και έπρεπε να βρεθούν. Αυτό μπορούσε να δημιουργήσει πρόβλημα στην ποιότητα του νερού.

Ο Βιτρούβιος αναφέρει στο βιβλίο του ότι στην αναζήτηση της ποιότητας του νερού των υπόγειων ρευμάτων έπρεπε να εξεταστούν τα φυτά, η μορφολογία του εδάφους, καθώς και το τύπος του. Η παρουσία φυτών, όπως οι ιτιές και τα βούρλα είναι ένδειξη πόσιμου νερού. Πρωινή ομίχλη, όπως και πράσινο γρασίδι σε μια περίοδο ανομβρίας, μπορούν να υποδείξουν την ύπαρξη πηγής.



Εικόνα 2. 10 Ρωμαϊκό φράγμα

ε) Λεκάνες

Στους ρωμαϊκούς χρόνους το νερό, στη διαδρομή μεταξύ της πηγής και της πόλης πέρανε από γέφυρες, στοές και σήραγγες, αλλά και από λεκάνες με συγκεκριμένες ιδιότητες (εικόνα 2.11). Εκτός από τις γνωστές λεκάνες διανομής, κάποιες λεκάνες έγιναν για τη συλλογή, (εικόνα 2.11) για τη διευθέτηση (καθαρισμός) ή την μείωση της ταχύτητας της ροής του νερού. Οι τοίχοι αυτών των λεκανών ήταν κατασκευασμένοι υδατοστεγές από ένα υλικό λεγόμενο ως *opus signinum*, το οποίο αποτελούταν από στρώσεις σπασμένων κεραμικών σε πολύ μικρά κομμάτια ανακατεμένο με κονίαμα.



Εικόνα 2. 11 Παράδειγμα αποθηκευτικής λεκάνης

ζ) Σήραγγες

Περίπου το 80% ενός ρωμαϊκού υδραγωγείου ήταν υπόγειο. Τα προτερήματα αυτής της ιδέας πλεονεκτούσαν σε αντίθεση με την ιδέα των επιφανειακών υδραγωγείων. Πρώτον, ήταν πιο οικονομικά, δεδομένου ότι απαιτούνταν λιγότερα υλικά για να κτιστούν. Δεύτερον, δεν υπόκεινται στην πίεση του αέρα ή τη διάβρωση που αποδυνάμωνε τις επιφάνειες και κατασκευές των επίγειων. Τρίτων, οι σεισμοί προκαλούσαν λιγότερες βλάβες στα υπόγεια υδραγωγεία, βλάβες οι οποίες κόστιζαν λιγότερο στην επισκευή τους. Τέλος, οι υπόγειες κατασκευές επηρεαζόντουσαν λιγότερο από οποιοσδήποτε δραστηριότητες της επιφάνειας.

Τα μεγέθη των σήραγγων διέφεραν από υδραγωγείο σε υδραγωγείο, μερικές φορές ακόμα και μέσα στο ίδιο υδραγωγείο. Οι συνήθεις διαστάσεις τους ήταν περίπου 1.00 μέτρο πλάτος και 2.00 μέτρα ύψος, αφήνοντας περιθώριο για τους εργάτες να πραγματοποιούν άνετα την συντήρησή τους. Σε τακτά διαστήματα οι σήραγγες είχαν συνδεθεί με την επιφάνεια με ένα κάθετο άξονα ο οποίος ονομάζεται *puteus* ή αυλό. Η απόσταση μεταξύ των αξόνων κυμαινόταν μεταξύ 30 και 60 μέτρων. Αυτά τα φρεάτια ήταν εξοπλισμένα με χειρολαβές και ερείσματα και εκτελούσαν διάφορες λειτουργίες. Κατά την κατασκευή της σήραγγας επέτρεπε το έργο να εξελίσσεται σε διάφορα σημεία και όχι μόνο στις δύο, αντίδιαμετρικά αντίθετες άκρες της σήραγγας. Ήταν επίσης χρήσιμο για τον προσδιορισμό του βάθους της σήραγγας κάτω από την επιφάνεια, με τη ρίψη ενός νήματος της στάθμης κάτω από τον άξονα. Αυτό χρησίμευε επίσης στο να καθοριστεί και να διαχειριστεί η κλίση της σήραγγας. Όταν το υδραγωγείο ήταν σε χρήση, οι άξονες προβλεπόντουσαν για την κυκλοφορία του αέρα και για την πρόσβαση των εργατών για τη συντήρηση.

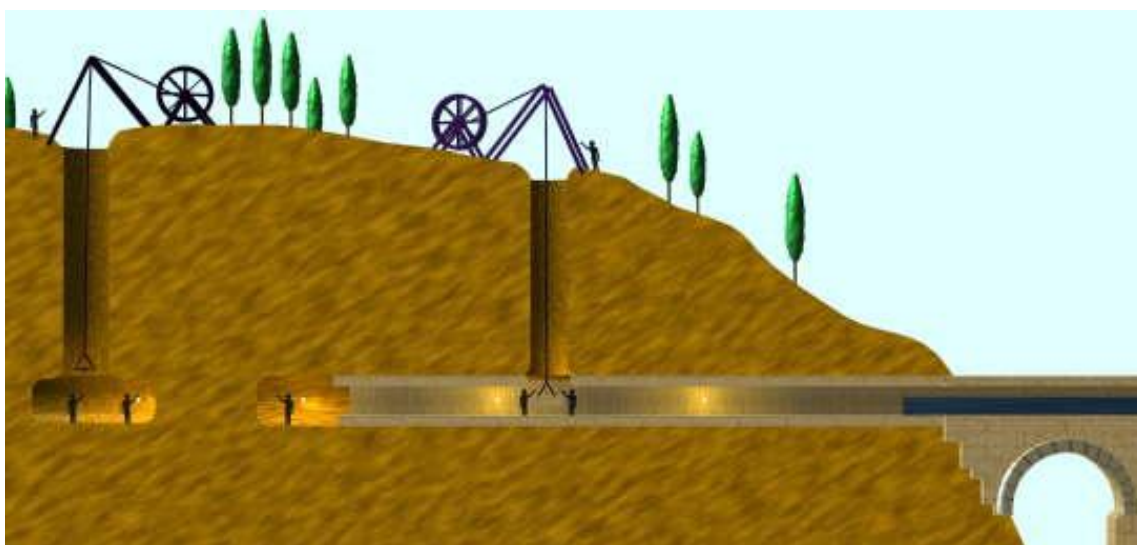


Εικόνα 2. 12 α) Σήραγγα υδραγωγείου στη Λυών β) Σήραγγα υδραγωγείου στη Σάμο

Αρχικά οι κορυφές των αξόνων καλύπτονταν με καπάκια από πέτρα ή ξύλο. Η συνήθης μέθοδος της κατασκευής σήραγγας, όπως συνιστάται από τον Βιτρούβιο, ήταν να γίνει η σήραγγα λιγότερο ή περισσότερο κατακόρυφη στους κάθετους άξονες σε διαστήματα περίπου 35,5 μέτρων. Ήταν εύκολο να εξασφαλιστεί εάν ένας αγωγός ήταν κάθετος, με το να κρεμάσουν ένα νήμα στάθμης από μία ράβδο από την κορυφή του φρεατίου (εικόνα 2.13). Όταν έσκαβαν έναν λόφο ή ένα βουνό και από τις δύο πλευρές, υπήρχε η περίπτωση αυτές οι σήραγγες να μην συναντηθούν. Λάθη σαν αυτά γινόντουσαν λόγω προβλημάτων υπολογισμού του εμβαδού ή του υψομέτρου. Ο λάθος υπολογισμός του υψομέτρου ήταν από τα πιο σοβαρά λάθη, διότι μπορούσε να καταστήσει την μισή σήραγγα ακατάλληλη για χρήση. Ο καλύτερος τρόπος για να αντιμετωπιστεί αυτό το λάθος ήταν η κατασκευή ενός μικρού καταράχτη ή ενός φράγματος, ανάλογα από ποια μεριά του βουνού ή του λόφου ήταν η πηγή του νερού. Το λάθος του υπολογισμού του εμβαδόν μπορούσε να αντιμετωπιστεί πολύ πιο εύκολα με το να ενωθούν τα

δύο μισά της σήραγγας από το να σκαφτεί μία γωνία από το τέλος του ενός άκρου στην αρχή του άλλου.

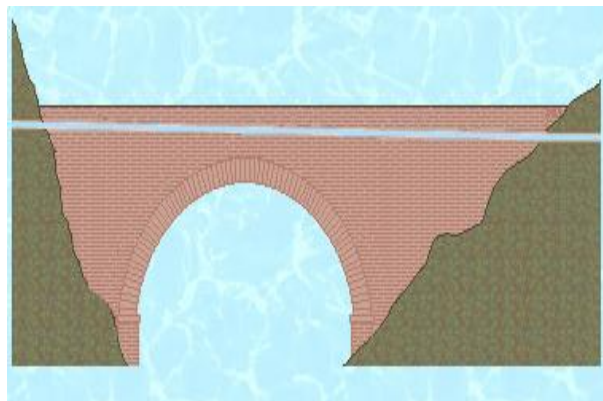
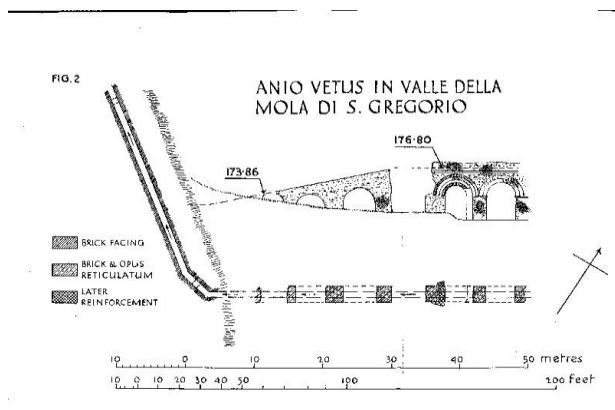
Όταν το κανάλι ή η σήραγγα ήταν έτοιμα, οι άξονες του εξαερισμού πρόσφεραν εύκολη πρόσβαση για την επιθεώρηση και την συντήρηση του. Ένας έμπειρος ανθρακωρύχος θα μπορούσε να εντοπίσει τα σημεία, στα οποία υπήρχε καθίζηση ή κατάρρευση και άμεσα να σταματούσε τη διαρροή. Οι άξονες μπορούσαν επίσης να χρησιμεύσουν για την απελευθέρωση πίεσης του αέρα, όταν η εισροή του νερού αυξανόταν απότομα. Τα ανοίγματα ήταν συνήθως στρογγυλά και μερικές φορές τετράγωνα. Περιστασιακά η κορυφογραμμή ή ο λόφος που πραγματοποιούνταν η διάνοιξη των σηράγγων ήταν πολύ υψηλά, με αποτέλεσμα οι κάθετοι άξονες να ήταν ανέφικτο να κατασκευαστούν. Η σήραγγα που υπήρχε οδηγούταν σε μια συνεχή οπή, είτε ξεκινώντας από τη μία πλευρά και συνεχίζοντας μέχρι η σήραγγα να ήταν πλήρης, ή την έναρξη και στα δύο άκρα και συνάντηση στη μέση. Η τελευταία ήταν μάλλον η πιο συνήθης μέθοδος, διότι επέτρεπε τη μείωση του χρόνου εργασίας έως και κατά το ήμισυ. Η μέθοδος αυτή αντιμετώπιζε το πρόβλημα του προσανατολισμού, και πράγματι υπάρχουν παραδείγματα αποπροσανατολισμού όπως στην Saldae στη Βόρεια Αφρική. Μια επιγραφή από τον Nonius Datus , έναν μηχανικό του στρατού, καταγγέλλει πως τα δύο μισά της σήραγγας είχαν χάσει το ένα το άλλο και οι εργάτες συνέχιζαν να σκάβουν για τόσο πολύ καιρό που κατέληξαν να έχουν σχεδόν δύο σήραγγες.



Εικόνα 2. 13 Υδραγωγείο, κατασκευή σήραγγα

η) Γέφυρες

Σύμφωνα με πηγές, το συνολικό μήκος των υδραγωγείων στη Ρώμη ήταν 507 χιλιόμετρα. Τα 434χλμ. ήταν υπόγεια, τα 15χλμ. στην επιφάνεια και 59 χλμ. σε γέφυρες. Αυτό αντιστοιχεί μόνο στο 11,6% σε γέφυρες (εικόνα 2.14), εκτός αν ληφθεί υπόψη ότι ορισμένες γέφυρες υπολογίζονταν για κανάλια, οπότε το συνολικό ποσοστό πέφτει στο 5%. Μόνο έξι από τα έντεκα ρωμαϊκά υδραγωγεία έχουν σημαντικά εναπολείμματα από γέφυρες. Αυτά είναι τα Marcia, Terula, Julia, Claudia, Anio Novus και από της Αλεξάνδρειας. Τα πιο εντυπωσιακά ερείπια των γεφυρών υδραγωγείων καλύπτουν τις κοιλάδες και ρεματιές ανάμεσα στο Tivoli και στο Alban Hills, στην περιοχή της σημερινής πόλης της Gallicano nel Lazio και το χωριό του S. Vittorio. Ένα από τα πιο σημαντικά, και εντυπωσιακά, εναπολείμματα γεφυρών στην περιοχή της Ρώμης είναι το Ponte Lupo, ακριβώς νότια του δρόμου προς την πόλη. Πρόκειται για μια τεράστια και ταραγμένη μάζα της αρχικής πέτρας και του κονιάματος επισκευής με 115 μέτρα μήκος και 30 μέτρα ύψος.



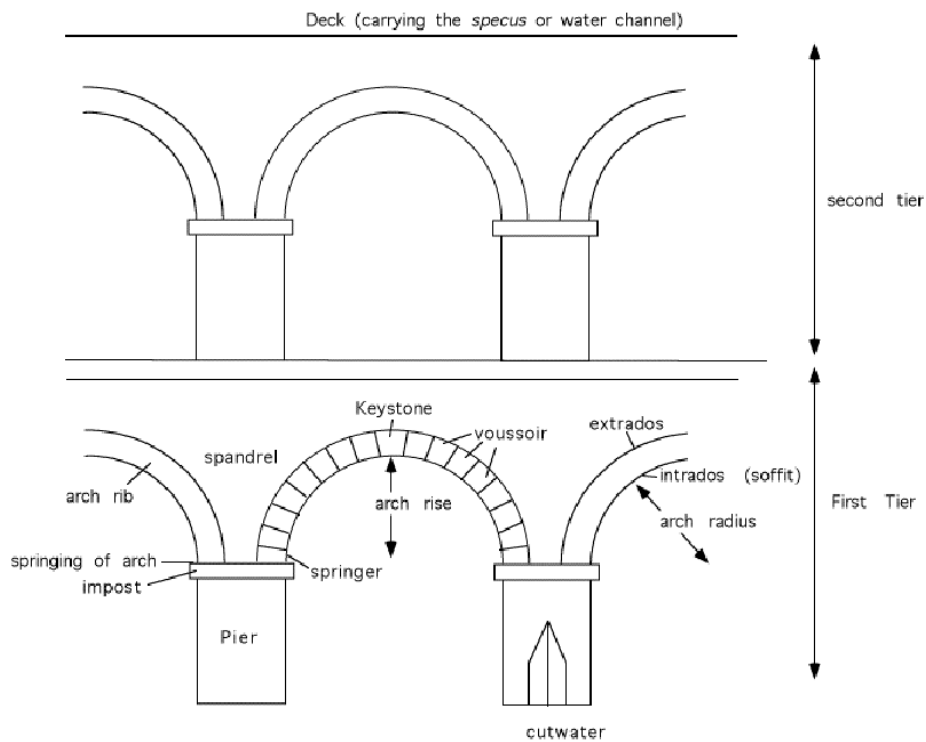
Εικόνα 2. 14 α) Σχέδιο των ερειπίων του Ponte Lupo β) Απεικόνιση γέφυρας υδραγωγείου

Το υδραγωγείο του Ponte Lupo χτίστηκε αρχικά το 144 π.Χ. από κομμένη πέτρα από τις πλαγιές στην αριστερή όχθη της κοιλάδας κοντά στη γέφυρα. Τα μόνα ερείπια της δομής είναι οι δύο ψηλές καμάρες, που είναι σαφώς ορατές στο ρέμα. Έναν αιώνα αργότερα, η γέφυρα είχε επιδεινωθεί σε βαθμό

που απαιτούσε σχεδόν πλήρη αντικατάσταση. Ο Μάρκος Βιψάνιος Αγρίππας αντικατέστησε όλα εκτός από τις δύο κεντρικές πέτρινες καμάρες. Οι μηχανικοί του Αγρίππα ήταν οι πρώτοι στη Ρώμη που χρησιμοποίησαν σκυρόδεμα για την κατασκευή των αψίδων και έφτιαξαν μια γέφυρα η οποία ήταν πολύ ευάερη για το υλικό αυτό. Οι μηχανικοί του Νέρωνα θα επαναλάβουν αυτό το λάθος ένα αιώνα αργότερα. Μέσα σε λίγες δεκαετίες το έργο του Αγρίππα και πάλι στηρίζονταν με την προσθήκη τοίχων. Ο Τίτος, θεώρησε σκόπιμο να επαναλάβει αυτό, το 79 μ.Χ.. Ο Αδριανός έκρινε αναγκαίο να προσθέσει μερικά τείχη και αντηρίδες, αλλά τίποτα δεν ήταν τόσο δραματικό, όσο η πρώην επισκευές. Οι επισκευές του Καρακάλλα το 212 μ.Χ. ήταν πιο ουσιαστικές και η γέφυρα απαιτούσε μόνο μικρές επισκευές σε λιγότερο από ένα αιώνα αργότερα. Το αποτέλεσμα της εργασίας είναι μια συσσώρευση των τεχνικών κατασκευής και υλικών που, ενώ δεν ακολούθησε την νοθεσία του Βιτρούβιου «ότι οι δομές θα πρέπει να είναι όμορφες», ήταν σίγουρα ισχυρές και χρήσιμες.

Υπήρχε όμως ένα όριο για το ύψος, στο οποίο οι Ρωμαίοι έχτιζαν τις καμάρες των γεφυρών των υδραγωγείων. Ήταν δυνατόν για ένα ψηλό πυλώνα να πέσει κατά τη διάρκεια ενός υψηλού αέρα ή εάν μια καθίζηση είχε λάβει χώρα στη βάση του. Εάν ένας από τους πυλώνες κατέρρευε, θα μπορούσε να προκαλέσει μια προοδευτική κατάρρευση όλης της σειράς με τις καμάρες. Η ρωμαϊκή λύση ήταν να περιορίσουν το ύψος του τόξου στα περίπου 21 μέτρα. Όταν εργάζονταν κοντά σε αυτό το όριο έκαναν τους πυλώνες πολύ ογκώδεις, και τα τόξα μεταξύ τους στενά. Εάν μια μεγαλύτερη αύξηση ήταν απαραίτητη, οι Ρωμαίοι έχτιζαν τα τόξα σε δύο βαθμίδες, οι πυλώνες της άνω σειράς ακουμπούσαν απευθείας στους κάτω. Οι καμάρες του κάτω διαζώματος γινόντουσαν απλές και όχι πολύ βαριές, μοναδικός σκοπός τους ήταν να συγκρατήσουν τους πυλώνες από κάθε πλευρά. Αποτελούνταν από στερεές σφηνοειδείς πέτρες που σχηματίζονταν από τις καμάρες. Η δομή πάνω από την ανώτερη βαθμίδα ήταν όπως ακριβώς σε μία μόνο-βαθμιδωτή γέφυρα υδραγωγείου. Όταν το υδραγωγείο έπρεπε να διασχίσει μια βαθιά κοιλάδα, για κάποιο λόγο οι μηχανικοί αποφάσισαν να μην χρησιμοποιήσουν ένα σιφόνι, αλλά την ίδια αρχή (πολλαπλών βαθμίδων). Η τεχνική αυτή δεν

φαίνεται να έχει χρησιμοποιηθεί κοντά στη Ρώμη, πιθανώς επειδή δεν ήταν αναγκαίο.



Εικόνα 2. 15 Υδραγωγείο, λεπτομερές σχέδιο



Εικόνα 2. 16 Pond du Gard στην Γαλλία

Το πιο γνωστό παράδειγμα γέφυρας υδραγωγείου είναι αυτό στην πόλη Segovia (Ισπανία) με τα δύο επίπεδα και το γνωστό Pont du Gard (εικόνα 2.16) με τρεις βαθμίδες. Αλλά δεν είναι λιγότερο εντυπωσιακές και οι γέφυρες

στην Illouine (Αλγερία) και στην Μέριδα (Ισπανία). Η εικόνα του Pont du Gard χρησιμοποιήθηκε ακόμη και για το χαρτονόμισμα των 5 ευρώ.

θ) Διασχίζοντας τον ποταμό Τίβερη στη Ρώμη

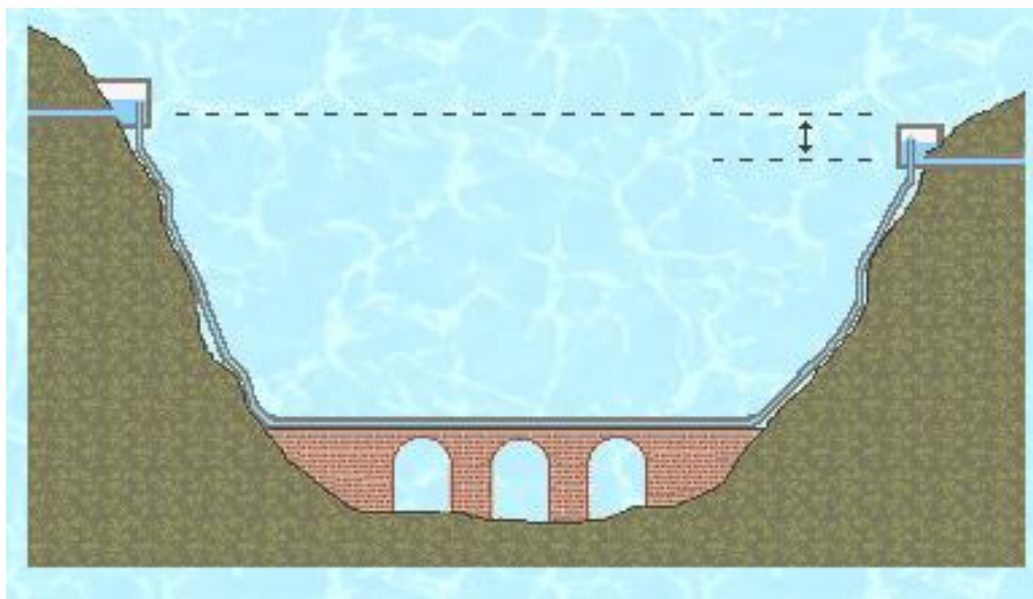
Μόνο μία από τις γέφυρες που διέσχιζαν τον ποταμό Τίβερη ήταν αποκλειστικά και μόνο υδραγωγείο: η Pons Traiani. Μέχρι το 109 μ.Χ., όταν το Aqua Traiana χτίστηκε, το μεγαλύτερο μέρος του νερού στην Transtiberim (στη δυτική πλευρά του Τίβερη) έπρεπε να παρέχει από την ανατολική όχθη με ανεστραμμένα σιφόνια που μετέφεραν νερό υπό πίεση στους σωλήνες σε όλες τις υψιστάμενες γέφυρες. Η πιο αξιοσημείωτη από αυτές ήταν η Aqua Virgo του Αγρίππα και η Claudia-Anio του Νέρωνα. Όταν ο Frontinus έγραφε στα τέλη του 1^{ου} αιώνα μ.Χ. ότι τρία άλλα συστήματα τροφοδοτούσαν επίσης την Transtiberim, τη Aqua Appia, τη Anio Vetus και τη Aqua Marcia. Αυτές οι διαβάσεις μπορεί αρχικά να ήταν έργο του Αγρίππα, όμως το 33 π.Χ. είχαν αποκατασταθεί και επεκταθεί σε όλη τη Ρώμη.

Στις επόμενες δεκαετίες μια σειρά από νέες πηγές νερού έγιναν διαθέσιμες, συμπεριλαμβανομένων των νέων Aqua Appia και Aqua Marcia, νέα υδραγωγεία με τη μορφή της Aqua Julia, Aqua Virgo και το εξειδικευμένο Alsietina Aqua. Όταν είναι δυνατόν, τα περάσματα των ποταμών ήταν πιθανόν κατασκευάζαν και γέφυρες. Το σημείο διανομής της Aqua Appia ήταν στο Porta Trigemina στο Salinae. Η διέλευση των χώρων του Anio Vetus και το Aqua Marcia είναι λιγότερο βέβαιο, αλλά δεν υπάρχουν πολλές επιλογές για το πού μπορούσαν να είναι. Το Pons Cestius θα μπορούσε να είχε κατασκευαστεί με διάταξη του Αγρίππα. Υπάρχουν ενδείξεις ότι η Aqua Virgo διέσχισε τον Τίβερη σε ένα γεφύρι. Η αναφορά στο Pons Traiani εμφανίζεται μόνο μία φορά. Συνήθως λαμβάνεται ως λανθασμένη αναφορά στο Pons Aelius, την οποία την έκτισε ο διάδοχος του Αδριανού Τραϊανός.

ι) Σιφώνια

Ένας τρόπος με τον οποίο τα φυσικά χαρακτηριστικά, όπως κοιλάδες, μπορούσαν να περαστούν ήταν η τεχνική του ανεστραμμένου σιφονιού, μια τεχνική που βασίζεται στην απλή αρχή ότι «το νερό βρίσκει το δικό του

επίπεδο». Οι Ρωμαίοι γνώριζαν καλά αυτή την αρχή. Πήραν το πλεονέκτημα αυτής της αρχής και κατασκεύαζαν σωλήνες, οι οποίες έφθαναν μέχρι τις κορυφές των υψηλών βρύσεων και για τον εφοδιασμό των άνω δωματίων των σπιτιών. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι Ρωμαίοι διέσχισαν το χαμηλότερο τμήμα της κοιλάδας σε μια γέφυρα για τη μείωση της πίεσης του νερού που αυξανόταν με την κάθετη πτώση του σωλήνα. Ακριβώς πριν από μια καθοδική κλίση, το νερό έχει συλλεχθεί σε μια δεξαμενή, από την οποία ένας σωλήνας το μετέφερε από το κάτω μέρος του κοίλου, με την βοήθεια της βαρύτητας, και στη συνέχεια και πάλι σε μια δεύτερη δεξαμενή, χάρη στην πίεση που είχε παραχθεί κατά μήκος της πρώτης πλαγιάς. Ένα μικρό οδογεφύρι ήταν μερικές φορές χτισμένο στο κάτω μέρος του κοίλου για να μειώσει το μέγιστο ύψος της, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πίεση του νερού που απαιτείται για να αναρριχηθεί στην αντίθετη πλευρά.



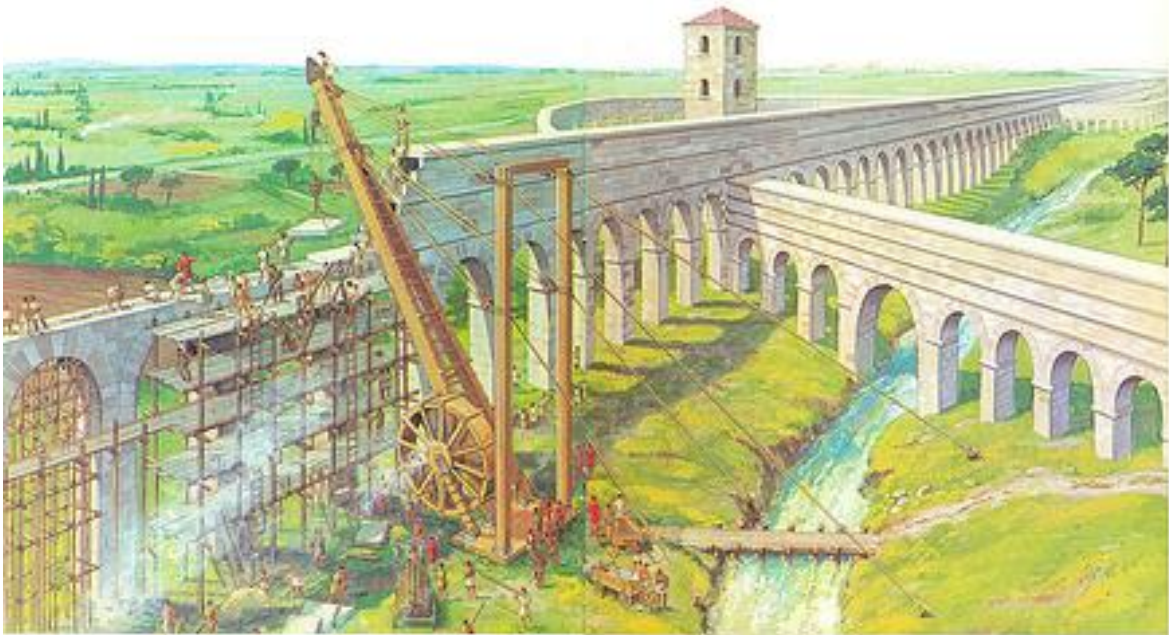
Εικόνα 2. 17 Σχέδιο ενός συστήματος σιφονιού

Πολλές σύγχρονες πηγές δηλώνουν ότι το σιφόνι (εικόνα 2.17) δεν χρησιμοποιήθηκε συχνά για τα ρωμαϊκά υδραγωγεία. Για παράδειγμα, σωλήνες διαθέσιμες κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους, από μόλυβδο ή πηλό, δεν μπορούσαν να είναι συγκολλημένες αρκετά σταθερά για να κρατήσει την μάλλον ισχυρή πίεση που δημιουργούνται από την κλίση, προκαλώντας σημαντική απώλεια νερού και χρειάζονται συχνές επισκευές. Ωστόσο, είναι

σαφές από τη συγγραφή του Αρχιμήδη και του Βιτρούβιου ότι οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι είχαν μια λεπτομερή κατανόηση της αρχής της πίεσης.

κ) Κατασκευή

Η κατασκευή οδών, γεφυρών και υδραγωγείων απαιτούσαν τέσσερα στοιχεία: Υψηλότερες αρχές για να κάνουν τις αρχικές αποφάσεις, τεχνικούς εμπειρογνώμονες για να θέσουν τις αποφάσεις στην πράξη, τα σωστά υλικά και εργάτες για να κάνουν την πραγματική εργασία. Η λήψη αποφάσεων, ο σχεδιασμός, η κατασκευή, η απόκτηση και η διαμόρφωση των υλικών απαιτούσε διαφορετικές και συχνά εξειδικευμένες δεξιότητες. Ήταν εύκολο να απορρίψεις τις τεχνικές δεξιότητες για το πρώτο από τα στοιχεία, παρ' όλ' αυτά το ρωμαϊκό σύστημα δεν επέτρεπε το άτομο να φτάσει τις υψηλότερες τάξεις χωρίς εκπαίδευση και εμπειρία. Ήδη από τον 4ο αιώνα π.Χ., οι θέσεις του δημόσιου αξιώματος είχαν κανονιστεί σε μια εύρυθμη εξέλιξη γνωστή ως



Εικόνα 2. 18 Σκαλλιτεχνική αναπαράσταση κατασκευής υδραγωγείου

cursus honorum. Η κανονική πορεία ξεκίναγε με μια περίοδο της στρατιωτικής θητείας, τότε ένα ή περισσότερα quaestorship (τίτλος οικονομικού συμβούλου) πιθανώς μια σειρά από αξιώματα, όπως aedile (γραφείο πολεοδομίας), praetor και ενδεχομένως ακόμη και πρόξενος, ακολουθούμενη από τη θέση του ελεγκτή και σε ορισμένες περιπτώσεις δικτάτορα.

Επίσης, υπάρχουν ενδείξεις ότι τουλάχιστον δύο αξιωματούχοι είχαν υψηλότερες τεχνικές δεξιότητες, Marcus Vipsanius Αγρίππα – στον οποίον ο Αύγουστος παραχώρησε πολλές επάξιες τιμητικές διακρίσεις για τα εξαιρετικά κατορθώματά του και ο Sextus Julius Frontinus . Και οι δύο είχαν σημαντική επίδραση στην κατασκευή και διαχείριση των υδραγωγείων στην εποχή τους. Εικάζεται ότι οι Ρωμαίοι μηχανικοί δεν είχαν καμία επίσημη κατανόηση των φορέων δύναμης και την επίλυση, σε διάτμηση και ροπή κάμψης την ένταση ή συμπίεση, και άλλες βασικές αρχές της μηχανικής. Πιθανότατα λοιπόν, τις γνώσεις τους αναπτύχθηκε εμπειρικά. Ισχυρή διαίσθηση και η εμπειρία πρέπει να είχαν παίξει κάποιο ρόλο

λ) Με γνώμονα τη βαρύτητα

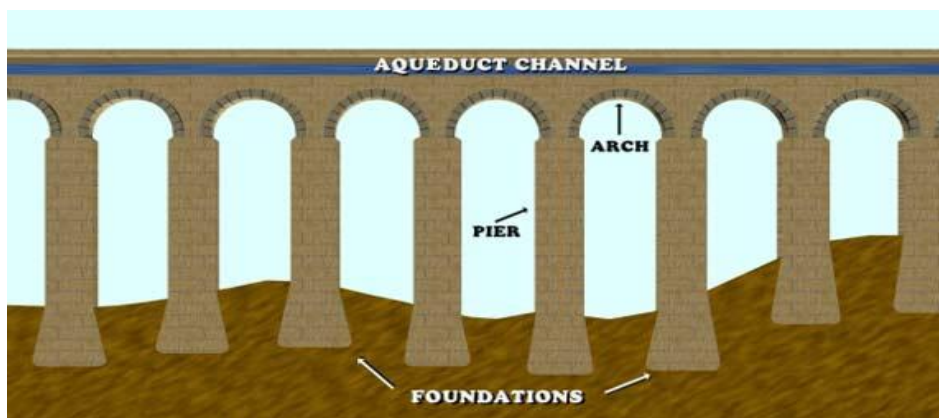
Τα περισσότερα αρχαία υδραγωγεία ήταν συστήματα βαρύτητας. Αυτό σημαίνει ότι δεν απασχολούσαν κανένα μέσο άντλησης ή κίνησης του νερού, εκτός από αυτό της βαρύτητας στο σύστημα του υδραγωγείου, εκτός ίσως για τον έλεγχο και την εκτροπή του νερού κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Με την εξασφάλιση του γεγονότος ότι η πηγή ήταν υψηλότερο από το τερματισμό, και με το να σχεδιάσουν τη διαδρομή του υδραγωγείου το οποίο διατηρούσε μια ενιαία προς τα κάτω κλίση, το νερό θα κυλούσε από τη βαρύτητα. Αυτό απαιτεί μια λεπτομερή γνώση του εδάφους. Οι μηχανικοί έπρεπε να διατηρήσουν μια ενιαία κλίση, ενώ γεφύρωναν κοιλάδες και άνοιγαν σήραγγες μέσω των λόφων. Αυτό απαιτούσε εξειδικευμένες ικανότητες και την κατασκευή λεπτομερών χαρτών. Αυτό παρέχει αποδείξεις για το υψηλό επίπεδο του ρωμαϊκού σχεδιασμού. Το να κατέχουν αυτές τις ικανότητες είναι απαραίτητο, αλλά χωρίς μια μέθοδο σχεδιασμού και ελέγχου, τα υδραγωγεία δεν θα μπορούσαν να χτιστούν.

Για το περισσότερο του μήκους τους υδραγωγείου ήταν απλά κανάλια ή σήραγγες, ή λιγότερο συχνά σωλήνες. Το βάθος του καναλιού κάτω από το έδαφος ποικίλλει, έτσι ώστε να διατηρήσουν μια σταθερή, ρηχή κλίση σε όλο το μήκος του υδραγωγείου. Κάθετα φρεάτια είχαν βρεθεί κατά διαστήματα για την παροχή αερισμού και πρόσβασης. Προκειμένου να διατηρηθεί η ρηχή κλίση, τα υδραγωγεία δεν κτιζόντουσαν στον πιο σύντομο δρόμο για τη Ρώμη, αλλά ακολούθησε το περίγραμμα της γης και την κατεύθυνση κατά μήκος, που οδηγούσε προς τη Ρώμη. Οι Ρωμαίοι κατέφυγαν στις σήραγγες όταν η

πτώση από την πηγή έως τον τερματισμό ήταν πολύ μικρή και για να αυξήσουν την απόσταση έφτιαχναν ένα κύκλωμα γύρω από ένα εμπόδιο, όπως ένα λόφο ή βουνό. Με τον καιρό, οι Ρωμαϊκοί μηχανικοί έγιναν πιο τολμηροί για την κατασκευή των υψηλών καμάρων, για την υποστήριξη των αγωγών σε κοιλάδες και πεδιάδες. Μερικά από τα υδραγωγεία αργότερα ήταν έως και 27 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους. Κλειστοί σωλήνες μερικές φορές χρησιμοποιούσαν για να καλύπτουν τις κοιλάδες με τη μέθοδο του ανεστραμμένου σιφονιού.

Η πίεση ανάγκαζε το νερό προς τα κάτω και πάλι στην άλλη πλευρά της κοιλάδας, αλλά σε ελαφρώς χαμηλότερο επίπεδο από ό, τι πριν. Αυτό το σύστημα ήταν δαπανηρό, δεδομένου ότι απαιτούνταν σωλήνες μολύβδου και ήταν δύσκολο να γίνουν αρθρώσεις αρκετά ισχυρές για να αντέξει την μεγάλη πίεση που ασκείται από το νερό. Ο Ηρόδοτος μας περιγράφει μια σαφή Ελληνική, προηγούμενη των ρωμαϊκών τεχνικών, ιδέα στο εκπληκτικό υδραγωγείο χτισμένο στη Σάμο από τον Ευπαλίνο, της τάξεως του Πολυκράτη.

Ο Ηρόδοτος το περιγράφει ως εξής: μια σήραγγα περίπου ένα μίλι μακριά, οκτώ πόδια πλάτος και οκτώ πόδια υψηλή, οδηγείται καθαρά μέσα από τη βάση του λόφου εννιάκοσια πόδια στο ύψος. Το συνολικό μήκος της φέρει μια δεύτερη κοπή τριάντα πόδια βαθιά και τρεις ευρείες, κατά μήκος του οποίου το νερό από μια πλούσια πηγή οδηγείται μέσω σωλήνων στην πόλη. Το υδραγωγείο της Σάμου έχει μήκος 1036 μέτρα. Ήταν σκαμμένο από δύο ανοίγματα, με τις δύο ομάδες εργασίας να συναντιούνται στο κέντρο του καναλιού. Η κατασκευή άρχισε το 530 π.Χ. και πήρε περίπου δέκα χρόνια.

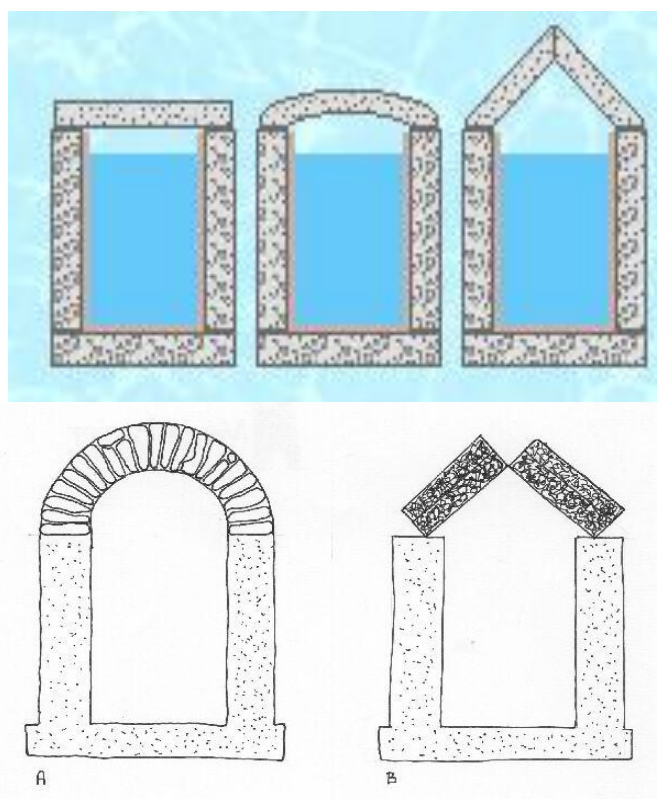


Εικόνα 2. 19 Το υδραγωγείο διατηρείται επίπεδο, σε ολόκληρο το ανώμαλο έδαφος

Το σφάλμα ήταν μόνο 60 εκατοστά. Οι εργαζόμενοι οι οποίοι αντιμετώπιζαν προβλήματα με το ασταθές έδαφος και έπρεπε να αποκλίνει από την αρχική πορεία, κατάφεραν να καθορίσουν τη σωστή διαδρομή προς την αντίθετη ομάδα εργασίας. Η απόκλιση ήταν 200 μέτρα μακριά από μια ευθεία γραμμή που συνδέει τα άκρα της σήραγγας. Περίπου 7000 κυβικά μέτρα βράχου αφαιρέθηκαν από το βουνό.

μ) Κανάλια

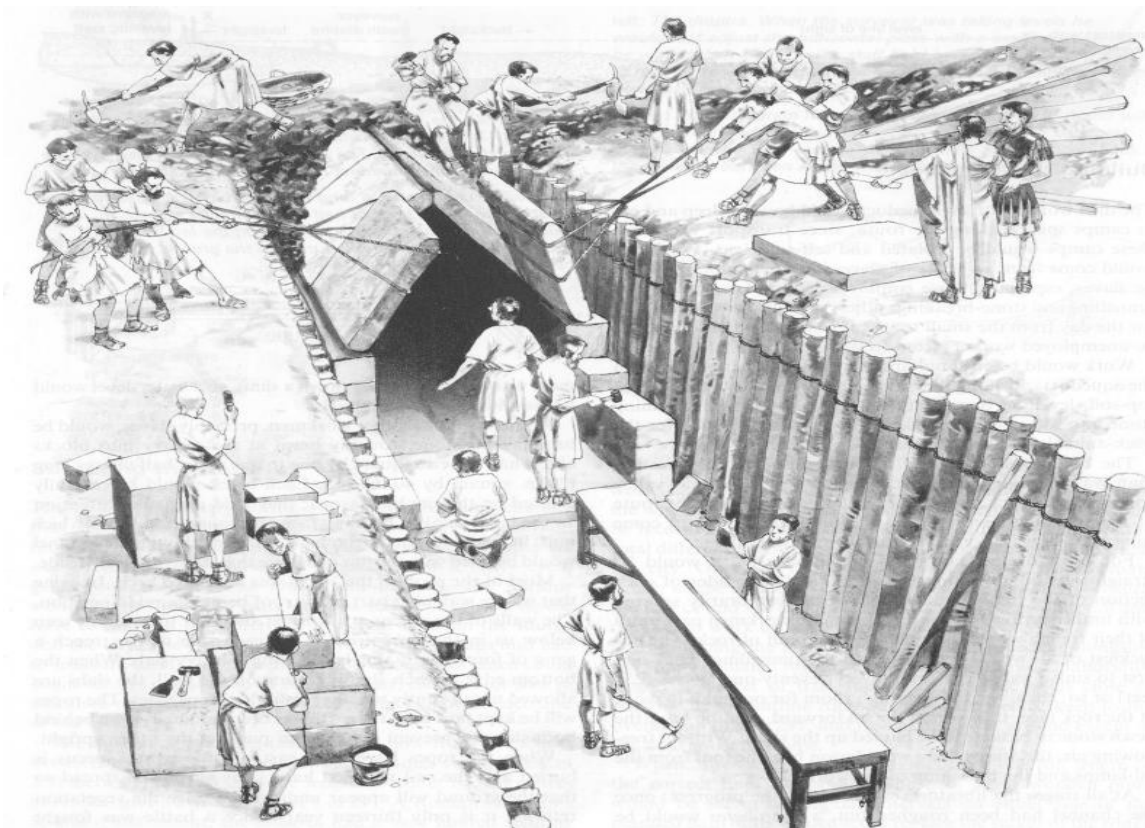
Το τυπικό ρωμαϊκό υδραγωγείο ήταν κοντά σε ένα επιφανειακό κανάλι το οποίο ακολουθούσε την επιφάνεια του εδάφους, αντί να υψωθεί σε αψίδες ή να βυθιστεί κάτω από την γη μέσα σε μια σήραγγα. Το κανάλι ήταν συνήθως πενήντα εκατοστά στο ένα μέτρο κάτω από την στάθμη του εδάφους, σε βάθος τέτοιο ώστε να παρέχετε κάποια προστασία, αλλά ρηχά ώστε να παρέχετε πρόσβαση, όταν επισκευές απαιτούνται.



Εικόνα 2. 20 Είδη καναλιών

Ο Βιτρούβιος διευκρινίζει τρεις τύπους καναλιών, τα κανάλια χτισμένα με τοιχοποιία, σωλήνες μολύβδου και κανάλια από τερακότα, δηλαδή αγωγοί κατασκευασμένοι από ψημένο πηλό. Μέχρι στιγμής το πιο κοινό κανάλι ήταν

αυτό της τοιχοποιία (εικόνα 2.20). Το κανάλι κατασκευαζόταν χρησιμοποιώντας την αρχή " σκάψε και κάλυψε " (εικόνα 2.21) και όχι απευθείας τη κατασκευή σήραγγας. Ουσιαστικά, μια τρύπα ανοιγόταν, το κανάλι κατασκευαζόταν, και στη συνέχεια καλυπτόταν. Αυτή ήταν η ταχύτερη, ευκολότερη και φθηνότερη τεχνική. Σε διατομή, ο αγωγός που σχηματιζόταν συνήθως ήταν στενόμακρος, ψηλότερος από ότι ήταν πλατύτερος.



Εικόνα 2. 21 Κατασκευή καναλιού

Το μέγεθος των σωλήνων ποικίλλει, αλλά η Marcia (90 cm πλάτος και 2,4 m ύψος) και το Brevenne (79 cm πλάτος και 1,69 μ. ύψος) δίνουν μια ιδέα για τους μέσους όρους. Ένας θόλος συνήθως σχηματιζόταν στην οροφή. Λιγότερο συχνά ένα ζευγάρι επίπεδες πλάκες σε κλίση, όπου χρησιμοποιούνται για να σχηματίζουν μία μυτερή στέγη. Ο λόγος για αυτές τις αναλογίες είναι πρακτικός. Το κανάλι έπρεπε να είναι προσιτό σε έναν άνδρα για τη συντήρηση και τον καθαρισμό του, και ήταν αυτός ο παράγοντας και όχι τον όγκο του νερού που καθόριζε το μέγεθός του.

Σχετικά με το επίπεδο του νερού σε ένα κανάλι: ήταν κανονικά μόνο το ήμισυ έως και τα δύο τρίτα γεμάτο με νερό ούτως ή άλλως ποτέ δεν είχε ως στόχο να μεταφέρει περισσότερο. Τα κανάλια μπορούσαν να είναι ανοικτά ή κλειστά. Περιστασιακά τα κανάλια των υδραγωγείων ήταν ανοικτά στον αέρα, ειδικά όταν διέσχιζαν βράχο. Ένα όφελος των καναλιών ήταν ότι μπορούσαν να είναι μικρότερα από ό, τι οι αγωγοί με καμάρες. Οι αγωγοί ήταν αρκετά μεγάλοι ώστε να επιτρέψει σε άνδρα να χωράει σ' αυτούς για λόγους συντήρησης. Ένα ανοικτό κανάλι θα μπορούσε να είναι λίγο μικρότερο, καθώς θα υπήρχε αρκετός χώρος για έναν άνδρα να κινείται.

ν) Επίχρισμα

Το δάπεδο και οι τοίχοι ήταν υπενδεδυμένοι με αδιάβροχο επίχρισμα, που συχνά ονομαζόταν *opus signinum*. Το επίχρισμα δεν ήταν συνήθως σε όλη το ύψος του αγωγού, αλλά μόνο μέχρι το ύψος στο οποίο το νερό θα έφτανε. Η λειτουργία του επιχρίσματος ήταν τριπλή. Πρώτον, για να κάνουν τα κανάλια αδιαπέραστα από διαρροές ή διήθηση. Δεύτερον, ώστε να επιτυγχάνεται ομαλή ελεύθερη από τριβές επιφάνεια και τρίτον να κάνει την επιφάνεια επαφής συνεχής και ομοιόμορφη, χωρίς αρμούς από το ένα άκρο του υδραγωγείου στο άλλο. Εκτός από την εκτέλεση αυτών, το επίχρισμα έπρεπε να είναι ισχυρό και ανθεκτικό στις ρωγμές, είτε από θερμική διαστολή, το πάγωμα ή άλλες αιτίες. Το επίχρισμα έπρεπε επίσης να είναι σε θέση να επιδιορθωθεί ενώ ήταν υγρό.

Το επίχρισμα συνήθως εγκαθίσταται σε στρώσεις, και η τελευταία στρώση ήταν γυαλισμένη. Υπήρχαν τρεις λόγοι για τη στίλβωση. Πρώτον, να αναστέλλει το σχηματισμό των υπολειμμάτων του ασβέστη και να γίνει η αφαίρεση των εν λόγω υπολειμμάτων ευκολότερη. Δεύτερον, να σκληρύνει το ανώτερο στρώμα και έτσι να προστατεύει τις άλλες στρώσεις. Τρίτον, να επεξεργάζονται τα σωματίδια του ασβέστη με το μάρμαρο για να σχηματίσουν ένα οριζόντιο προσανατολισμό που να εμποδίζει ρωγμές λόγω της συρρίκνωσης. Τόσο η σύνθεση και η εγκατάσταση ήταν πολύ σύνθετα, η εφευρετικότητα των οποίων δεν πρέπει να υποτιμηθεί.

ξ) Διανομή και χρήση

Μέσα ή κοντά στην πόλη, το νερό από το υδραγωγείο συχνά έπεφτε σε μια μεγάλη, καλυπτόμενη λεκάνη καθίζησης. Εκεί το νερό υποτίθεται ότι θα γινόταν η καθίζηση των τα ιζήματα του. Το νερό από τη λεκάνη καθίζησης διανεμήθηκε στην πόλη μέσα από μια λεκάνη διανομής, τη λεγόμενη *castellum divisorium*. Στη Ρώμη, πριν το νερό φθάσει τις λεκάνες διανομής μερικές φορές έρεε μέσω καναλιών ελεύθερης ροής όπως το *Arcus Neroniana*. Αφού περνούσε το σημείο διανομής, σωλήνες κατασκευασμένοι από τερακότα ή συρίγγια (σωλήνες μολύβδου) μεταφέρανε το νερό σε πολλές πτυχές της πόλης: δημόσια, ιδιωτική, και αυτοκρατορική.



Εικόνα 2. 22 Λεκάνη διανομής (*castellum divisorium*) στο τέλος του υδραγωγείου της πόλης Νιμ στη Γαλλία

Η περιγραφή ενός *castellum* (διανομή λεκάνη) από τον Βιτρούβιο έχει ως εξής: Όταν φτάσει το νερό στη πόλη χτίστε μια δεξαμενή διανομής με τρία άλλα τμήματα συνδεδεμένα με την δεξαμενή. Η δεξαμενή θα πρέπει να έχει τρεις αγωγούς ένα για την κάθε μια από τις συνδεδεμένες υποδεξαμενές, έτσι ώστε, όταν το νερό ρέει από τις δεξαμενές προς τις άκρες, να μπορεί να ρέει μέσα σ' αυτήν που βρίσκεται ανάμεσα τους. Από την κεντρική δεξαμενή τοποθετούνται

αγωγοί που φτάνουν μέχρι τα σιντριβάνια και τις τεχνητές λίμνες, από τη δεύτερη δεξαμενή οι αγωγοί πηγαίνουν στα λουτρά, έτσι ώστε να αποφέρουν ένα ετήσιο εισόδημα στο κράτος, από την τρίτη δεξαμενή πηγαίνουν σε ιδιωτικά σπίτια, για να μην λείπει νερό από το λαό. Άλλωστε, οι άνθρωποι δε θα το ξοδεύουν, αν έχουν μόνο τις δικές τους προσωπικές προμήθειες σε νερό από τις κεντρικές δεξαμενές. Γι' αυτό το λόγο έκανα αυτές τις τρεις διαιρέσεις και με σκοπό ακόμα τα άτομα που παίρνουν νερό για το σπίτι τους να βοηθούν με την πληρωμή των φόρων στη συντήρηση των έργων για τη μεταφορά του νερού.

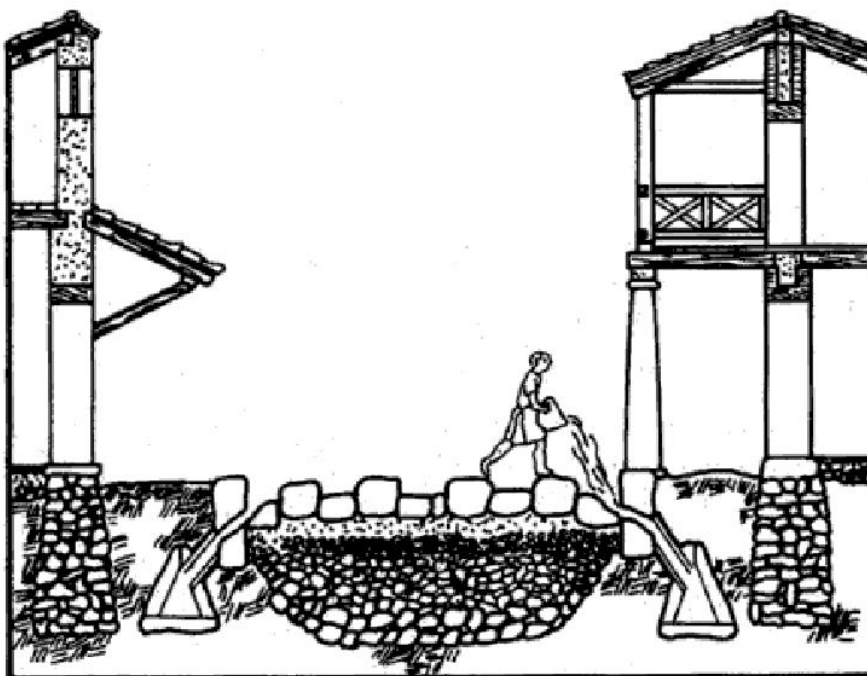
Αυτή η περιγραφή συχνά μεταφράζεται λανθασμένα ως ένα σύστημα με τρία διαφορετικά δίκτυα νερού σε μια πόλη και ένα δίκτυο νερού να ευνοεί την ιεραρχία για δημόσια χρήση. Δεν μας πληροφορεί μόνο για την κατανομή του πλεονάσματος νερού. Καμία από τις λεκάνες διανομής που έχουν ανακαλυφθεί από τις ανασκαφές μοιάζει με αυτή την περιγραφή. Η μία στη Νιμ ήταν κυκλική λεκάνη με μια τετράγωνη είσοδο και στο χείλος δέκα ανοίγματα για σωλήνες μολύβδου. Στο πάτωμα τρεις τρύπες ενδεχομένως για να παρεμποδίζουν υπερχειλίσεις ή για τον καθαρισμό.



Εικόνα 2. 23 Κυκλικά Ρωμαϊκά λουτρά

ο) Χρήστες

Το νερό παραχωρούνταν σε μια ποικιλία από χρήστες συμπεριλαμβανομένων των απλών ανθρώπων μέσω των βρύσεων, τους ιδιώτες χρήστες, τα δημόσια λουτρά και τα κτίρια (στη Ρώμη). Πλεόνασμα και λύματα είχαν χρησιμοποιηθεί για να ξεπλένονται τουαλέτες, δρόμοι και το αποχετευτικό δίκτυο. Με ελάχιστες εξαιρέσεις, το νερό από τα υδραγωγεία έφτανε μόνο στο ισόγειο των κτιρίων. Οι ένοικοι των πάνω ορόφων έπρεπε να βασίζονται σε σκλάβους για να μεταφέρουν νερό ή να αντλούν νερό από την πλησιέστερη βρύση.



Εικόνα 2. 24 Πλεόνασμα και λύματα

Επειδή η φωτιά ήταν μια συνεχής ανησυχία, οι Ρωμαίοι είχαν ενθαρρυνθεί να κρατάνε το νερό αποθηκευμένο στα δωμάτιά τους. Δεν είναι δύσκολο να φανταστεί κανείς τα προβλήματα ενός κατοίκου του έκτου ορόφου, χωρίς τρεχούμενο νερό, προβλήματα όπως, στην αντιμετώπιση της φωτιάς και της δημόσιας υγιεινής.

Πολλοί πρέπει επίσης να έχουν ζήσει σε μια διαρκή κατάσταση αθλιότητας. Στην πραγματικότητα, η φωτιά είχε εξελίχθη σε μια σημαντική αποστολή

δημόσιας υγιεινής. Γνωρίζουμε ότι η Ρώμη χτυπήθηκε από τεράστιες πυρκαγιές κατά καιρούς και σε διάφορες περιπτώσεις. Το πιο αξιοσημείωτο γεγονός ήταν η πυρκαγιά κατά τη διάρκεια της βασιλείας του αυτοκράτορα Νέρωνα που κατέστρεψε μεγάλα τμήματα της Ρώμης, διότι η πόλη δεν είχε κανένα αποτελεσματικό μέσο για να σταματήσει την εξάπλωση της φωτιάς.

Ο αριθμός των συνδέσεων νερού με κατοικία σε ιδιώτες ήταν περιορισμένος. Περισσότεροι Ρωμαίοι ήταν υποχρεωμένοι να εφοδιαστούν με νερό για οικιακή χρήση από δημόσιες κρήνες. Το νερό διοχετευόταν στην κατοικίες αυτών που ήταν αρκετά τυχεροί να έχουν επίσημη άδεια, το τρεχούμενο νερό ήταν τόσο επιθυμητό που πολλοί Ρωμαίοι δωροδοκούσαν αξιωματούχους να παρακεντήσουν νερό βρύσης από ένα υδραγωγείο.

π) Σωλήνες

Οι σωλήνες δεν ήταν μόνο από τερακότα, μόλυβδο, πέτρα και πηλό, αλλά και από ξύλο ή δέρμα (εικόνα 2.25,2.26). Η χρήση και των τεσσάρων έχει βρεθεί σε ρωμαϊκά υδραγωγεία. Η τερακότα ήταν η πιο συχνή, ακολουθούμενη από το μόλυβδο και στη συνέχεια πέτρα. Το ξύλο ήταν σπάνιο στην νότια Ευρώπη, αλλά πιο συνηθισμένο από την πέτρα και τον μόλυβδο στη Βόρεια Ευρώπη και τη Βρετανία. Οι σωλήνες είναι πιο δύσκολο να διατηρηθούν από ότι τα ανοικτά κανάλια, έτσι είναι πιθανό ότι, οι σωλήνες έχουν χρησιμοποιηθεί λιγότερο από τα κανάλια. Παρ'όλα αυτά, τόσο ο Βιτρούβιος όσο και Πλίνιος παρέχουν λεπτομερείς προδιαγραφές για τη χρήση των σωλήνων.

Τερακότα σωλήνες που ονομάζονται σωληνάρια ήταν το δεύτερο πιο κοινό υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή υδραγωγείων, αλλά ήταν κατάλληλο μόνο για χαμηλές εφαρμογές πίεσης. Βρίσκονται σε ορισμένες από τους μικρότερους κύριους αγωγούς υδραγωγείων, τοπικά αστικά συστήματα διανομής, ακόμη και στην αποχέτευση. Τα επιμέρους τμήματα είναι συνήθως περίπου 40-70 εκατοστά με εσωτερική διάμετρο έως και δεκαπέντε εκατοστά. Το μήκος του μπορεί να έχει υπαγορευθεί από το γεγονός ότι έγιναν με τροχό αγγειοπλαστικής. Δεν ήταν συμμετρικά, το ένα άκρο ήταν στενότερο από το άλλο. Ένας σοβάς, παρόμοιος με το ασβεστοκονίαμα που χρησιμοποιούνταν στις τοιχοποιίες των καναλιών, χρησιμοποιούνταν για να σφραγιστούν.



Εικόνα 2. 25 Σωλήνες του υδραγωγείου του Cadiz (Ισπανία)



Εικόνα 2. 26 Δερμάτινος σωλήνας

Η ρωμαϊκή μέθοδος κατασκευής σωλήνων από μόλυβδο μπορεί να εξεταστεί από τα εναπολείμματα στο Bath και στο Somerset της Αγγλίας. Ένα ορθογώνιο φύλλο του μολύβδου ήταν διπλωμένο, κατά πάσα πιθανότητα

γύρω από ένα ξύλινο δοκάρι, είτε σε έναν κύκλο ή ένα τρίγωνο με στρογγυλεμένες γωνίες. Οι δύο πλευρές είχαν είτε μια απλή επικάλυψη και ήταν κολλημένες κλειστές, ή ήταν αλληλεπικαλύπτονταν και διπλωμένες και στη συνέχεια συγκολλημένες. Υπήρχαν δέκα διαφορετικά μεγέθη, καθένα αναφερόμενο από το πλάτος του φύλλου του μολύβδου που χρησιμοποιούνταν. Το μέγεθός τους μετριόταν σε ψηφία, ένα ψηφίο είναι 1,85 cm.

Οι σωλήνες μολύβδου έγιναν σε περισσότερα τμήματα από ότι οι πήλινοι σωλήνες. Ο Βιτρούβιος προτιμά τη χρήση των πήλινων σκευών για διάφορους λόγους. Πρώτον, πίστευε ότι υπάρχει κίνδυνος δηλητηρίασης από μόλυβδο από το σχηματισμό του λευκού οξειδίου του μολύβδου σε σωλήνες μολύβδου.



Εικόνα 2. 27 Σωλήνες μολύβδου οι οποίοι βρέθηκαν στο ποταμό Ροδανό

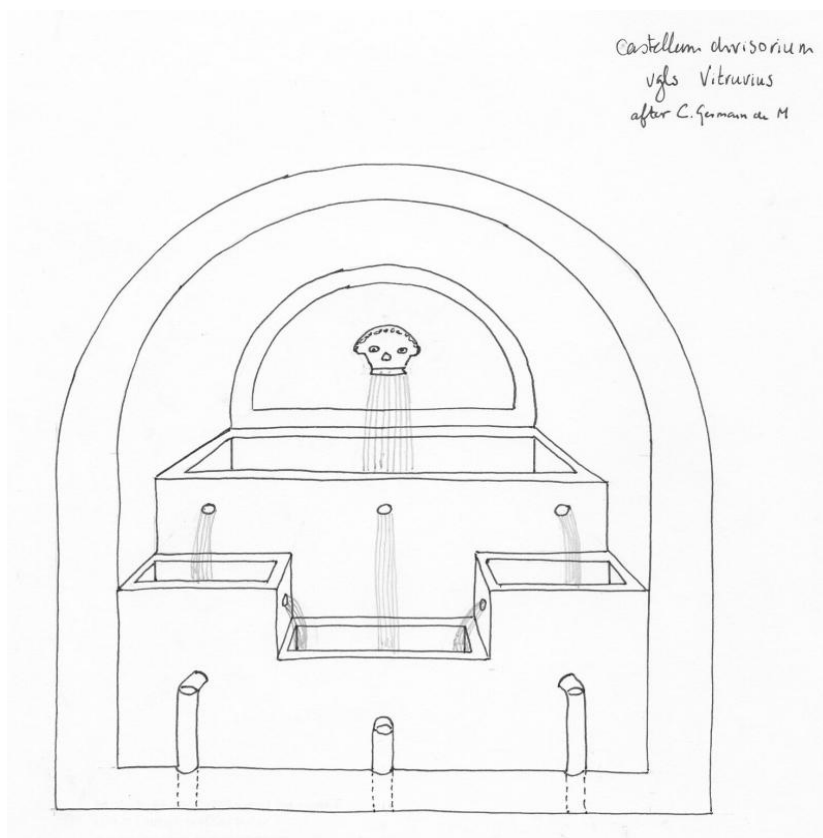


Εικόνα 2. 28 Τέσσερις παράλληλες γραμμές πήλινων σωλήνων από το αρχαϊκό υδραγωγείο της αρχαίας Σάμου

Ο Βιτρούβιος το ονομάζει αυτό, ουσία *ceyussa*. Δεύτερον, απαιτεί εργάτες με ειδικές δεξιότητες για την εκτέλεση οικοδομικών έργων, ενώ ένας συνηθισμένος οικοδόμος μπορεί να ασχοληθεί με πήλινους σωλήνες. Τρίτον, ο Βιτρούβιος αναφέρει ότι ο μόλυβδος είναι πιο ακριβός από το πηλό. Αυτό είναι αναμφίβολα αλήθεια.

Υπάρχουν δύο προβλήματα με το σύστημα του κλειστού αγωγού. Αυτά είναι, η πίεση και τα ιζήματα. Εάν ο σωλήνας πέσει σε μεγάλο βαθμό κάτω από την πηγή του, το νερό αναπτύσσει μια πίεση η οποία υπολογίζεται σε περίπου 1kg/cm^2 για κάθε 10 μέτρα. Εάν αυτή η πίεση αυξάνεται πάνω από τη σειρά των 3.5kg/cm^2 αυτό αρχίζει να έχει πολλές σοβαρές επιπτώσεις. Οι σωλήνες μολύβδου έχουν την τάση να χωρίζουν στις ενώσεις τους, και οι πήλινοι σωλήνες μπορεί να αποκτήσουν ρωγμή κατά μήκος οποιουδήποτε ελαττωματικού σημείου. Οι αρθρώσεις στα τμήματα και των δύο τείνουν να ανοίξουν. Αυτό δεν είναι ένα σοβαρό πρόβλημα, όταν είναι όλοι σε μια ευθεία γραμμή, ή είναι κυρτοί σταδιακά προς τα πάνω ή προς τα κάτω, δεδομένου

ότι το βάρος των αρθρώσεων κρατιέται από κοινού από το βάρος του συστήματος στο σύνολό του. Ωστόσο, όπως ο Βιτρούβιος επισημαίνει, εάν υπάρχει μια απότομη στροφή από το κατακόρυφο και μια σχεδόν κάθετη τομή και ένας οριζόντιος άξονας, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος έκρηξης λόγω της ώθησης του νερού. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιούσαν πήλινους σωλήνες. Το πρόβλημα των ιζημάτων νικήθηκε με διάφορους τρόπους. Η πιο αποτελεσματική ήταν η δεξαμενή καθίζησης. Το νερό ερχόταν από τη μία πλευρά, και αν το ποσοστό διάσχισης ήταν αρκετά αργό, τα περισσότερα από τα ιζήματα βυθιζόντουσαν στον πυθμένα πριν το νερό βγει στο αντίθετο άκρο⁷.



Εικόνα 2. 29 Σχέδιο του Castellum divisorium όπως περιγράφεται από τον Βιτρούβιο

2.7 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΓΕΝΙΚΑ

Υλικά δομής

Κατά την Ρωμαϊκή εποχή υπήρχε μεγάλη ποικιλία υλικών και αυτό είναι λογικό εάν αναλογιστεί κανείς την έκταση της αυτοκρατορίας. Εάν εξαιρεθούν τα πολύ σημαντικά κτίρια των οποίων τα υλικά μεταφέρονταν από όλα τα μήκη και πλάτη της επικράτειας για να δηλώσουν το δέος και την πολυτέλεια της κατασκευής, είναι αναμενόμενο, λόγω της πολυμορφίας των γεωλογικών συνθηκών ότι οι απλές κατασκευές χτιζόντουσαν με τοπικά υλικά.

Η Ελλάδα ήταν γνωστή για τις μεγάλες ποσότητες που διέθετε, μαρμάρου και ασβεστόλιθου και η χρήση τους ήταν τέτοια ώστε άγγιζε σε μεγάλο βαθμό τους Κλασσικούς χρόνους. Η Ρώμη εκτός από τα δυο παραπάνω υλικά είχε χρώμα κατάλληλο για την κατασκευή τούβλων και κεραμικών, λάβα και ελαφρόπετρα, ηφαιστιογενή τύρφη και την ηφαιστιογενή γη, rozzolana, που χρησιμοποιήθηκε ως βασικό υλικό για την σύνθεση του ρωμαϊκού κονιάματος.

Κεραμικά και πλίνθοι

Τα τούβλα υπήρχαν σε μεγάλη ποικιλία χρώματος και διαστάσεων, μπορούσαν να είναι ορθογωνικά, τριγωνικά (σπανιότερα). Όσων αφορά το χρώμα τους ήταν ανάλογο με το χρόνο και το τρόπο ψησίματος τους. Μπορούσαν να είναι έντονο κόκκινο το οποίο προέκυπτε από τις υψηλές θερμοκρασίες και σαν αποτέλεσμα αυτού ήταν αδιάβροχα. Τα τούβλα με κιτρινωπό χρώμα ψήνονταν λιγότερο και ήταν πορώδη για να απορροφούν το κονίαμα και να παρέχουν καλύτερο δέσιμο.

Η χρήση τους ήταν τόσο συχνή, που δεν προκαλεί έκπληξη η γρήγορη ανάπτυξη της βιομηχανίας τους καθώς και της τυποποίησής τους. Η βασική τους χρήση ήταν στην τοιχοποιία στην οποία χρησιμοποιούνταν για επικάλυψη του πυρήνα αλλά ως και συνδετικό υλικό του σκυροδέματος. Για τους αγωγούς ύδρευσης τα κεραμικά ήταν το κύριο υλικό κατασκευής και για το λόγο αυτό παρουσιάζεται ποικιλία διατομών. Κατά τον σχεδιασμό των εργασιών μίας κατασκευής κάθε τούβλο είχε περισσότερες από μια χρήσης.

Πλίνθοι

Υπήρχαν ωμοί και οπτοί πλίνθοι και χρησιμοποιούνταν ως κύρια δομικά υλικά για τις ευτελείς κατασκευές. Στη Μεσόγειο κατά τους αρχαίους χρόνους ήταν γνωστές οι ωμές πλίνθοι και συνέχιζαν να χρησιμοποιούνται και στους Ρωμαϊκούς χρόνους. Τις συναντάμε περισσότερο στα τείχη. Σύμφωνα με το Βιτρούβιο αναφέρεται ότι η χρήση των ωμών πλίνθων ήταν περιορισμένη από τον νόμο.

Κονιάματα

Από τους κλασσικούς χρόνους ήταν γνωστά τα ελληνικά κονιάματα και ήταν φημισμένα για την ποιότητα και την αντοχή τους. Οι Ρωμαίοι χρησιμοποίησαν από τον 2^ο αιώνα π.Χ. μια νέα χρήση κονιαμάτων. Εκτός από επιχρίσματα είναι και συνδετικά με τον ασβέστη σαν βασικό υλικό τους μαζί με θηραϊκή γη ή με άμμο. Ξεκινάει μια νέα τεχνολογία χυτών υλικών που βασίζονταν στα κονιάματα και στον συνδυασμό με μικρούς σε μέγεθος λίθους και χαλίκια που σαν αποτέλεσμα είχαν το ρωμαϊκό σκυρόδεμα.

Τα κονιάματα τα οποία περιείχαν στην σύστασή τους θηραϊκή γη, είχαν ιδιότητες υδραυλικές και τις εφαρμόζαν σε κατασκευές που χρειαζόντουσαν υδατοστεγανότητα, όπως δεξαμενές και τα ρωμαϊκά υδραγωγεία. Τα κονιάματα αναπτύχθηκαν στους Ρωμαϊκούς χρόνους και διαδόθηκε η προσθήκη κεραμάλευρου (κουρασανίου) το οποίο βελτίωσε την αντοχή τους καθιστώντας το διάσημο στον ελλαδικό χώρο και η χρήση του συνεχίστηκε κατά τους παλαιοχριστιανικούς και βυζαντινούς χρόνους. Στα κονιάματα συγκαταλέγονταν τα επιχρίσματα των θόλων και των τοίχων.

Η κατασκευή των τοιχοποιιών διευκολύνθηκε εξαιτίας της ικανότητας του νερού να προσκαλείτε στα κοκκώδη υλικά. Εξαιτίας της καύσης του ασβέστη και της επακόλουθης ύγρυνσης, η παραγωγή τους ήταν μια διαδικασία ξήρανσης. Χάρη το κονίαμα η αρχιτέκτονες απέκτησαν την ελευθερία που χρειαζόνταν για την κατασκευή ποικίλων μορφών⁸.

Ρωμαϊκό σκυρόδεμα

Το ρωμαϊκό σκυρόδεμα ήταν σημαντικό συνδετικό υλικό των κονιαμάτων και των αδρανών υλικών. Ήταν ένα υλικό που χρησιμοποιήθηκε σε μνημειακά έργα. Τα άμορφα ακατέργαστα υλικά μετατρέπονταν σε δομικά στερεά. Η άμμος, ο ασβέστης και η ποζολάνη γινόντουσαν πέτρωμα ενώ ο πυλός όταν ψηνόταν αποκτούσε την σκληρότητα της πέτρας. Η σημαντικότερη κατασκευαστική καινοτομία της ρωμαϊκής-ιταλιάνικης αρχιτεκτονικής ήταν οπωσδήποτε η δημιουργία ενός νέου υλικού δομής, του *opus caementicium*, ένα είδος σκυροδέματος από ηφαιστειακή λάσπη, το οποίο λόγω της ανθεκτικότητας του και της πλαστικότητας του έλυσε πολλά κατασκευαστικά δομικά προβλήματα και έδωσε νέες δυνατότητες κυρίως στην στέγαση μεγάλων χώρων. Οι τοίχοι που κατασκευάζονταν με την χυτή τοιχοποιία καλύπτονταν από οπτές πλίνθους, που σταδιακά αντικατέστησαν τους λίθους ως κατασκευαστικό υλικό. Αυτά τα υλικά δομής, μολονότι επικράτησαν στην αρχιτεκτονική της ιταλικής χερσονήσου ήδη από τα τέλη της ρεπουμπλικανικής περιόδου, δεν διαδόθηκαν στις ανατολικές επαρχίες παρά μόνο στα τέλη του 1^{ου} αι. μ.Χ. με τις αρχές 2^{ου} αι. μ.Χ. όταν και εμφανίστηκαν τα πρώτα πλινθόκτιστα κτίρια. Στην Πάτρα τα βασικά δημόσια κτίρια ήταν πλινθόκτιστα, αλλά τα περισσότερα χρονολογούνται μετά τα τέλη του 1^{ου} αι. μ.Χ.⁹.

Οι Ρωμαίοι είχαν δύο διαφορετικούς τύπους σκυροδέματος - κονιάματα. Ένα με ασβέστη και άμμο ποταμού, αναμιγνύονται σε αναλογία τρία μέρη άμμου και ένα μέρος ασβέστη. Ο άλλος τύπος που χρησιμοποιείται είναι η λεγόμενη ποζολάνη, αντί της άμμου ποταμού. Η ανάμιξη σε αναλογία είναι: δύο μέρη ποζολάνη και ένα μέρος ασβέστη. Δεν υπήρχε καμία αμφιβολία ως προς το ποιο από τα δύο ήταν ανώτερο, το ποζολανικό κονίαμα, ποζολάνη (*pozzuolania* στα λατινικά) πήρε το όνομά της από την περιοχή Pozzuoli από τον κόλπο της Νάπολης. όπου βρέθηκε και ήταν μια πραγματικά μαγική ουσία.

Ο Βιτρούβιος μηχανικός και αρχιτέκτονας για τον αυτοκράτορα Αύγουστο, έγραψε 10 βιβλία για την αρχιτεκτονική και τη μηχανική. Αφιερώνει ένα

ολόκληρο κεφάλαιο στο δεύτερο βιβλίο του για την ποζολάνη, δηλώνοντας ότι «Υπάρχει επίσης ένα είδος σκόνης που από φυσικά αίτια παράγει εκπληκτικά αποτελέσματα, βρίσκεται στη γειτονιά του Βαίαε και στις πόλεις γύρω από το Βεζούβιο» .

Οι επιστήμονες σήμερα γνωρίζουν τι ακριβώς "σκόνη" υπονοούσε ο Βιτρούβιος, ήταν ηφαιστειακή τέφρα και οι Ρωμαίοι την είχαν σε αφθονία. Τόσο η Ρώμη όσο και η Νάπολη ήταν περιτριγυρισμένες από ηφαίστεια, συμπεριλαμβανομένων το πιο διάσημο από όλα τον Βεζούβιο, ο οποίος κατέστρεψε την πόλη θέρτρο της Πομπηίας, στον κόλπο της Νάπολης, το 79 μ.Χ¹⁰..

2.8 Τεχνικές κατασκευής

Ένα οικοδόμημα απαρτίζεται από διάφορα μέρη και κατασκευάζεται με ποικίλες τεχνολογίες που παρουσιάζονται συνοπτικά οι πιο συνηθισμένες.

Τοιχοποιία

Το βασικότερο δομικό υλικό της παγκόσμιας ιστορίας είναι η τοιχοποιία. Όλα της ανθρωπότητας, μέχρι και τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, κατασκευάζονταν κυρίως με αυτό το υλικό, του οποίου η χρήση όμως περιορίστηκε σε μεγάλο βαθμό από τα σύγχρονα βιομηχανικά υλικά όπως ο χάλυβας και το σκυρόδεμα. Στην Ελλάδα, την Μικρά Ασία, την Συρία και την Βόρεια Αφρική, η επίδραση της Ελληνιστικής παράδοσης και αφθονίας των δομικών πετρών ευνόησε την χρήση μεγάλων ογκόλιθων και στην κεντρική Ιταλία μέχρι το 1^ο αιώνα επικράτησαν παραδόσεις κατασκευής των Ετρούσκων. Στην Αυτοκρατορία άρχισαν να διαδίδονται οι τοιχοποιίες με πυρήνα και να κερδίζουν έδαφος στις κατασκευές.

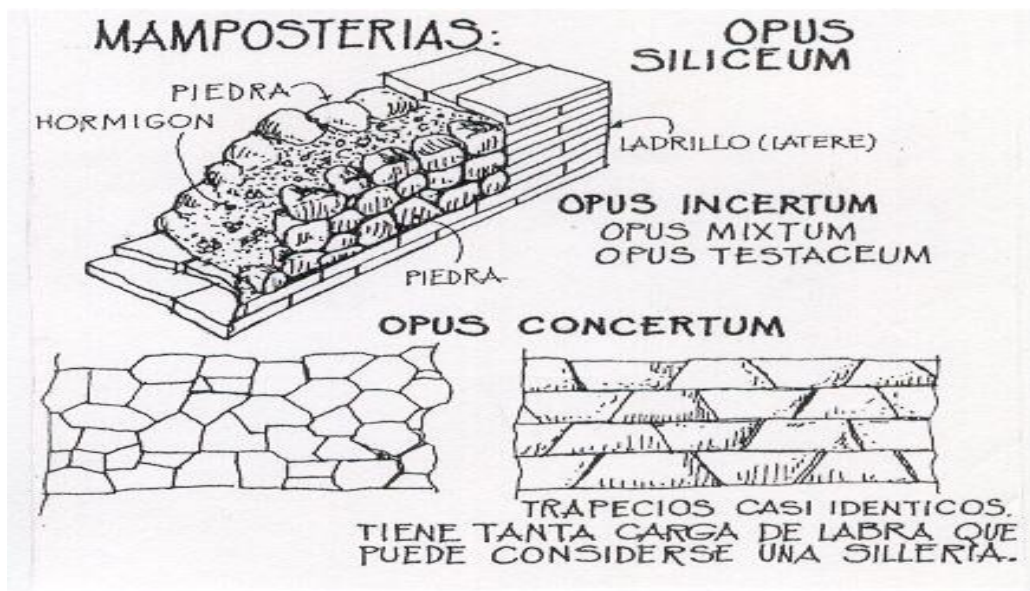
Οι τοίχοι αποτελούνταν από έναν πυρήνα το (opus caementicum) (εικόνα 2.30) που περιέχεται μέσα στην μήτρα λίθινων τοίχων και συχνά συνιστούσαν και την τελική επιφάνεια του τοίχου.

Οι πιο συνήθεις τύποι τειχοδομίας ήταν:

Opus caementicium

Η χρήση της ήταν σημαντική στην ρωμαϊκή εποχή στην διάρκεια του μεσαίωνα αλλά και στους ύστερους χρόνους. Αυτή η τεχνική αναπτύχθηκε στα τέλη του 3^{ου} αιώνα π.Χ. στο Λάτιο και στην Καμπανία, σύντομα διαδόθηκε στον ρωμαϊκή αυτοκρατορία γιατί ήταν μια εύκολη και οικονομική λύση. Ο πυρήνας του τοίχου κατασκευάζεται από κομμάτια πέτρας αναμειγμένα με κονίαμα από ασβέστη και άμμο (κατά προτίμηση rozzolana) ανάμεσα σε δυο τοίχους από τόφφους, τούβλα ή μάρμαρο.

Στην Ελλάδα αυτή η τεχνική δεν χρησιμοποιήθηκε ευρέως, προτιμούσαν σειρές εναλλασσόμενες από υπερτιθέμενους ακατέργαστους λίθους συνδεδεμένους με κονίαμα.

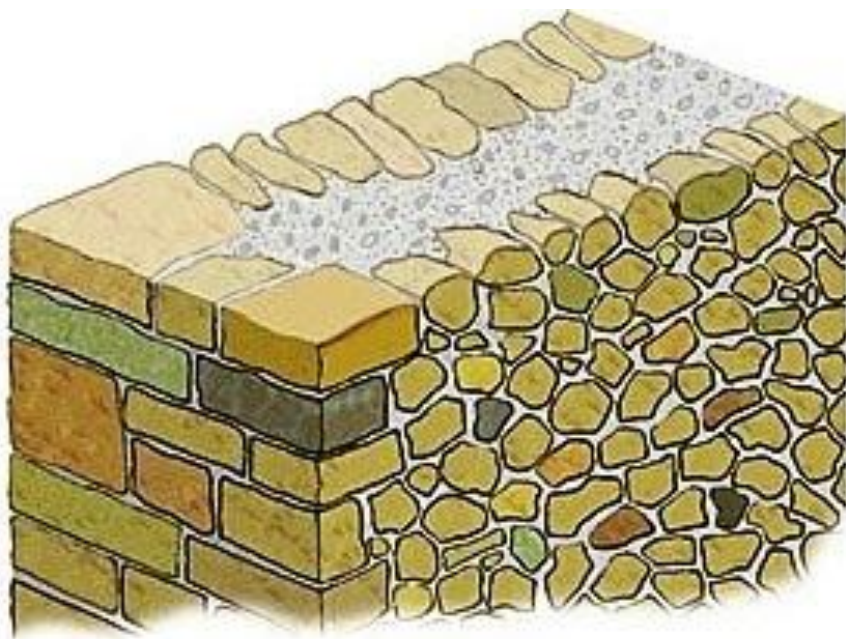


Εικόνα 2. 30 Ακατέργαστους λίθους συνδεδεμένους με κονίαμα

Το Opus caementicium δεν ήταν μόνο ένας τρόπος δόμησης αλλά χρησιμοποιήθηκε σαν βασικός πυρήνας που πάνω του επενδύθηκαν τα τούβλα και τα μάρμαρα.

Opus Incertum

Opus Incertum χρησιμοποιηθεί σε ακανόνιστο σχήμα και σε τυχαία σειρά οι πέτρες ήταν σε μεγέθους γροθιάς και λίγο μεγαλύτερο. Αναπτύχθηκε από τις αρχές του 2^{ου} αιώνα π.Χ. μέχρι τα μέσα του 1^{ου} αιώνα π.Χ., αργότερα σε μεγάλο βαθμό αντικαταστάθηκε από opus reticulatum¹¹.

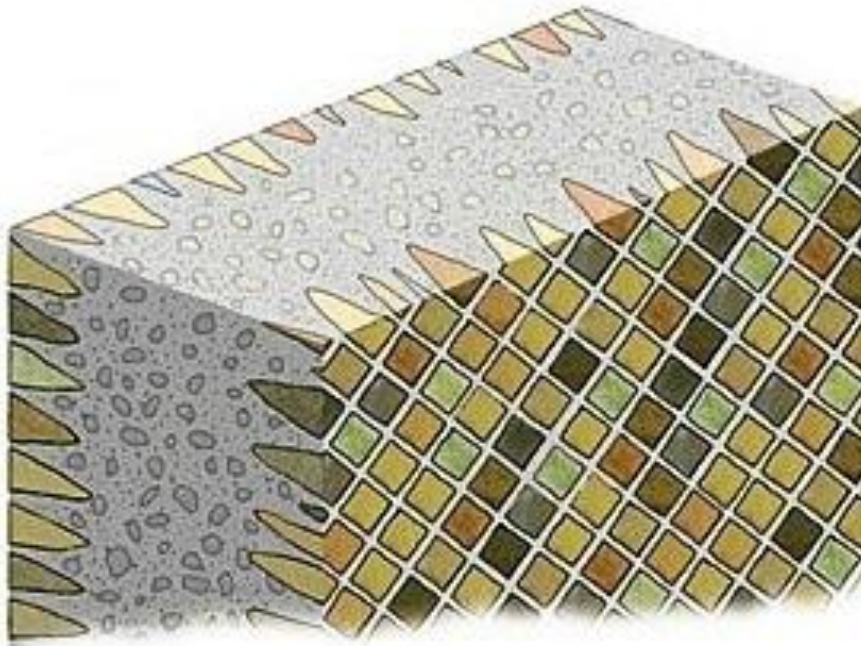


Εικόνα 2. 31 Opus Incertum

Opus reticulatum

Ήταν μια πιο εξελιγμένη μορφή του Opus Incertum, χρησιμοποιήθηκε ταχτοποιημένα σε κωνικούς λίθους και τοποθετήθηκε γύρω από τον πυρήνα opus caementicium. Τα τούβλα ήταν σε 45 μοίρες, έτσι ώστε η τετράγωνες βάσεις που σχημάτιζαν ένα ελκυστικό διαγώνιο μοτίβο, που μοιάζει με δίχτυ (reticulatum στα λατινικά).

Opus reticulatum (εικόνα 2.32) χρησιμοποιήθηκε από τις αρχές του 1ου αιώνα π.Χ.(από το 100 έως το 60 π.Χ.) και παρέμεινε δημοφιλές μέχρι που εμφανίζεται το opus testaceum.



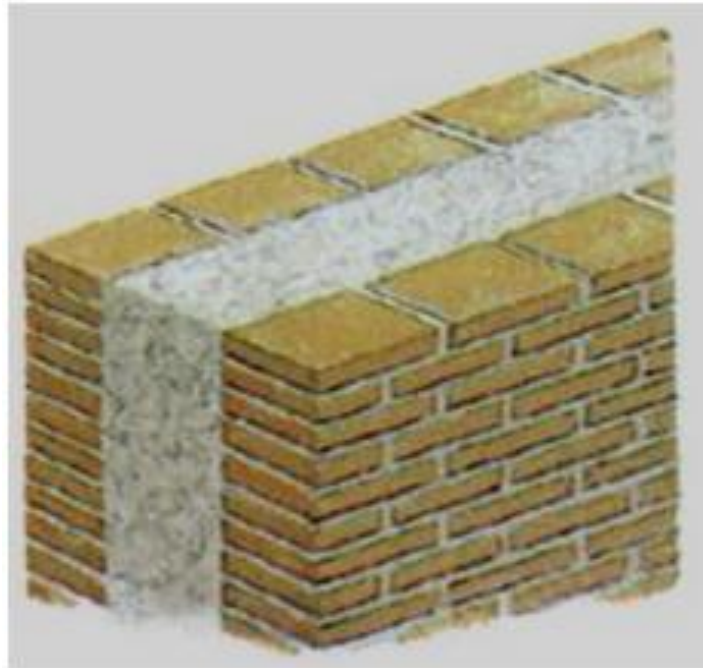
Εικόνα 2. 32 Opus Peticulatum

Opus testaceum – latericium

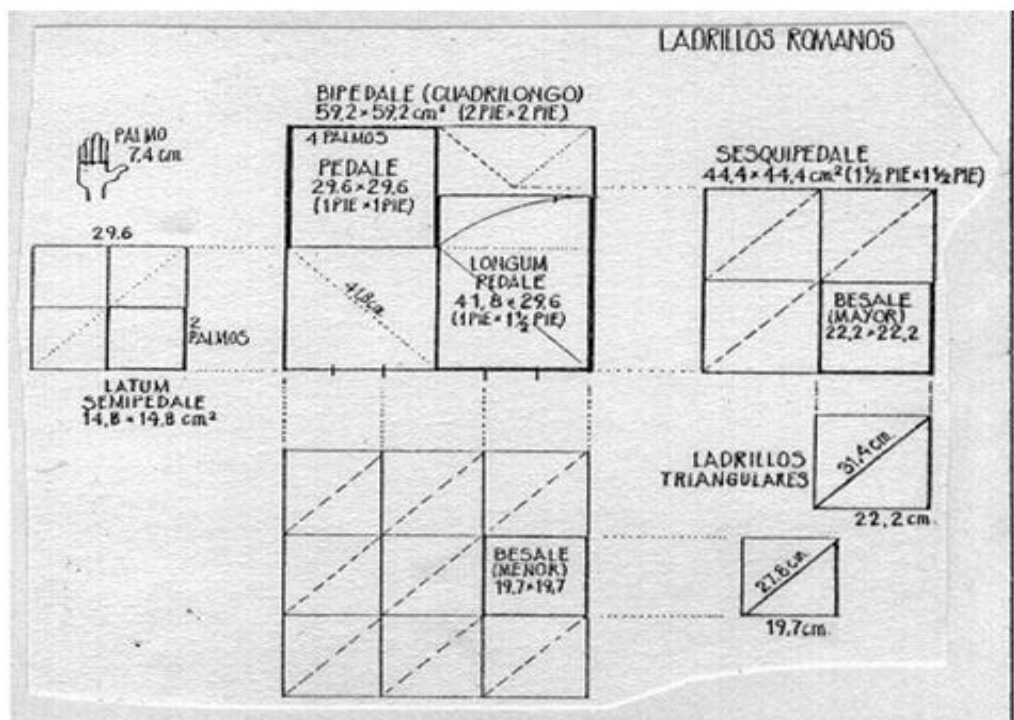
Opus testaceum – latericium η έκφραση αυτή αναφέρεται αμιγώς από ωμα τούβλα αρχαιότατης καταγωγής, και αυτός ο τρόπος δόμησης ήταν ευρέως διαδεδομένος σε όλη την μεσόγειο. Χρησιμοποιήθηκε μέχρι τον 1ου αιώνα π.Χ. της αυτοκρατορίας μόνο στην στρατιωτική αρχιτεκτονική και στα δημόσια έργα (υδραγωγεία, γέφυρες).

Ονομάζονται επίσης και latericium και εμφανίζονται τον 3ο έως τον 2ο αιώνα π.Χ εκτός Ρώμης. Αρχικά για τις κατασκευές χρησιμοποιούσαν θραύσματα κεραμικών αλλά στην συνέχεια αντικαταστάθηκαν από τούβλα ολοένα καλύτερης ποιότητας.

Τα καμινευμένα τούβλα ονομάζονταν tegulae, ενώ τα τούβλα που στέγνωναν στον ήλιο ή ψήνονταν ελαφρά ονομάζονταν lateres. Ο πιο συνηθής τύπος των καμινευμένων τούβλων ήταν ο διαχωρισμός τους κατά το πρότυπο του Ρωμαϊκού ποδός(βασική δομική μονάδα ήταν το πόδι, του οποίου η μονάδα ήταν $26,9 \text{ cm}^{12}$.)



Εικόνα 2. 33 Opus testaceum – latericium



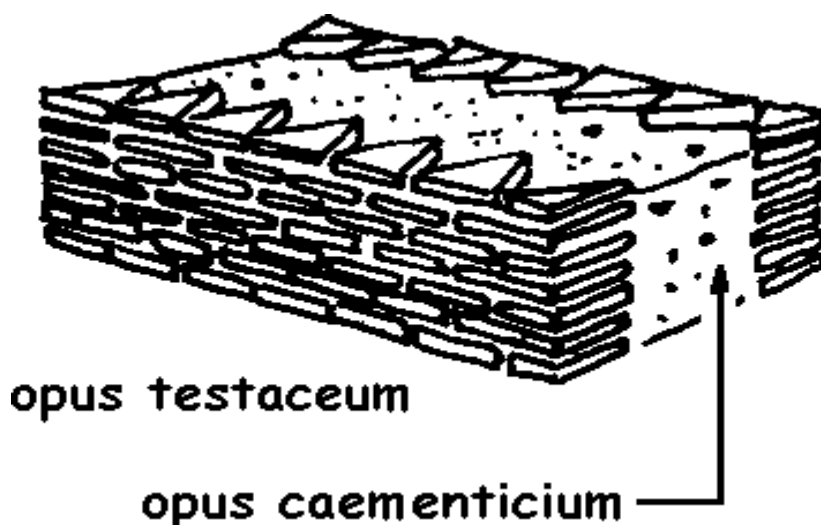
Εικόνα 2. 34 Bipediales διαχωρισμός σε τριγωνικά τούβλα

Bipedales: Τετράγωνα τούβλα πλευράς(59,2 x59, 2 cm)

Seqqipedales: Τετράγωνα τούβλα πλευράς 44.4 cm.

Bassales: Τετράγωνα τούβλα πλευράς 19.7 cm.

Δεν υπήρχαν μόνο τα τετραγωνικά τούβλα αλλά και τριγωνικά που προέρχονται από την κοπή των παραπάνω (εικόνα 2.34).



Εικόνα 2. 35 Τριγωνικά τούβλα που προέρχονται από την κοπή

Τόξα

Οι Ρωμαίοι με την εισαγωγή του σκυροδέματος ως οικοδομικού υλικού ανέπτυξαν και διέδωσαν την αρχιτεκτονική του τόξου και μπόρεσαν να καλύψουν μεγαλύτερους και ποικιλόμορφους χώρους κατασκευάζοντας υδραγωγεία, γέφυρες κ.ά. Οι αψίδες θριάμβου, που αποτέλεσαν ένα σύμβολο ισχύος της αυτοκρατορίας, ήταν έντονα διακοσμημένες και συνήθως δέσποζαν σε ένα σταυροδρόμι ή σε μια είσοδο πόλης, όπως αυτές του Τίτου (81 μ. Χ.) ή του Τραϊανού (114-7 μ. Χ.) ή της λεγόμενης Καμάρας (Αψίδα του Γαλερίου) στη Θεσσαλονίκη, οι οποίες κατασκευάστηκαν από τους Ρωμαίους αυτοκράτορες, για να τιμήσουν μεγάλους στρατιωτικούς θριάμβους. Σύμφωνα με αυτό το πνεύμα, στήθηκαν και μεταγενέστερες, όπως η μεγάλη αψίδα του

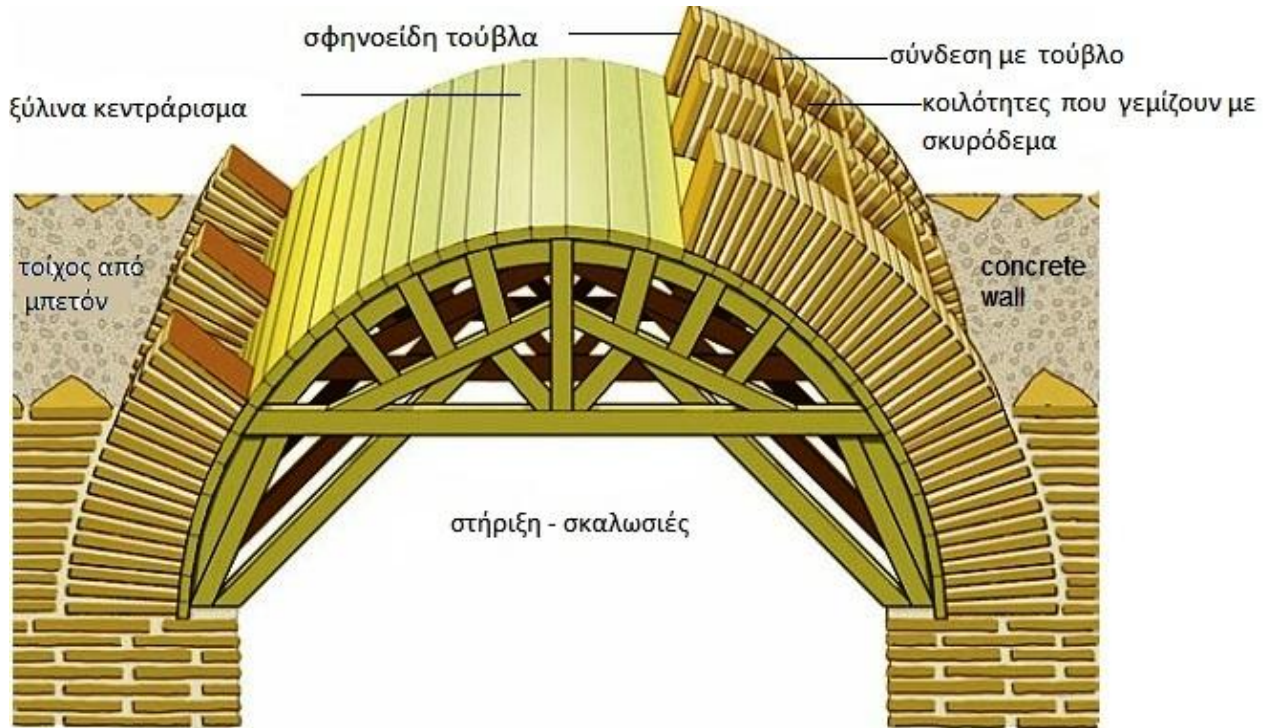
Παρισιού από το Ναπολέοντα (1806-1836) και ακόμα η Washington Square Arch στις Η.Π.Α.¹³.

Τα τόξα ήταν γνωστά από την 3^η χιλιετία π.Χ. Οι Ετρούσκοι τα χρησιμοποιούσαν στις κατασκευές τους. Οι ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν τόξα που αρχικά δήλωναν την ετρουσκική επιρροή, δημιουργούνταν χρήση τετραγωνισμένων λίθων, αλλά στην συνέχεια δημιούργησαν πενταγωνικούς ογκόλιθους σφηνοειδούς μορφής που εφάπτονταν με τους τοίχους. Η σφηνοειδής μορφή ήταν απαραίτητη για να εξασφαλίσει την κατασκευή από πιθανή αποκόλληση του υλικού υπό την επίδραση της βαρυτικής δύναμης και επιβάλλει την μεταφορά των ωθήσεων στο παρακείμενο στοιχείο. Το τόξο στηρίζεται στην θλιπτική αντοχή του υλικού από το οποίο κατασκευάζεται. Τα τόξα χρήζουν στηρίξεως μέχρι και την τοποθέτηση της τελευταίας σφήνας, του κλειδιού, όποτε ο ξυλοτύπος ήταν αναγκαίος για την κατασκευή τους. Από τις εφαρμογές αυτές προσήλθαν τα τόξα που αναπτύσσονταν απευθείας από τους πεσσούς.

Η μορφή των τόξων βασίζεται στο πλήρες ημικυκλικό σχήμα σε συνήθεις εφαρμογές, όπου η κατασκευή είναι περιορισμένη από τους τοίχους. Εκτός από τα τόξα που είναι κατασκευασμένα από ψηφίδες και κονία, από σφηνοειδείς λίθους προέκυψαν και από τούβλα στα οποία παρεμβάλλονταν σφήνες από *opus concretum*. Κατά την αυτοκρατορική περίοδο έγινε εκτεταμένη χρήση των τούβλων, συνήθως *bipedales*, με δυο ή και τρία υπερτιθέμενα στρώματα.

Τα τόξα πολλές φορές παρουσιάζουν το ίδιο είδος μεικτής κατασκευής όπως και οι τοίχοι. Έχουμε την εξωτερική επιφάνεια από τούβλα και ο πυρήνας είναι από *opus caementicium*¹⁴.

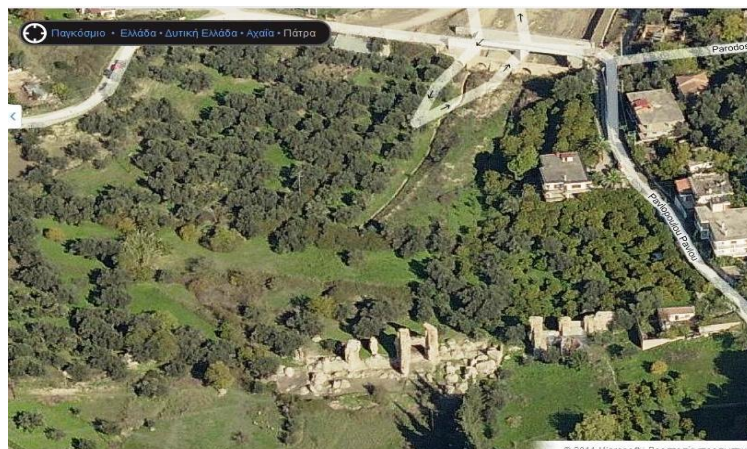
Συνήθιζαν κατά την Ρωμαϊκή εποχή κυλινδρικούς θόλους (καμάρες). Οι θόλοι αυτή συχνά που κατασκευάζονται έχουν νευρώσεις από τούβλα, οι οποίες χωρίζουν την κατασκευή σε ανθεκτικά πλαίσια τα οποία πληρώνονται με χυτό υλικό (ρωμαϊκό σκυρόδεμα). Πριν από την κατασκευή, ξυλουργοί είχαν τοποθετήσει ένα ξύλινο κεντράρισμα ή πλαίσιο, που υποστηρίζεται από σκαλωσιές. Η τελική επιτυχία και η αισθητική ποιότητα του τελικού τόξου εξαρτάται από ακριβή ξυλουργική του πλαισίου στο κτίριο (εικόνα 2. 37)¹⁵



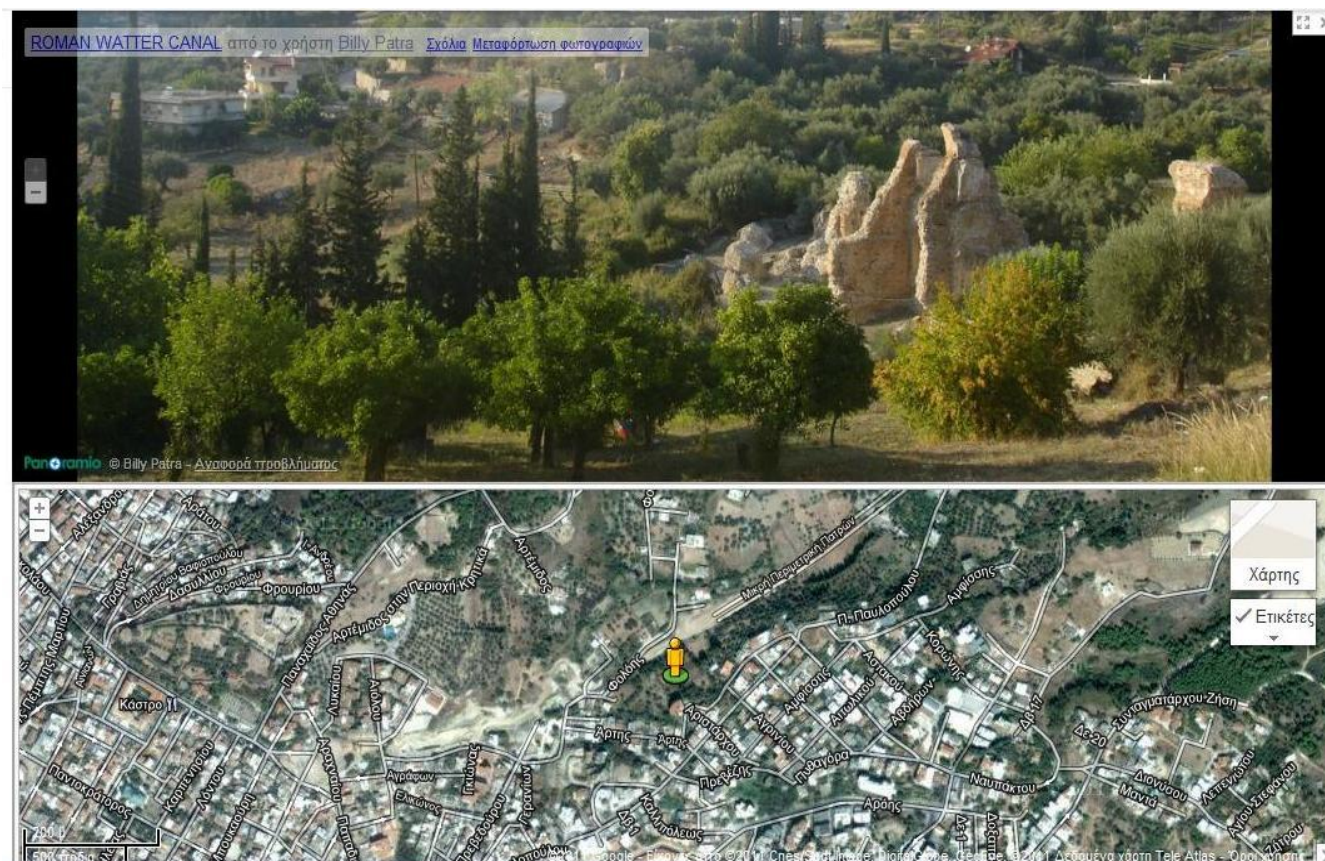
Εικόνα 2. 36 Ανάλυση κατασκευής κυλινδρικού θόλου (καμάρα)

2.9 Ανάλυση υπάρχουσας κατάστασης

Αντικείμενο της μελέτης είναι η αποκατάσταση του μνημείου που βρίσκεται στις ρίζες του λόφου του Δασυλλίου και είναι το πρώτο συστηματικό υδραγωγείο της Πάτρας. Η ευρύτερη περιοχή μελέτης είναι ιδιαίτερης ιστορικής και αρχαιολογικής σημασίας λόγω της γειτνίασης με το Κάστρο. Το μνημείο είναι υπό την εποπτεία της ΣΤ' εφορίας Κλασικών μνημείων.



Εικόνα 2. 37 Περιβάλλοντας χώρος



Εικόνα 2.38 Τοποθεσία Ρωμαϊκού υδραγωγείου

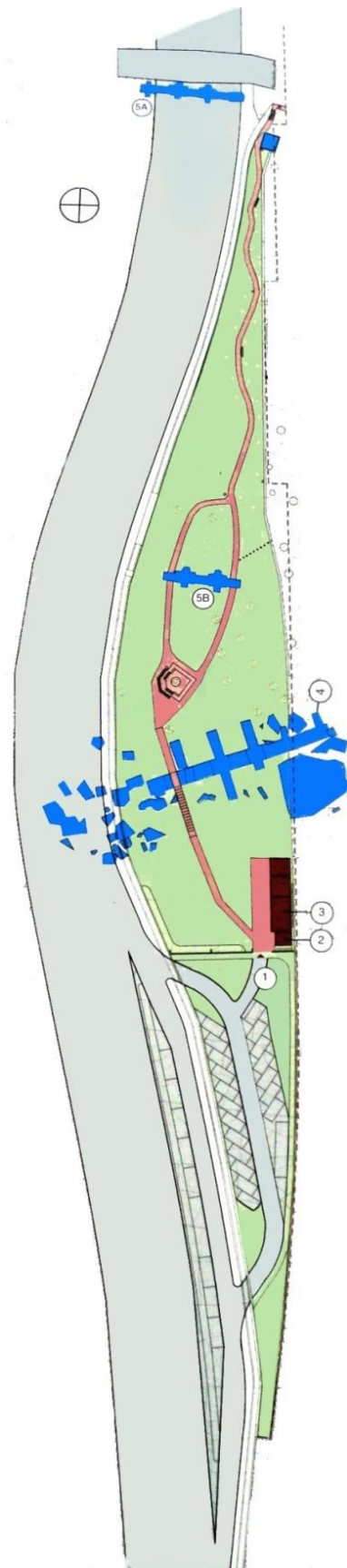
Το ρωμαϊκό υδραγωγείο βρίσκεται στη περιοχή Αρόης και Ασυρμάτου, πλησίον των τοπικών οδών Αρτέμιδος, και Π. Παυλοπούλου στην χάραξη της Μικρής Περιμετρικής είναι μια περιοχή εκτός σχεδίου πόλης, με την αρ. ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Α1/Φ43/7190/342/13-3-1996 (ΦΕΚ 236/Β/9-4-1996 & ΦΕΚ 537/Β/5-7-1996) Υπουργική Απόφαση κηρύχτηκε η περιοχή του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου ως αρχαιολογικός χώρος. Ο οικισμός στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Πάτρας ιδρύθηκε από τα πανάρχαια χρόνια και από αυτόχθονες κατοίκους, πελασγικής ίσως καταγωγής, με ηγεμόνα τον Εύμηλο, οι οποίοι ίδρυσαν την πόλη Αρόη (πιθανότατα στο λόφο του Φρουρίου).

Ο λόφος του Φρουρίου (Κάστρο), βρίσκεται στα βορειοδυτικά της περιοχής Μελέτης. Κατά τη μελέτη χάραξη της Μικρής Περιμετρικής προβλέφθηκε η υπογειοποίηση τμήματός της ώστε να μην επηρεαστούν τα αρχαία της ρωμαϊκής εποχής ενώ κατά την κατασκευή του έργου ανακαλύφθηκε και άλλο τμήμα του ρωμαϊκού υδραγωγείου καθώς και τμήμα νεότερου μεσαιωνικού

υδραγωγείου (από το 1200 μ.Χ. περίπου), κάθετο προς την χάραξη της Μικρής Περιμετρικής στο σημείο κατασκευής της γέφυρας άνω διάβασης Ασυρμάτου – Αρόης διατηρημένο σε πολύ καλή κατάσταση το οποίο αποτυπώθηκε “in situ” και μεταφέρθηκε με χρήση ειδικών τεχνικών κοντά σε διατηρημένο τμήμα του παλαιότερου ρωμαϊκού υδραγωγείου. Έτσι σε συνδυασμό με το ρωμαϊκό υδραγωγείο¹⁶ δημιουργείται ένα υπαίθριο διαχρονικό μουσείο έργων ύδρευσης που θα προσθέσει ένα σημαντικό κεφάλαιο στην ιστορική - πολιτιστική ζωή του τόπου.

Το μεγαλύτερο μέρος της τοποθεσίας που βρίσκετε το μνημείο έχει πυκνή βλάστηση (ελαιώνα, πρασινάδα και αγριολούλουδα). (εικόνα 2. 39)

Ο υπαίθριος χώρος που βρίσκετε το Ρωμαϊκό Υδραγωγείο έχει διαμορφωθεί σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα 2. 2 :



- 1.ΕΙΣΟΔΟΣ
- 2.ΦΥΛΑΚΙΟ
- 3.ΧΩΡΟΣ ΠΡΟΒΟΛΩΝ
- 4.ΡΩΜΑΙΚΟ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ
- 5Α. ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ
(ΑΡΧΙΚΗ ΘΕΣΗ)
- 5Β. ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΟ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ
(ΤΕΛΙΚΗ ΘΕΣΗ)

2.10 Η ύδρευση στην Πάτρα από την αρχαιότητα έως και την οθωμανική περίοδο

Το νερό υπήρχε ουσιαστικός παράγοντας, για την δημιουργία και την ανάπτυξη των πόλεων στην αρχαιότητα. Τα αρχαιολογικά δεδομένα που σχετίζονται με αυτό έχουν μεγάλη σημασία στη μελέτη της αρχαίας πολεοδομίας και της τεχνολογίας.

Η ύδρευση της Πάτρας κατά την αρχαιότητα γίνονται από τις πλούσιες πηγές στις Β.Δ. υπώρειες του Παναχαϊκού, απ' όπου το νερό μεταφέρονταν στην πόλη με κτιστούς υδραύλακες και συγκεντρώνονταν πιθανώς, σε κεντρική δεξαμενή. Από εκεί αγωγοί κτιστοί (εικόνα 2.39α) πήλινοι (εικόνα 2.39β) ή μολύβδινοι το διανέμουν στα δημόσια (εικόνα 2.40α-2.40β) και ιδιωτικά (εικόνα 2.41) κτίρια.



Εικόνα 2. 39 α) αγωγοί κτιστοί



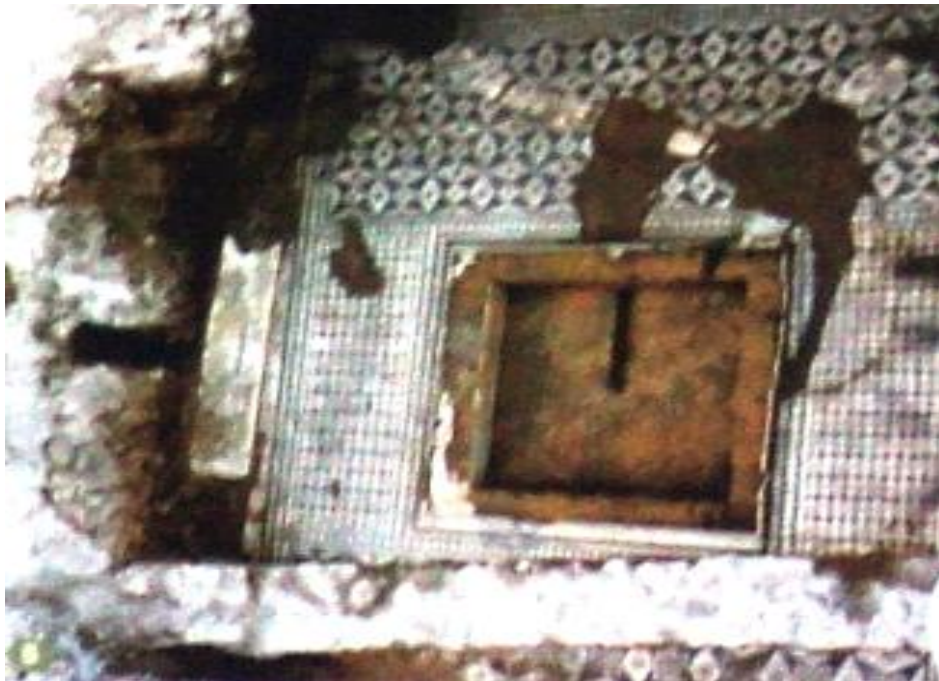
β) αγωγοί πήλινοι



Εικόνα 2. 40 α) μέρος δημοσίου κτιρίου



β) μέρος δημοσίου κτιρίου



Εικόνα 2. 41 Μέρος ιδιωτικού κτιρίου

αποτελούμενη από επάλληλη διπλή τοξοστοιχία με ισχυρές αντηρίδες (εικόνα 2.45).



Εικόνα 2. 44 Κοιλάδα της Αρόης



Εικόνα 2. 45 Ρωμαϊκή Υδρογέφυρα

Σύμφωνα με τους περιηγητές, η διπλή τοξοστοιχία διασωζόταν σε καλή κατάσταση έως τα τέλη το 17^{ου} αιώνα. Εκτός από το οργανωμένο δίκτυο ύδρευσης, μέρος των αναγκών του πληθυσμού εξυπηρετούσαν τα φρεάτια και οι δεξαμενές που συνέλεγαν τα όμβρια ύδατα (εικόνα 2.46 α-β, εικόνα 2,47α).



Εικόνα 2. 46 α) Φρεάτιο



β) Δεξαμενή



Εικόνα 2. 47 α) Φρέατιο

β) Δεξαμενή

Η Πρωτοβυζαντινή Πάτρα οικοδομήθηκε πάνω στον πολεοδομικό ιστό της αρχαίας και ρωμαϊκής πόλης διατηρώντας τα κύρια σημεία αναφοράς της (ακρόπολης, αγορά, νεκροταφεία, λιμάνι, βασικοί οδικοί άξονες). Ίδιο παραμένει το υδροδοτικό της σύστημα (εικόνα 2.48).

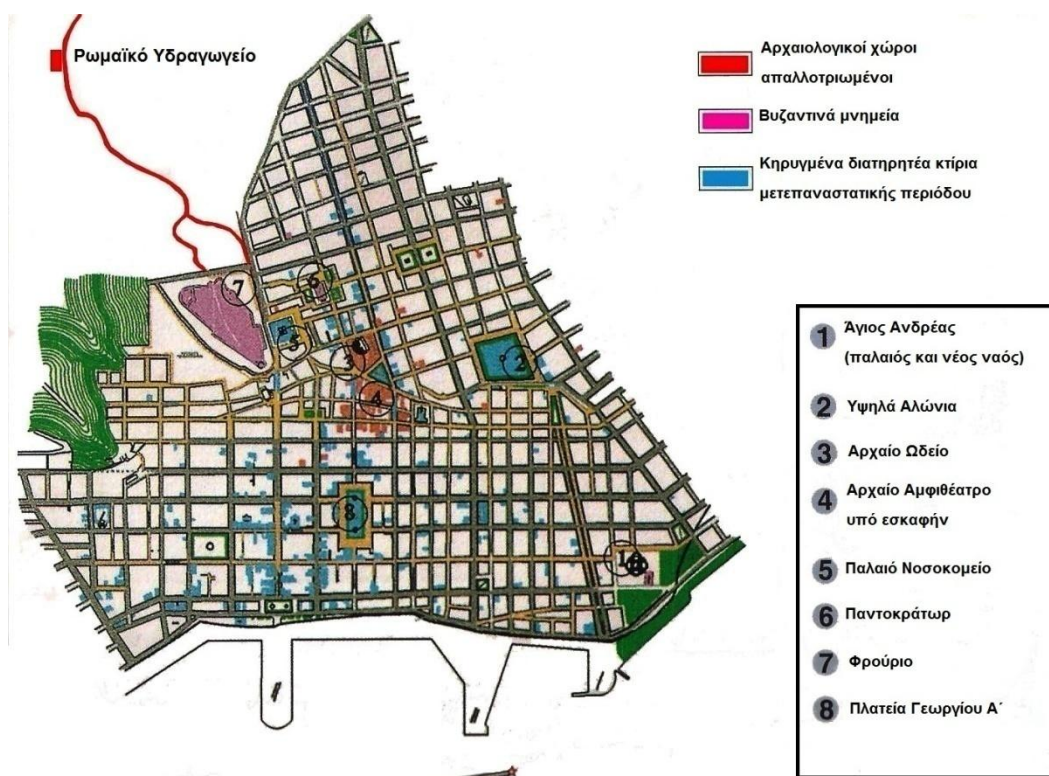


Εικόνα 2. 48 Υδροδοτικό σύστημα

Το Ρωμαϊκό υδραγωγείο ήταν σε χρήση σε όλη τη διάρκεια της Βυζαντινής περιόδου και μόνο νέες θολοσκέπαστες κιστέρες (δεξαμενές) κτίστηκαν στην πόλη. Το 1458 η Πάτρα καταλείφθηκε από τους Οθωμανούς και ακλούθησε περίοδος ειρήνης. Η Πάτρα συρρικνώθηκε σε έκταση

παραμένοντας το μεγαλύτερο εμπορικό κέντρο της Πελοποννήσου. Σύμφωνα με τις πηγές, στην διάρκεια της Οθωμανικής περιόδου η Πάτρα είχε άφθονα τρεχούμενα νερά, πολλές κρήνες, 40 χαμάμ, σπίτια με κήπους και πηγάδια.

Στο δεύτερο μισό του 15^{ου} αιώνα στην κοιλάδα της Αρόης κτίστηκε μια νέα ισχυρή υδρογέφυρας (το Μεσαιωνικό υδραγωγείο) πάνω στην οποία έβαινε ανοιχτός κτιστός υδραύλακας. Η γεινίαση με την ρωμαϊκή Υδρογέφυρα (εικόνα 9) και η κατεύθυνση της προς την ανατολική πλευρά της πόλης και το Κάστρο, δηλώνουν ότι μετέφερε νερό από τον ίδιο τόπο υδροληψίας. Είναι γνωστό, προς το παρόν, αν εξυπηρετούσε τις ανάγκες μόνο του αυξημένου πληθυσμού μέσα στο Κάστρο ή και σε όλη της πόλης λόγω της πιθανής διακοπής λειτουργίας της Ρωμαϊκής Υδρογέφυρας ας' αιτίας απόφραξης ή καταστροφής. Το τμήμα του Μεσαιωνικού υδραγωγείου είναι αδιευκρίνιστο για πόσο χρονικό διάστημα λειτουργούσε, είτε συμπληρωματικά με το Ρωμαϊκό ή αντικαθιστώντας το¹⁷.



Εικόνα 2. 49 Χάρτης ιστορικού κέντρου Πατρών και η πορεία των αγωγών ύδρευσης στο κάστρο και στην πόλη.

Βιβλιογραφία – Πηγές

- 1 <http://greece.kiev.ua/page1088.html>
- 2 <http://sfrang.com/historia/selida204.htm>
- 3 <http://www.romanaqueducts.info/apra/apraindex.htm>
- 4 <http://phdtheses.ekt.gr/eadd/handle/10442/15413>
- 5 <http://www.e-patras.gr/portal/web/common/461>
- 6 <http://monuments.hpclab.ceid.upatras.gr/monuments.php?monument=166>
- 7 ΒΙΤΡΟΥΒΙΟΣ: ΔΕΚΑ ΒΙΒΛΙΑ/ Εκδοτικός οίκος Παρατηρητής. Πηγές διαδίκτυο:
http://www.romanaqueducts.info/picturedictionary/pd_onderwerpen/basin.htm
http://www.romanaqueducts.info/picturedictionary/pd_onderwerpen/source.htm
http://www.romanaqueducts.info/picturedictionary/pd_onderwerpen/tunnel.htm
http://www.romanaqueducts.info/picturedictionary/pd_onderwerpen/bridge.htm
http://www.romanaqueducts.info/picturedictionary/pd_onderwerpen/siphon.htm
http://www.romanaqueducts.info/picturedictionary/pd_onderwerpen/construction.htm
http://www.romanaqueducts.info/picturedictionary/pd_onderwerpen/distribution.htm
http://www.romanaqueducts.info/picturedictionary/pd_onderwerpen/pipe.htm
<http://www.dl.ket.org/latin2/mores/aqua/homsec2.htm>
- 8 <http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/handle/123456789/103>
- 9 <http://phdtheses.ekt.gr/eadd/handle/10442/15413>
- 10 <http://www.constructionequipmentguide.com/Experts-Reveal-Secret-Recipe-of-Roman-Concrete/3006/>
- 11 <http://spqrlive.com/#/construction-1/4537077453>
- 12 <http://artehistoriaestudios.blogspot.com/2011/06/arqueologia-roma-las-tecnicas-de.html>
- 13 <http://www.nea-acropoli-larisas.gr/magazine/54/149>
- 14 ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ Χ.Θ. ΜΠΟΥΡΑΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ, ΑΘΗΝΑ 1999. Πηγή: <http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/handle/123456789/103>
- 15 <http://spqrlive.com/#/construction-1/4537077453>
<http://www.joostdevree.nl/shtmls/aqueduct.shtml>
- 16 <http://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.04.0064:entry=patrae-geo>
- 17 ΠΗΓΗ: ΑΙΘΟΥΣΑ ΠΡΟΒΟΛΩΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ «ΡΩΜΑΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ»

Βιβλιογραφία

1. K. Andrews, Castles of the Morea, Prince-ton, N. Jersey 1953, σ. 116-129, 244.
2. Αρχαιολογικόν Δελτίον, Χρονικά, 19(1964), σ. 183· 26 (1971), σ. 16327 (1972), σ. 295· 28 (1973), σ. 229- 29 (1973-74), σ. 410- 47 (1992), σ. 159" 48 (1993), σ. 156· 49 (1994), σ. 272.
3. Α. Βοή, Le Peloponnese byzantin jusque en 1204, Paris 1951, σποραδικά.
4. Bon, La Moree franque, Paris 1969, σποραδικά.
5. Λ. Βρεττός, Το Κάστρο της Πάτρας, Πάτρα 1993.
6. Μ. Γεωργοπούλου - Βέρρα, Η πρώτη οικοδομική φάση του Κάστρου της Πάτρας, Πρωτοβυζαντινή Μεσσήνη και Ολυμπία. Αστικός και αγροτικός χώρος στη Δυτική Πελοπόννησο, Μάιος 1998, Ινστιτούτο Βυζαντινών Ερευνών, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών - Εταιρεία Μεσσηνιακών Αρχαιολογικών Σπουδών, Πρακτικά (υπό εκτύπωση).
7. Μ. Γεωργοπούλου - Βέρρα, Η χριστιανική Πάτρα και τα μνημεία της, Πολιτισμική φυσιογνωμία της Πάτρας (έκδ. Πανεπιστημίου Πατρών), Πάτρα 1997, σ. 35 κ.ε.
8. Λ. Έβερτ - Ε. Καρποδίνη - Δημητριάδη, Κάστρα της Πελοποννήσου, Αθήνα 1993, σ. 220-229.
9. Σ. Θωμόπουλος, Ιστορία της πόλεως των Πατρών, Πάτρα 1950
10. W. Miller, Ιστορία της Φραγκοκρατίας στην Ελλάδα, 1204-1566, Αθήναι 1960.
11. Α. Μουτζάλη, Η πόλη των Πατρών κατά την πρωτοβυζαντινή περίοδο, Μελετήματα 13, Αθήνα 1991, σ. 259-264.
12. Α. Μουτζάλη, Τοπογραφικά της Μεσαιωνικής Πάτρας, Αντίφωνον, Αφιέρωμα στον καθηγητή Ν.Β. Δρανδάκη, Θεσσαλονίκη 1994, σ. 132
13. Α. Μουτζάλη, Η πόλη των Πατρών κατά τον 6ο και 7ο αιώνα. Η μυθολογία της εγκατάλειψης, Πρωτοβυζαντινή Μεσσήνη και Ολυμπία.
14. Αστικός και αγροτικός χώρος στη Δυτική Πελοπόννησο, Μάιος 1998, 16
15. Ινστιτούτο Βυζαντινών Ερευνών, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών - Εταιρεία Μεσσηνιακών Αρχαιολογικών Σπουδών, Πρακτικά (υπό εκτύπωση).
16. Ν. Παπαχατζής, Πανσανίου, Ελλάδος Περιήγησις, Αχαϊκά, Αθήνα 1980.
17. Κ. Σιμόπουλος, Ξένοι περιηγητές στην Ελλάδα, Αθήναι 1984-1988, τόμ. 4ος, σποραδικά.
18. Ι. Σφηκόπουλος, Τα μεσαιωνικά κάστρα του Μωρία, Αθήναι 1968, σ. 148-155.
19. Α. Ταρσούλη, Κάστρα και πολιτείες του Μωρία, Αθήναι 1971, σ. 103-122.
20. Κ. Τριαντάφυλλου, Ιστορικών Λεξικών των Πατρών, Patras 1980
21. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΡΙΖΑΚΗΣ Επιφανειακή αρχαιολογική έρευνα στην Πατραϊκή: Η πόλη και η χώρα της Πάτρας κατά την αυτοκρατορική περίοδο Α' ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΝΟΔΟΣ ΝΟΤΙΑΣ ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ ΠΡΑΚΤΙΚΑ
22. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΡΙΖΑΚΗΣ ΤΟΜΟΣ ΤΙΜΗΤΙΚΟΣ Κ.Ν. ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ, Ο ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ, Η ΝΕΑ ΡΩΜΑΙΚΗ ΤΑΞΗ ΚΑΙ Η ΑΠΟΙΚΙΑ ΤΗΣ ΠΑΤΡΑΣ.(ΑΝΑΤΥΠΟΝ) ΠΑΤΡΑΙ 1993
23. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΡΙΖΑΚΗΣ ΚΕΝΤΡΟ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΡΩΜΑΙΚΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΟΣ ΕΘΝΙΚΟΝ ΙΔΡΥΜΑ ΕΡΕΥΝΩΝ ΜΕΛΕΤΗΜΑΤΑ 13 ΑΡΧΑΙΑ ΑΧΑΙΑ ΚΑΙ ΗΛΕΙΑ ΑΘΗΝΑ 1991

24. COLONIA AUGUSTA ACHAICA PATRENSIS «ψευδο-αυτόνομα» νομίσματα της Πάτρας από τις ανασκαφές. ΠΗΝΕΛΟΠΗ ΑΓΑΛΛΟΠΟΥΛΟΥ
25. Α. Μουτζάλη, Στοιχεία πολεοδομικής εξέλιξης της βυζαντινής Πάτρας.
26. ANNA I. ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΥ -ΑΦΕΝΤΡΑ Γ. ΜΟΥΤΖΑΛΗ ΠΡΩΤΟΒΥΖΑΝΤΙΝΟ ΛΟΥΤΡΟ ΣΤΗΝ ΠΑΤΡΑ ΤΕΚΜΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟΥΣ ΣΚΟΤΕΙΝΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ.
27. ΜΙΧΑΛΗΣ ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΤΗΣ ΧΩΡΑΣ ΤΩΝ ΠΑΤΡΩΝ.
28. ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ ΚΥΡΙΑΚΗ 28 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 1996 Αφιέρωμα Τα νέα ευρήματα από την Πελοπόννησο.
29. Κωνσταντίνα Ακτύπη Παρατηρήσεις στα τοπογραφικά δεδομένα της δυτικής Αχαΐας κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού. Χερσαίοι και θαλάσσιοι δρόμοι επικοινωνίας.
30. ANNA ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΥ ΤΟ ΑΧΑΪΚΟΝ ΡΗΓΙΟΝ (ΒΕΛΒΙΣΚΟΝ): ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΕ ΤΕΣΣΕΡΑ ΜΕΣΑΙΩΝΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ ΣΤΟΝ ΣΤΡΑΒΩΝΑ
31. **ΜΕΛΕΤΗΜΑΤΑ 31 ROMAN PELOPONNESE I ROMAN PERSONAL NAMES IN THEIR SOCIAL CONTEXT** A.D. RIZAKIS and S. ZOUMBAKI with the collaboration of M. KANTIREA

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΡΩΜΑΙΚΟΥ ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΑΤΡΑ

3.1 Εισαγωγή

Η αποτύπωση στη γενική της έννοια εκφράζεται σε τρεις κατηγορίες θεμάτων.

Α) Άμεση αποτύπωση η οποία αναφέρεται σε κάτι που υπάρχει π.χ. κτίρια, δρόμοι κλπ.

Β) Αποτύπωση του χθες η οποία είναι έμμεση αποτύπωση και αναφέρεται σε κάτι που υπήρχε και δεν υπάρχει πια π.χ. μνημεία, αρχαίες πόλεις κλπ.

Γ) Αποτύπωση του αύριο η οποία βασίζεται στην απεικόνιση κάποιου μελλοντικού αντικειμένου που δεν υπάρχει αλλά πρόκειται να κατασκευαστεί π.χ. εκσκαφές, εξωτερικοί χώροι κλπ.

Οι μέθοδοι αποτύπωσης διακρίνονται σε α) *τοπογραφία* που βασίζεται σε άμεσες μετρήσεις του αντικειμένου μέσω ειδικών οργάνων όπως ο θεοδόλιχος, οι γεωδαιτική σταθμοί και τα GPs β) στην *φωτογραμμετρία* που βασίζεται στη φωτογραφία και η οποία χωρίζεται σε επίγεια και εναέρια φωτογραμμετρία και γ) *μοντελοποίηση* (2D και 3D) που βασίζεται σε συστήματα υπολογιστών και χρήση πολυμέσων.

3.2 Φωτογραμμετρικές μέθοδοι

Η *φωτογραμμετρία* είναι η Τέχνη, η Επιστήμη και η Τεχνική που σκοπό έχει την εξαγωγή αξιόπιστης μετρικής πληροφορίας φυσικών αντικειμένων και του περιβάλλοντος μέσω των διαδικασιών της καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων και άλλων πρότυπων.

3.2.1 Ιστορικά στοιχεία

Η ιστορία της Φωτογραμμετρίας ξεκινάει από πολύ παλιά. Εμπνευστής της χρήσης της φωτογραφίας για την τεκμηρίωση των αρχιτεκτονικών κατασκευών σημαντικής πολιτιστικής αξίας, ήταν ο Albrecht Meydenbauer,

γερμανός αρχιτέκτων που στα 1858 μετά από ένα ατύχημα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων που έκανε στον καθεδρικό ναό της πόλης Wetzlar και μπορούσε να στοιχίσει τη ζωή του, σκέφτηκε ότι θα μπορούσαν οι μετρήσεις στην όψη ενός κτηρίου να πραγματοποιηθούν με έμμεσο τρόπο και όχι απ' ευθείας. Ο καλύτερος τρόπος για την εξαγωγή των μετρήσεων έμμεσα ήταν με χρήση φωτογραφικής εικόνας. Οι κοινές φωτογραφικές μηχανές της εποχής δεν ήταν σε θέση να αποδώσουν ορθά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων και για το λόγο αυτό αποφάσισε να κατασκευάσει μια φωτογραφική μηχανή που θα ενσωμάτωνε και μια μετρητική συσκευή ικανή να δώσει εκτός από την εικόνα του αντικειμένου και κάποια γεωμετρική πληροφορία του. Η συσκευή αυτή κατασκευάστηκε το 1867 και αποτελούνταν από ένα ευρυγώνιο φακό (εστιακής απόστασης 25cm) με μέγεθος αρνητικού 30x30cm. Ο Meydenbauer έδωσε το όνομα στην επιστήμη που ονομάστηκε φωτογραμμετρία και προέρχεται από τρεις ελληνικές λέξεις: «Φως – γραμμή – μέτρηση» που περιγράφουν πολύ λιτά την ιδιότητα που έχει το φως να πορεύεται πάντα σε ευθεία γραμμή και να μπορεί να δίνει μετρήσεις κάνοντας χρήση αυτής της ιδιότητας.

Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα και Χαρακτηριστικά

Τα κύρια χαρακτηριστικά της Φωτογραμμετρικής Μεθοδολογίας αποτύπωσης είναι:

- Η αποτύπωση είναι αντικειμενική
- Ορίζεται σύστημα αναφοράς.
- Η ανακατασκευή των γεωμετριών του αντικειμένου, στο χώρο, γίνεται μέσω συνεχούς απόδοσης ή και σημειακής.
- Υπάρχει δυνατότητα επιστημονικού ελέγχου του αποτελέσματος ως προς την ακρίβεια και αξιοπιστία.
- Υπάρχει δυνατότητα έμμεσων μετρήσεων.

- Μπορεί να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες της νέας σχεδιαστικής τεχνολογίας (π.χ. CAD), αλλά και της ψηφιακής τεχνολογίας ανάλυσης εικόνας (image processing). Επιπλέον είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν εύκολα οι νέες ολοκληρωμένες τεχνικές ψηφιακής τεκμηρίωσης (αλφαριθμητικά, γραφικά και σε εικόνες). Αντιμετωπίζονται άμεσα λεπτομέρειες και πολύπλοκα αρχιτεκτονικά ή δύσκολα προσπελάσιμα στοιχεία.
- Στη διαδικασία των φωτογραμμετρικών αποτυπώσεων ενσωματώνεται εύκολα η λογική της διαχρονικής παρακολούθησης της δυναμικής συμπεριφοράς του αντικειμένου, καθώς είναι εύκολη και "πληθωρική" η συλλογή δεδομένων.
- Γίνεται άμεση ανακατασκευή της στερεομετρίας του αντικειμένου.
- Αξιοποιούνται γεωμετρικές ιδιότητες (π.χ. σημεία φυγής, προοπτικότητα, κλπ.) τα οποία διευκολύνουν ή και πλουτίζουν τις επεξεργασίες.
- Η αλγοριθμική επεξεργασία των δεδομένων είναι δύσκολη.
- Υπάρχει ανάγκη για πρόσθετες εργασίες της τοπογραφικής μεθόδου (στις περιπτώσεις χρήσης φωτοσταθερών ή τοποθέτησης του αντικειμένου σε αμοιβαία σχέση με άλλα αντικείμενα)
- Ο εξοπλισμός πεδίου είναι από χαμηλού κόστους μέχρι μέτριου.
- Ο απαραίτητος εξοπλισμός για τις επεξεργασίες γραφείου είναι εξειδικευμένος είτε μέτριου είτε υψηλού κόστους. Η φωτογραμμετρία ανάλογα με τον τρόπο του υπολογισμού και τον αριθμό των συντεταγμένων των σημείων των λεπτομερειών διακρίνεται σε μονοσκοπική και σε στερεοσκοπική φωτογραμμετρία και ανάλογα με τη θέση της φωτομηχανής, σχετικά με το αντικείμενο, σε επίγεια και εναέρια.

3.2.2 Στάδια εξέλιξης της φωτογραμμετρίας

Τα σημαντικότερα στάδια εξέλιξης της φωτογραμμετρίας ήταν:

- *Αναλογική φωτογραμμετρία*, όπου με χρήση των οπτικομηχανικών μέσων κατέστη δυνατή η εξαγωγή της θέσης στις τρεις διαστάσεις και των λεπτομερειών ενός εικονιζόμενου αντικειμένου που εικονίζεται σε ένα στερεοζεύγος φωτογραφιών που έχουν ληφθεί από διαφορετικές θέσεις με σημαντική επικάλυψη.
- *Αναλυτική φωτογραμμετρία*, όπου οι φωτογραμμετρικές διαδικασίες γίνονται με υπολογιστικά μέσα και για πρώτη φορά χρησιμοποιούνται Η/Υ για τον υπολογισμό των παραμέτρων των φωτογραφικών εικόνων και των προσανατολισμών τους, καθώς και για τον προσδιορισμό στον τρισδιάστατο χώρο της θέσης των λεπτομερειών των αντικειμένων.
- *Ψηφιακή φωτογραμμετρία*, όπου σταματά η επεξεργασία των αναλογικών φωτογραφιών και η επεξεργασία γίνεται με υπολογιστικά μέσα σε ψηφιακές απεικονίσεις (σκαναρισμένες εικόνες ή πρωτογενείς ψηφιακές εικόνες) όχι μόνο του ορατού φάσματος της Η/Μ ακτινοβολίας, αλλά και άλλων προτύπων της όπως πχ. στο μήκος κύματος των μικροκυμάτων, υπέρυθρων ακτινών κλπ.

3.2.3 Συστήματα Συντεταγμένων

Προτού αναλυθεί το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει τη βασική επεξεργασία της στερεοσκοπικής φωτογραμμετρίας θα γίνει μια μικρή αναφορά στα διάφορα συστήματα συντεταγμένων που συμμετέχουν στην φωτογραμμετρική επεξεργασία (του τρισδιάστατου χώρου, του φωτογραφικού επιπέδου και της φωτογραφικής εικόνας) και της σχέσης που τα συνδέει.

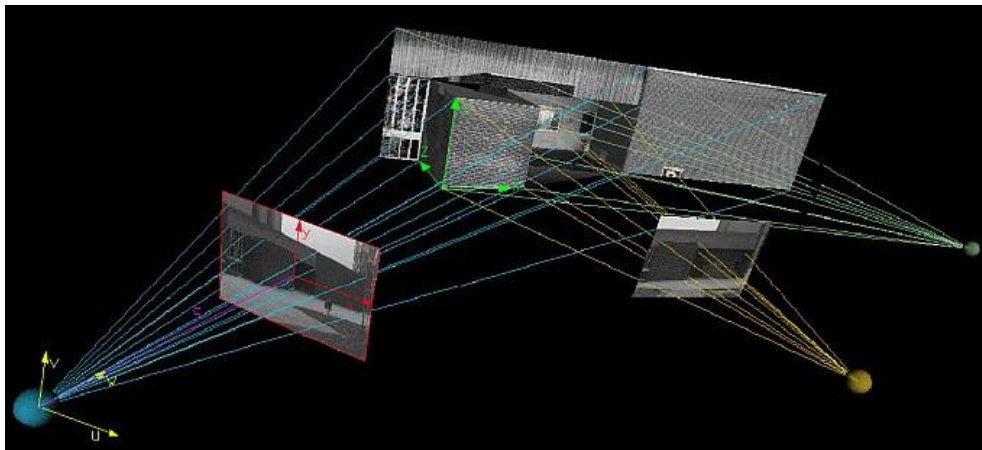
3.2.3.1 Σύστημα συντεταγμένων του φωτογραφικού επιπέδου

Η μέτρηση των συντεταγμένων των εικονιζόμενων σημείων σε μια φωτογραμμετρική εικόνα γίνεται στο σύστημα της φωτογραφίας ή αλλιώς του φωτογραφικού επιπέδου. Πρόκειται για ένα 2D (x,y) σύστημα συντεταγμένων που σαν αρχή έχει το κέντρο της εικόνας ή μάλλον την προβολή του κέντρου (x₀,y₀) των φακών της φωτομηχανής στο επίπεδο του αρνητικού ή του

ψηφιακού αισθητήρα. Το κέντρο των φακών αποτελεί και το κέντρο προβολής από το οποίο διέρχονται όλες οι οπτικές γραμμές που αποτυπώνουν τα αντικείμενα του 3D χώρου στον 2D χώρο του φωτογραφικού επιπέδου. Οι μετρήσεις στο φωτογραφικό επίπεδο ανάγονται μετά από κατάλληλη επεξεργασία στον υπολογισμό των 3D συντεταγμένων των τρισδιάστατων αντικειμένων της φωτογραφίας.

3.2.3.2 Σύστημα συντεταγμένων της φωτομηχανής.

Πρόκειται για ένα 3D σύστημα συντεταγμένων που έχει σαν αρχή το κέντρο των φακών με τον άξονα του βάθους W κάθετο προς το φωτογραφικό επίπεδο και τους άξονες U, V παράλληλους προς τους άξονες x, y του συστήματος συντεταγμένων του φωτογραφικού επιπέδου.



Εικόνα 3. 3 Φωτογραμμετρικά συστήματα μέτρησης συντεταγμένων

Σύστημα συντεταγμένων του 3D χώρου.

Πρόκειται για ένα σύστημα συντεταγμένων (X, Y, Z) που υλοποιείται από το τοπογραφικό όργανο και τις μετρήσεις των φωτοσταθερών που εικονίζονται στις φωτογραμμετρικές εικόνες. Η σύνδεση μεταξύ του επίγειου συστήματος συντεταγμένων και του συστήματος συντεταγμένων της φωτομηχανής προκύπτει αν υποθέσουμε ότι για τη μετάβαση από το ένα σύστημα στο άλλο αρκεί να γίνουν τρεις μεταθέσεις (παράλληλα προς τους τρεις άξονες X_0, Y_0, Z_0 που ορίζουν στο επίγειο σύστημα τις συντεταγμένες του κέντρου των φακών και αρχή του 3D συστήματος συντεταγμένων της φωτομηχανής),

τρεις στροφές (ω , ϕ , κ γύρω από κάθε άξονα) και μία μεταβολή της κλίμακας των μετρήσεων. Σε μορφή πινάκων η σχέση ορίζεται από τη μορφή:

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = \lambda \cdot R(\omega, \phi, \kappa) \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

όπου $R(\omega, \phi, \kappa)$ είναι ένα μητρώο 3×3 που αποτελείται από αθροίσματα τριγωνομετρικών συναρτήσεων των γωνιών στροφής ω , ϕ και κ των αξόνων X, Y, Z ώστε να συμπέσουν με τους άξονες U, V, W και λ είναι ο συντελεστής κλίμακας της σμίκρυνσης των ειδώλων στη φωτογραφία. Κάθε σημείο που μετράται στην εικόνα στο σύστημα συντεταγμένων της φωτογραφικής μηχανής (U, V, W) έχει σταθερή συντεταγμένη βάθους

$$W = -c$$

όπου c είναι η εστιακή απόσταση της φωτογραφικής μηχανής, δηλαδή η απόσταση του κέντρου των φακών της από το φωτογραφικό επίπεδο και (x_0, y_0) η προβολή του κέντρου των φακών στο φωτογραφικό επίπεδο. Οι παράμετροι (c, x_0, y_0) μαζί με τις διαστάσεις του αρνητικού ή του ψηφιακού αισθητήρα ορίζουν τις παραμέτρους της εσωτερικής γεωμετρίας της φωτομηχανής. Ο προσδιορισμός των παραμέτρων της εσωτερικής γεωμετρίας της φωτομηχανής ονομάζεται εσωτερικός προσανατολισμός. Αντίθετα η θέση (X_0, Y_0, Z_0) του κέντρου των φακών και οι στροφές (ω, ϕ, κ) των αξόνων του επίγειου συστήματος για να συμπέσουν με τους άξονες του συστήματος συντεταγμένων της φωτομηχανής, αποτελούν στοιχεία της θέσης και προσανατολισμού της φωτογραφικής λήψης στο επίγειο σύστημα συντεταγμένων και ο προσδιορισμός των 6 αυτών παραμέτρων ονομάζεται εξωτερικός προσανατολισμός. Η σχέση (1) μετατρέπεται στη μορφή:

$$\begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -c \end{bmatrix} = \lambda \cdot R(\omega, \phi, \kappa) \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

λόγω της παραλληλίας των αξόνων U,V του συστήματος της φωτογραφικής μηχανής με τους x,y του φωτογραφικού επιπέδου.

Από τις τρεις εξισώσεις που προκύπτουν μπορούμε να οδηγηθούμε με διαίρεση των δύο πρώτων από την τρίτη σε ένα σύστημα δύο εξισώσεων απαλείφοντας με τον τρόπο αυτό το συντελεστή κλίμακας λ, που χαρακτηρίζονται ως εξισώσεις συγγραμικότητας και είναι η βάση της στερεοσκοπικής φωτογραμμετρικής επεξεργασίας:

$$x = x_0 - c \cdot \frac{(X - X_0) \cdot R_{11} + (Y - Y_0) \cdot R_{12} + (Z - Z_0) \cdot R_{13}}{(X - X_0) \cdot R_{31} + (Y - Y_0) \cdot R_{32} + (Z - Z_0) \cdot R_{33}} \quad (3)$$

$$y = y_0 - c \cdot \frac{(X - X_0) \cdot R_{21} + (Y - Y_0) \cdot R_{22} + (Z - Z_0) \cdot R_{23}}{(X - X_0) \cdot R_{31} + (Y - Y_0) \cdot R_{32} + (Z - Z_0) \cdot R_{33}}$$

Οι σχέσεις αυτές συνδέουν τις φωτογραφικές συντεταγμένες (x,y) της εικόνας ενός σημείου στο φωτογραφικό επίπεδο, με τις επίγειες συντεταγμένες του (X,Y,Z) μέσω των στοιχείων της εσωτερικής γεωμετρίας της φωτομηχανής (c,x₀,y₀) και των συντεταγμένων στάσης (X₀,Y₀,Z₀) της φωτογραφικής μηχανής στο επίγειο σύστημα συντεταγμένων και των γωνιών στροφής ανάμεσα στα δύο τρισδιάστατα συστήματα συντεταγμένων (στοιχεία εξωτερικού προσανατολισμού).

Στερεοσκοπική Φωτογραμμετρία

Με χρήση δυο εικόνων δηλαδή μέτρηση των εικονοσυντεταγμένων x,y του ίδιου σημείου σε δύο εικόνες (που ονομάζονται ομόλογα σημεία), προκύπτουν δύο ζεύγη εξισώσεων της παραπάνω μορφής (3) που μπορούν να λυθούν με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και να εξαγάγουν τη θέση του σημείου στο χώρο, δηλαδή τις συντεταγμένες X,Y,Z. Η τεχνική αυτή ονομάζεται φωτογραμμετρική εμπροσθοτομία κατά αντιστοιχία της τοπογραφικής εμπροσθοτομίας. Βασική προϋπόθεση για την επίλυση της

φωτογραμμετρικής εμπροσθοτομίας είναι να έχει προσδιοριστεί προηγουμένως η θέση και στροφή της φωτομηχανής (δηλαδή η σχέση των αξόνων της φωτομηχανής με τους άξονες του επίγειου συστήματος συντεταγμένων). Ο προσδιορισμός της θέσης των φωτογραφικών στάσεων και των γωνιών στροφής των αξόνων ονομάζεται φωτογραμμετρική οπισθοτομία και είναι δυνατόν να γίνει και πάλι με επίλυση εξισώσεων της μορφής (1) εφόσον είναι γνωστή η θέση τριών τουλάχιστον σημείων που εικονίζονται σε κάθε εικόνα στο τρισσορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων του εδάφους. Η επάρκεια των τριών σημείων για την επίλυση της φωτογραμμετρικής οπισθοτομίας οφείλεται στο γεγονός ότι οι έξι άγνωστοι παράμετροι του προσανατολισμού των εικόνων $X, Y, Z, \omega, \phi, \kappa$ μπορούν να υπολογιστούν, καθώς κάθε ένα από τα τρία σημεία συνεισφέρει στο προς επίλυση σύστημα εξισώσεων με 2 εξισώσεις, άρα συνολικά έχουμε 6 εξισώσεις για 6 αγνώστους.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της στερεοσκοπικής φωτογραμμετρίας οφείλεται στην τρισδιάστατη όραση και παρατήρηση των λεπτομερειών της επικαλυπτόμενης περιοχής του τρισδιάστατου χώρου στις δύο εικόνες σε εξειδικευμένους Η/Υ που ονομάζονται Ψηφιακοί Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί (ΨΦΣ). Η παρουσίαση γίνεται μέσω ενός συστήματος στερεοσκοπικής όρασης του στερεοζεύγους και μετρήσεων, όπου μετά από κατάλληλη επεξεργασία που ονομάζεται σχετικός προσανατολισμός και κατόπιν της δημιουργίας κατάλληλων εικόνων (επιπολικές εικόνες) είναι δυνατή η τρισδιάστατη όραση του συνόλου των λεπτομερειών της επικαλυπτόμενης περιοχής των εικόνων του στερεοζεύγους. Η μέτρηση των σημείων μέσω του τρισδιάστατου συστήματος εξασφαλίζει:

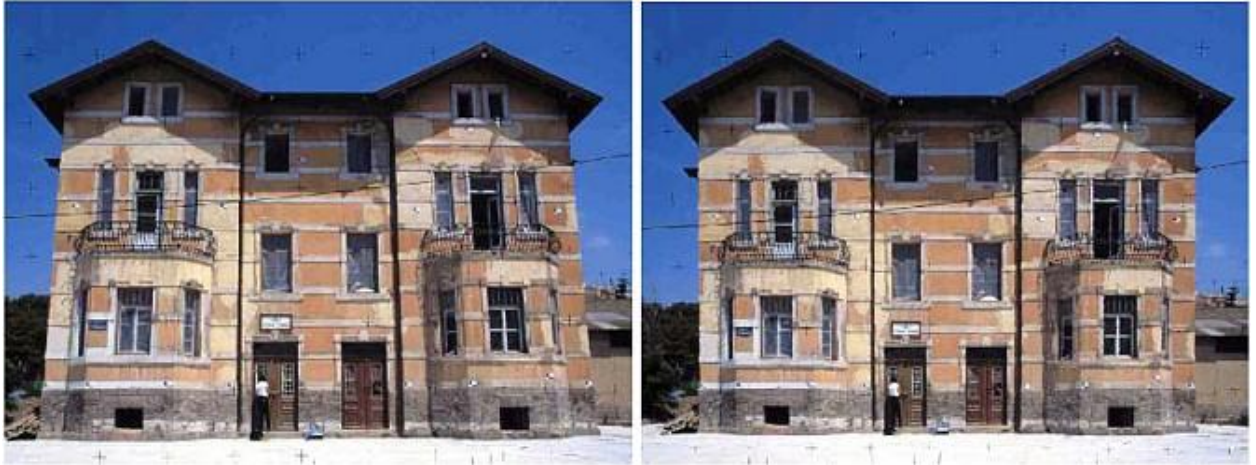
- μεγαλύτερη ακρίβεια μετρήσεων,
- συντομότερη επεξεργασία με τη μέτρηση δύο ομόλογων σημείων ταυτόχρονα σε δύο διαφορετικές εικόνες και
- αποφυγή χονδροειδών σφαλμάτων από λανθασμένη επιλογή παρόμοιων, αλλά διαφορετικών σημείων στις δύο εικόνες.

Μονοσκοπική φωτογραμμετρία

Σε μερικές περιπτώσεις η απλότητα της γεωμετρίας ενός αντικειμένου μπορεί να οδηγήσει σε χρήση μίας μόνο φωτογραμμετρικής εικόνας για τον προσδιορισμό της θέσης των εικονιζόμενων λεπτομερειών. Σε ένα κτίριο, για παράδειγμα, όλα τα χαρακτηριστικά σημεία μιας όψης βρίσκονται σε ένα κατακόρυφο επίπεδο οπότε, αν θεωρήσουμε ότι η μια από τις τρεις συντεταγμένες του επίγειου συστήματος είναι το βάθος κάθετα στο κατακόρυφο αυτό επίπεδο, προκύπτει ότι για κάθε σημείο λεπτομερειών υπάρχουν μόνο δύο άγνωστες τιμές συντεταγμένων δηλ. η απόσταση οριζόντια και κάθετα επάνω στην όψη του. Μαθηματικά η σχέση που συνδέει το κατακόρυφο επίπεδο της όψης π.χ. ενός κτιρίου και της φωτογραμμετρικής εικόνας του ορίζεται από τις σχέσεις:

$$x = \frac{a1 \cdot X + a2 \cdot Y + a3}{c1 \cdot X + c2 \cdot Y + 1} \quad y = \frac{b1 \cdot X + b2 \cdot Y + b3}{c1 \cdot X + c2 \cdot Y + 1} \quad (4)$$

όπου x, y οι εικονοσυντεταγμένες των λεπτομερειών και X, Y οι αντίστοιχες συντεταγμένες στο επίγειο σύστημα και $a1, a2, a3, b1, b2, b3, c1, c2$ άγνωστοι παράμετροι. Αν είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι οκτώ άγνωστες παράμετροι που συνδέουν τα δύο επίπεδα (το επίπεδο της όψης και το φωτογραφικό επίπεδο στο οποίο γίνεται η καταγραφή) μπορεί να δημιουργηθεί μια εικόνα που αποτελεί την ορθή προβολή της όψης του κτιρίου, δηλαδή ένα χάρτη της όψης που κάθε σημείο του αντιστοιχεί βάσει των παραπάνω παραμέτρων σε γνωστά σημεία στο χώρο που υλοποιεί το κατακόρυφο επίπεδο. Ο προσδιορισμός των αγνώστων παραμέτρων πραγματοποιείται με την επίλυση ενός συστήματος τουλάχιστον 8 εξισώσεων, άρα αν υπάρχουν 4 τουλάχιστον γνωστά σημεία στον πραγματικό χώρο και μετρηθούν οι εικονοσυντεταγμένες τους, μπορεί να δημιουργηθεί ένα σύστημα εξισώσεων που θα οδηγεί στην εύρεση των παραπάνω τιμών. Η εικόνα που δημιουργείται ονομάζεται ανοιγμένη (διορθωμένη) και η διαδικασία ονομάζεται φωτογραμμετρική αναγωγή.



Εικόνα 3. 4 α). Αρχική εικόνα. Είναι εμφανής η παραμόρφωση που υφίσταται το κτίριο λόγω της κεντρικής προβολής. β). Τα σφάλματα λόγω κεντρικής προβολής και κλίσης έχουν απαλειφθεί. (Ορθό-εικόνα)

Η φωτογραμμετρική αναγωγή εμφανίζει αρκετά πλεονεκτήματα, καθώς μπορεί με ελάχιστο κόστος (μέτρηση ορισμένων μόνο σημείων που βρίσκονται στο οριζόντιο ή κατακόρυφο επίπεδο και μπορεί να προσδιοριστούν ακόμα και με χρήση των εμπειρικών τεχνικών αποτύπωσης) και χρόνο να δώσουν ένα προστιθέμενης αξίας προϊόν με τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Παρουσιάζει ένα συνεχές προϊόν (ίδια ποιότητα σε όλη την επιφάνεια).
- Ενσωματώνεται με μεγάλη ευκολία σε ένα σύστημα ψηφιοποίησης CAD και οδηγεί πολύ εύκολα στο γραμμικό σχέδιο του μνημείου.
- Με αναγωγή πολλών συνεχώς επικαλυπτόμενων εικόνων μπορεί να δημιουργηθεί ένα μωσαϊκό ανοιγμένων εικόνων (φωτομωσαϊκό).
- Δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις σε υλικό του Η/Υ, καθώς δεν είναι απαραίτητη η χρήση στερεοσκοπικού συστήματος παρατήρησης.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθούν φωτογραφικές εικόνες που έχουν ληφθεί από κοινές φωτογραφικές μηχανές (ακόμα και αναλογικές compact φωτογραφικές μηχανές).
- Μπορεί ακόμα και μια μετροταινία να οδηγήσει στην υλοποίηση και μέτρηση των απαιτούμενων φωτοσταθερών για την τελική αναγωγή των εικόνων.

Επίσης, είναι δυνατόν να δημιουργηθεί η ανοιγμένη εικόνα μιας φωτογραφικής λήψης έχοντας στη διάθεσή μας μία ή δύο το πολύ μετρήσεις με την προϋπόθεση ότι στην αρχική εικόνα παρουσιάζεται ένα αντικείμενο στο οποίο είναι υλοποιημένα δύο ζεύγη παράλληλων γραμμών στους άξονες του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων του χώρου. Στην περίπτωση αυτή γίνεται η χρήση των σημείων φυγής και της γεωμετρίας της κεντρικής προβολής για τον προσδιορισμό της θέσης της φωτογραφικής μηχανής σε σχέση με το αντικείμενο που εμφανίζει τα δύο ζεύγη των παράλληλων γραμμών των αξόνων. Επίσης, είναι δυνατόν να προσδιοριστούν και οι γωνίες στροφής (ω, φ, κ) που σχηματίζουν οι άξονες της φωτογραφικής μηχανής σε σχέση με το επίπεδο αναγωγής και εφόσον είναι γνωστό ένα ευθύγραμμο τμήμα που εμφανίζεται παράλληλο σε ένα από τα δύο ζεύγη των αξόνων μπορεί να προσδιοριστούν οι 8 παράμετροι της εξίσωσης (4) που οδηγούν στη δημιουργία της ανοιγμένης εικόνας. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει ανάγκη για μέτρηση φωτοσταθερών και υλοποίηση τους σε ένα 2D σύστημα συντεταγμένων. Έτσι η χρήση μιας φωτογραφικής μηχανής και μιας μετροταινίας μπορεί να οδηγήσει άμεσα και σε ελάχιστο χρόνο σε ένα προστιθέμενης αξίας φωτογραμμετρικό προϊόν που έχει τα ίδια πλεονεκτήματα με αυτά που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Ακόμα και σε περιπτώσεις που το αντικείμενο δεν είναι επίπεδο και υπάρχει ένα μικρό ανάγλυφο, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί η ψηφιακή αναγωγή των μεμονωμένων εικόνων, ακόμα και με μικρή απώλεια μέρους της ακρίβειας του τελικού προϊόντος, προκειμένου να αποφευχθεί:

- η χρήση της στερεοσκοπικής επεξεργασίας εικόνων σε ψηφιακούς φωτογραμμετρικούς σταθμούς (ή σε προγράμματα πολυεικονικών συγκλινουσών λήψεων), αλλά και
- η μέτρηση φωτοσταθερών σημείων και την υλοποίηση ενός τρισδιάστατου συστήματος αναφοράς που αναπόφευκτα θα οδηγήσει στη χρήση των ακριβών μετρητικών οργάνων.

Οι τεχνικές που περιγράφηκαν παραπάνω αποτελούν τη βάση όλων των φωτογραμμετρικών εφαρμογών που μπορούν με χρήση μιας ή περισσότερων

εικόνων να οδηγήσουν στην εξαγωγή αξιόπιστης μετρικής πληροφορίας του τρισδιάστατου χώρου.

3.2.4 Φωτογραμμετρικός Εξοπλισμός

Ο απαραίτητος υλικοτεχνικός εξοπλισμός για την εφαρμογή φωτογραμμετρικών τεχνικών, για την ψηφιοποίηση μνημείων περιλαμβάνει τόσο φωτογραφικές μηχανές όσο και μετρητικές διατάξεις και εξειδικευμένα υπολογιστικά συστήματα που ονομάζονται Ψηφιακοί Φωτογραμμετρικοί Σταθμοί, αλλά και εφαρμογές λογισμικού με δυνατότητα επεξεργασίας εικόνας και δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων από συγκλίνουσες φωτογραμμετρικές λήψεις εικόνων (convergent photogrammetry systems) ή δημιουργίας ανοιγμένων εικόνων από προγράμματα ψηφιακής αναγωγής. Ο συνδυασμός των απαιτούμενων συσκευών και προγραμμάτων που θα οδηγήσει σε βέλτιστη και οικονομικότερη ψηφιοποίηση των μνημείων εξαρτάται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του μνημείου (π.χ. τις διαστάσεις, την υφή και το ανάγλυφό του), την τελική κλίμακα και τα απαιτούμενα φωτογραμμετρικά προϊόντα απόδοσης του. Μετρικές φωτογραφικές μηχανές είναι ο τεχνικός όρος που χρησιμοποιείται για να δηλώσει τις εξειδικευμένες αναλογικές (με χρήση φιλμ) φωτογραφικές μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές πριν την εμφάνιση της ψηφιακής τεχνολογίας και των ψηφιακών αισθητήρων σε φωτογραφικές μηχανές. Η χρήση τους μάλιστα γινόταν σε ειδικά συστήματα αναλογικής επεξεργασίας (στους μονοσυγκριτές και στερεοσυγκριτές) ή αναλυτικά συστήματα (στερεοαναγωγείς). Η χρήση των συστημάτων αυτών διατηρήθηκε μέχρι και τις αρχές της προηγούμενης δεκαετίας (1990-2000), οπότε σταδιακά αντικαταστάθηκαν από τους Ψηφιακούς Φωτογραμμετρικούς Σταθμούς και τα λογισμικά συγκλίνουσας μη στερεοσκοπικής φωτογραμμετρίας ή μονοσκοπικής επεξεργασίας φωτογραμμετρικών εικόνων. Η χρήση όμως των εικόνων από μετρικές μηχανές διατηρείται ακόμη και σήμερα, καθώς με την ψηφιοποίηση των φωτογραφιών τους από μεγάλης ακρίβειας σαρωτές φωτογραφιών (ή αρνητικών) μπορεί να επεξεργαστούν σε σύγχρονα φωτογραμμετρικά συστήματα.

Οι μετρικές φωτογραφικές μηχανές διαφέρουν από τις κοινές φωτογραφικές μηχανές λόγω των υψηλών προδιαγραφών στην ποιότητα των φακών και στη σταθερότητα της εσωτερικής γεωμετρίας που αποτελεί προϋπόθεση για την επίτευξη υψηλής ακρίβειας φωτογραμμετρικών προϊόντων. Σε εφαρμογές επίγειας φωτογραμμετρίας οι φωτογραφικές μηχανές χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη διάσταση του αρνητικού και από την καλή ποιότητα των φακών που στερούνται σχεδόν κάθε παραμόρφωσης σε αντιδιαστολή με τις κοινές φωτογραφικές μηχανές που παρουσιάζουν μεγάλη παραμόρφωση ιδιαίτερα στην άκρη του format. Μια από τις πλέον συνηθισμένες φωτομηχανές που χρησιμοποιήθηκαν είναι η WILD P31 με μέγεθος αρνητικού 10x12.5 cm και η WILD P32 με μικρότερη διάσταση αρνητικού (6x12 cm). Χαρακτηριστικό στοιχείο κάθε μετρικής φωτογραφικής μηχανής είναι η σταθερή εστιακή απόσταση των φακών (δεν είναι δυνατόν να μεταβληθεί η εστιακή απόσταση ώστε να είναι περισσότερο ευδιάκριτα τα αντικείμενα και να γίνει σωστή εστίαση του ειδώλου) και η ύπαρξη ειδικών σημάδιων που ονομάζονται εικονοσήματα και χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό του συστήματος μέτρησης των συντεταγμένων επάνω στο φωτογραφικό επίπεδο. Τα εικονοσήματα είναι υλοποιημένα χαρακτηριστικά σημάδια (σταυρονήματα) σε μία γυάλινη πλάκα που παρεμβάλλεται ανάμεσα στο σύστημα των φακών και το αρνητικό. Σε κάθε έκθεση του φιλμ στο φως μαζί με το αντικείμενο αποτυπώνεται στην ίδια πάντα θέση και το σταυρόνημα καθενός από τα 4-5 εικονοσήματα που θα καθορίσουν την εσωτερική γεωμετρία της φωτομηχανής. Οι μετρικές μηχανές βαθμονομούνται πριν παραδοθούν στον τελικό τους χρήστη. Η διαδικασία βαθμονόμησης οδηγεί στον ακριβή προσδιορισμό των παραμέτρων της εσωτερικής γεωμετρίας της και πρέπει να επαναλαμβάνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα στα εργαστήρια της εταιρείας.

Η χρήση των φωτογραφικών εικόνων που προέρχονται από μια μετρική φωτογραφική μηχανή πρέπει να ψηφιοποιηθούν προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύγχρονο ψηφιακό φωτογραμμετρικό σύστημα. Η ψηφιοποίηση γίνεται από σαρωτές με ανάλυση της τάξης μέχρι και 4000dpi. Η ψηφιοποίηση είναι προτιμότερο να γίνεται απευθείας από το αρνητικό ή διαθετικό (slide) της φωτογράφισης, επειδή τυχόν εκτύπωση σε χαρτί της

φωτογραφικής εικόνας μπορεί να οδηγήσει σε παραμορφώσεις των ειδώλων και σε ενδεχόμενα σφάλματα μετρήσεων.

Εκτός από τις μετρικές κάμερες μπορεί να χρησιμοποιηθούν και οι ημιμετρικές μηχανές που μοιάζουν με τις κοινές φωτογραφικές μηχανές (μεσαίου format, με διάσταση φιλμ 6×6 cm.), στις οποίες όμως έχει προστεθεί μια γυάλινη πλάκα με ειδικά σταυρονήματα παρόμοια με αυτά των εικονοσημάτων που παίζουν τον ίδιο ρόλο (προσδιορίζουν την εσωτερική γεωμετρία της φωτογραφικής μηχανής). Τα σημάδια αυτά ονομάζονται σημεία *reseu* και απέχουν σε απόσταση 1 ή 2 cm από το αρνητικό. Η θέση τους έχει προσδιοριστεί με μεγάλη ακρίβεια επάνω στη γυάλινη πλάκα (περίπου $1 \mu\text{m}$) και επομένως εμφανίζονται σε απόλυτα προσδιορισμένες θέσεις στην εκτυπωμένη φωτογραφία, το αρνητικό ή το διαθετικό (slide). Ο φακός των ημιμετρικών φωτομηχανών έχει σταθερές προσδιορισμένες θέσεις εστίασης για τις οποίες έχει προσδιοριστεί σχεδόν απόλυτα η εστιακή τους απόσταση. Επίσης έχει εκ των προτέρων προσδιοριστεί και η παραμόρφωση που επιφέρουν σε κάθε φωτογραφία. Οι ημιμετρικές φωτομηχανές έχουν βαθμονομηθεί πριν την πώληση τους σε ειδικά εργαστήρια της κατασκευάστριας εταιρείας ώστε να προσδιοριστούν όλες οι παράμετροι παραμορφώσεις των φωτογραφικών ειδώλων κατά τη στιγμή της αποτύπωσης της φωτογραφικής εικόνας.

Ωστόσο, ακόμα και κοινές φωτογραφικές μηχανές και μάλιστα οι ψηφιακές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε φωτογραμμετρικές εφαρμογές. Οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, λόγω της απουσίας του μηχανισμού κίνησης του αρνητικού και της σταθερής θέσης του ψηφιακού αισθητήρα, μπορούν μετά από μια διαδικασία βαθμονόμησης να οδηγήσουν σε ακριβή φωτογραμμετρικά προϊόντα. Η εστιακή απόσταση που χρησιμοποιείται στις φωτογραφικές λήψεις μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια εφόσον είναι αμετάβλητη από λήψη σε λήψη (επεξεργασία στερεοζεύγους εικόνων) και υπάρχουν αρκετά σημεία ελέγχου (φωτοσταθερά) ώστε να οδηγηθούμε μέσω της διαδικασίας που ονομάζεται αυτοβαθμονόμηση στον προσδιορισμό όχι μόνο της εσωτερικής γεωμετρίας της μηχανής και των παραμέτρων ακτινικής παραμόρφωσης των φακών (παράμετροι βαθμονόμησης) αλλά και της θέσης

(εξωτερικού προσανατολισμού) στο χώρο που είναι απαραίτητη για την εξαγωγή μετρήσεων από στερεοσκοπικές φωτογραφικές εικόνες ενός στερεομοντέλου.

Οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές που προτιμώνται είναι οι dSLR (digital Single Lens Reflex) μηχανές. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και η ανταγωνιστικότητα μεταξύ των κατασκευαστριών εταιρειών έχει ωθήσει στην κατασκευή αισθητήρων υψηλής ανάλυσης και ποιότητας. Η επιλογή της φωτομηχανής που θα χρησιμοποιηθεί (μετρική, ημιμετρική, ψηφιακή, αναλογική) εξαρτάται από τη χρήση της σε στερεοσκοπική ή μονοσκοπική εφαρμογή και την απαιτούμενη τελική ακρίβεια των φωτογραμμετρικών προϊόντων. Σημαντικό ρόλο παίζει η ανάλυση του ψηφιακού αισθητήρα εφόσον είναι ψηφιακή ή το μέγεθος του format αν πρόκειται για αναλογική (μετρική, ημιμετρική ή απλή αναλογική). Η μέση κλίμακα της φωτογράφησης που συνδέεται άμεσα με την ανάλυση της φωτογραφικής εικόνας σε μονάδες εδάφους, καθορίζει και την απόσταση φωτογράφησης, δηλαδή τη μέση απόσταση του αντικειμένου από το φωτογραφικό φακό. Συνήθως η κλίμακα φωτογράφησης είναι της τάξης του 1:200 ή μεγαλύτερη με σκοπό να δημιουργηθούν φωτογραμμετρικά προϊόντα κλίμακας 1:50 ή μεγαλύτερης. Μια προσεγγιστική σχέση που δίνει την κλίμακα της φωτογράφησης προκύπτει από το λόγο της εστιακής απόστασης προς την απόσταση του φακού από το προς μελέτη αντικείμενο ($1/H = c/H$). Για μια φωτογραφική μηχανή με εστιακή απόσταση 28mm η κλίμακα φωτογράφησης 1:200 ορίζει απόσταση από το αντικείμενο περίπου $0.028 \cdot 200 = 5.6m$.

3.2.5 Γενικές παρατηρήσεις για την εφαρμογή φωτογραμμετρικών μεθόδων για την αποτύπωση μνημείων - χώρων

Η φωτογραμμετρία είναι μια επιστήμη έμμεσης μέτρησης μεγεθών ενός πραγματικού αντικειμένου μέσω της παρατήρησης της εικόνας του (ή των εικόνων του στην περίπτωση της στερεοσκοπικής φωτογραμμετρίας). Ωστόσο για την εφαρμογή της φωτογραμμετρικής εμπροσθοτομίας που οδηγεί σε υπολογισμό των συντεταγμένων πρέπει να προηγηθεί η φωτογραμμετρική οπισθοτομία. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η γνώση της θέσης τριών

τουλάχιστον σημείων στο χώρο και η παρατήρησή τους σε μία εικόνα δημιουργεί ένα σύστημα με έξι εξισώσεις και έξι αγνώστους που είναι οι παράμετροι του εξωτερικού προσανατολισμού της εικόνας, δηλαδή της θέσης της μηχανής (και συγκεκριμένα του κέντρου του φακού της) και στροφής των αξόνων της ως προς τους άξονες του επίγειου συστήματος. Τα σημεία που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης και των στροφών της φωτομηχανής και μετρώνται με μεγάλη ακρίβεια σε ένα αυθαίρετο τρισσορθογώνιο επίγειο σύστημα συντεταγμένων λέγονται φωτοσταθερά. Τα φωτοσταθερά μπορεί να είναι είτε ευδιάκριτες λεπτομέρειες (χαρακτηριστικά σημεία του κτιρίου πχ. γωνία ενός παραθύρου στην όψη ενός κτιρίου) στην επιφάνεια του αντικειμένου ή προσημασμένοι στόχοι υλοποιημένοι σε χαρτί ή άλλο φορέα (πχ. αλουμίνιο) και τοποθετημένοι πάνω στο αντικείμενο ώστε να καλύπτουν το σύνολο της περιοχής του αντικειμένου που εμφανίζεται στις εικόνες. Το επίγειο σύστημα συντεταγμένων μπορεί να είναι αυθαίρετο και υλοποιείται από τη θέση των φωτοσταθερών που είναι δυνατόν να μετρηθούν με χρήση ενός τοπογραφικού οργάνου. Η ίδια απαίτηση για την ύπαρξη φωτοσταθερών αφορά και τον προσδιορισμό των οκτώ άγνωστων παραμέτρων των εξισώσεων της μορφής (3) που εφαρμόζονται στην μονοσκοπική φωτογραμμετρία.

Είναι απαραίτητο λοιπόν για τη χρήση οποιασδήποτε φωτογραμμετρικής διαδικασίας να υπάρχει ένας ελάχιστος αριθμός μετρημένων σημείων στο χώρο που παρατηρούνται στις εικόνες. Γιατί, λοιπόν εφόσον γίνονται κάποιες μετρήσεις να μην αποτυπώνεται ολοκληρωτικά ένα αντικείμενο με χρήση κοινών τοπογραφικών οργάνων ή άλλων μετρήσεων;

Το σύνολο των μετρήσεων που γίνονται με τη βοήθεια του Η/Υ στις εικόνες είναι πολύ μεγαλύτερο από τις ελάχιστες μετρήσεις και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνονται οι μετρήσεις είναι πολύ καλύτερες. Οι συνθήκες είναι πολύ πιο ευνοϊκές όταν γίνονται στο γραφείο μπροστά στην οθόνη του Η/Υ με όλες τις ανέσεις που αυτό παρέχει (κλιματισμός, άνεση, κατάλληλος φωτισμός, κ.α.) παρά όταν γίνονται κάτω από τον καλοκαιρινό ήλιο του Αυγούστου ή κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων σε μια αρχαιολογική ανασκαφή με χρήση μετροταινίας, αλφαδολάστιχου και χωροβάτες.

Οι μετρήσεις που απαιτούνται για την φωτογραμμετρική επίλυση των εικόνων γίνονται συνήθως με τη χρήση τοπογραφικών οργάνων (γεωδαιτικών σταθμών) έτσι ώστε η ακρίβεια μέτρησης να είναι αρκετά υψηλή και της ίδιας τάξης μεγέθους με τη διάσταση της εικονοψηφίδας (pixel), στο έδαφος ώστε να μην υποβαθμίζεται η τελική ακρίβεια των φωτογραμμετρικών προϊόντων.

Εάν το μέγεθος της εικονοψηφίδας (pixel) στο έδαφος που καθορίζεται από τη μέση κλίμακα των εικόνων (δηλαδή από το λόγο της εστιακής απόστασης προς την απόσταση της επιφάνειας προς φωτογράφιση) και την ανάλυση του αισθητήρα (ή της ανάλυσης σάρωσης της φωτογραφίας ή του αρνητικού) είναι 1cm τότε η μεταβλητότητα που εκφράζει την ακρίβεια των μετρήσεων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την τιμή αυτή. Σε πολλές περιπτώσεις μεταβλητότητες πάνω από 1cm μπορεί να οδηγήσουν σε αποδεκτά φωτογραμμετρικά προϊόντα αν η τελική εκτύπωση των σχεδίων γίνεται σε τέτοια κλίμακα που το σφάλμα των μετρήσεων να μην είναι ορατό. Το μέγιστο ανεκτό σχεδιαστικό σφάλμα ενός υπό κλίμακα σχεδίου είναι της τάξης των 0.2-0.3 mm οπότε, για κλίμακα απόδοσης 1:50 το σφάλμα του 1cm οδηγεί σε σχεδιαστικό σφάλμα 0.2 mm που είναι μικρότερο του κάτω ορίου του σχεδιαστικού σφάλματος και επομένως είναι αποδεκτό. Τα σημεία που μετρώνται πρέπει να καλύπτουν όσο το δυνατόν καλύτερα το σύνολο του αντικειμένου που είναι ορατό στην επικαλυπτόμενη περιοχή του στερεοζεύγους (αν πρόκειται για στερεοσκοπική εφαρμογή) ή το κτίριο συνολικά σε μια μονοσκοπική εφαρμογή. Λόγω της χρήσης τοπογραφικών μεθόδων για τη μέτρηση των φωτοσταθερών η επιστήμη της τοπογραφίας έχει παίξει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της επιστήμης της Φωτογραμμετρίας. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι η επιστήμη της Φωτογραμμετρίας ονομάζεται και Φωτοτοπογραφία στην ελληνική ορολογία και διδάσκεται ως επί το πλείστον στα τμήματα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών των Πολυτεχνικών Σχολών της χώρας. Τα τελευταία χρόνια όμως λόγω της εξέλιξης των Η/Υ και της χρήσης τους για την επίλυση φωτογραμμετρικών προβλημάτων η Φωτογραμμετρία αποτελεί ένα κοινό τόπο μελέτης και εφαρμογών για πολλές επιστήμες κυρίως των Τμημάτων των Πολυτεχνικών Σχολών όπως πχ. Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Αρχιτεκτόνων Μηχανικών και Πολιτικών Μηχανικών. Σε πολλές περιπτώσεις

βέβαια που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους, δεν είναι απαραίτητη η χρήση ενός ακριβούς τοπογραφικού οργάνου για την συλλογή μετρήσεων για την φωτογραμμετρική επίλυση αλλά αρκούν ελάχιστες μετρήσεις αποστάσεων στην όψη ενός μνημείου που γίνονται με χρήση μετροταινίας ενώ ταυτόχρονα γίνονται μερικές παραδοχές συνθηκών (καθετότητα και παραλληλία γραμμών και επιπέδων) που ικανοποιούν χαρακτηριστικά σημεία του αντικειμένου. Στην περίπτωση αυτή η ακρίβεια είναι πολύ χαμηλότερη από αυτήν που επιτυγχάνεται με χρήση τοπογραφικών οργάνων αλλά και πάλι αν οι απαιτήσεις της ακρίβειας του τελικού προϊόντος είναι σχετικά μικρές είναι δυνατόν οι συγκεκριμένες μετρήσεις να αποδώσουν ικανοποιητικά το τελικό φωτογραμμετρικό προϊόν.

3.2.6 Ψηφιοποίηση με χρήση τεχνικών σάρωσης laser ή τριγωνισμού

Τα τελευταία χρόνια νέα όργανα μετρήσεων έχουν εισαχθεί στις επιστήμες των αποτυπώσεων χώρων τα οποία είναι σε θέση να μετρήσουν και να ανακατασκευάσουν τον τρισδιάστατο χώρο και τα αντικείμενα των διάφορων μορφών και μεγεθών με έναν γρήγορο και οικονομικό τρόπο. Αυτά τα όργανα, βασισμένα στην τεχνολογία laser, είναι συνήθως γνωστά ως επίγειοι Τρισδιάστατοι Ανιχνευτές Laser (3D laser scanner). Εκτός από τους τρισδιάστατους ανιχνευτές laser υπάρχουν και συσκευές που σαρώνουν μόνο οριζόντια ή κατακόρυφα ένα μνημείο – χώρο και μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι συσκευές ονομάζεται laser profilers και χρησιμοποιούνται με σημαντική επιτυχία για τη δημιουργία σχεδιαγραμμάτων κατόψεων και τομών των εσωτερικών χώρων, των μνημείων.

Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα και Χαρακτηριστικά

Κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου ανίχνευσης laser είναι:

- Είναι ταχύτατη και αξιόπιστη μέθοδος αποτύπωσης
- Παρέχει ακριβέστερα προϊόντα από οποιαδήποτε άλλη μεθοδολογία

- Απαιτεί λιγότερη προεπεξεργασία αλλά και μικρότερο χρόνο εργασίας στο γραφείο
- Συνδυάζει την ακρίβεια της τοπογραφικής αποτύπωσης και την πληρότητα και συνέχεια της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης
- Παρέχουν μεταβλητή ανάλυση στο έδαφος ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια του τελικού προϊόντος
- Παρέχει συνολική αποτύπωση των 3D αντικειμένων χωρίς επιπλέον κόπο ή χρόνο εργασίας
- Το κόστος αγοράς εξοπλισμού είναι μεγάλο, ενώ το κόστος της αποτύπωσης μπορεί να είναι ιδιαίτερα χαμηλό λόγω του μειωμένου χρόνου παραμονής των ειδικευμένων επιστημόνων στο τόπο καταγραφής και του περιορισμένου αριθμού εργατωρών που απαιτούνται για τη δημιουργία του συνολικού 3D μοντέλου.

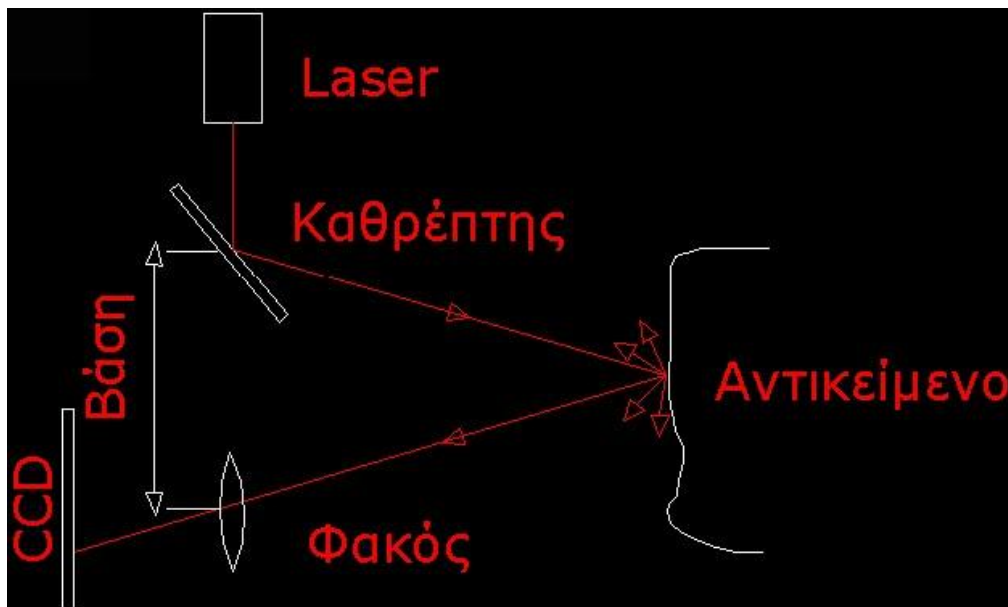
Τα σημεία που θα μετρηθούν δεν προσδιορίζονται από το χειριστή του οργάνου, αλλά προκύπτουν τυχαία και το μόνο που καθορίζεται είναι το βήμα της οριζόντιας και κατακόρυφης ανάλυσης μετρήσεων.

Τεχνικές ανίχνευσης

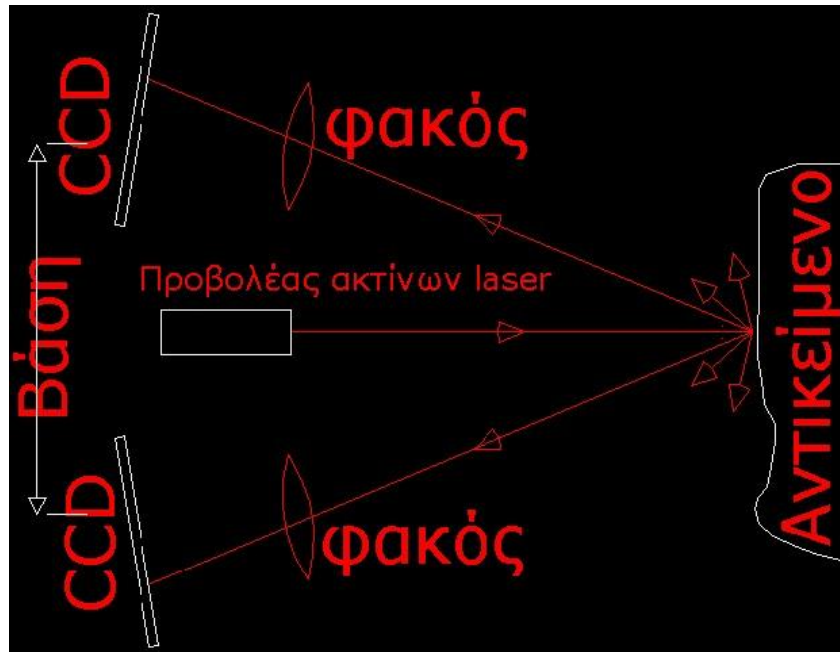
Οι γωνίες διεύθυνσης της ακτίνας laser μαζί με την μετρημένη απόσταση ανάμεσα στον πομπό της ακτίνας και του σημείου που την ανακλά πίσω στο δέκτη του ανιχνευτή μπορεί να οδηγήσει με χρήση του πρώτου θεμελιώδους προβλήματος της Τοπογραφίας και των σχέσεων της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας σε υπολογισμό των καρτεσιανών συντεταγμένων των σημείων στα οποία προσπίπτει η ακτίνα laser, εφόσον είναι γνωστή η στάση (θέση του οργάνου) στο καρτεσιανό τρισσορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων.

Οι τεχνικές ανίχνευσης διαχωρίζονται ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης ανάμεσα στην πηγή της ακτίνας laser και τα σαρωμένα σημεία του χώρου. Ο τρόπος προσδιορισμού της απόστασης μπορεί να είναι ένας από τους τρεις παρακάτω:

Τριγωνισμός. Ο ανιχνευτής κάνοντας χρήση της μεγάλης οπτικής ευκρίνειας μιας δέσμης laser που προβάλλεται επί του αντικειμένου και με χρήση εξισώσεων φωτογραμμετρίας υπολογίζει τη θέση του κάθε σημείου που φωτίζεται από την ακτίνα laser στον τρισδιάστατο χώρο. Σημαντικό ρόλο στην επιτυχημένη λειτουργία του ανιχνευτή laser είναι η ύπαρξη των κατάλληλων συνθηκών φωτισμού του αντικειμένου, καθώς η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στον εντοπισμό του στίγματος της ακτίνας laser στην εικόνα του αντικειμένου που συλλαμβάνεται από τον ενσωματωμένο οπτικό αισθητήρα CCD. (βλέπε εικόνα 3-3.)



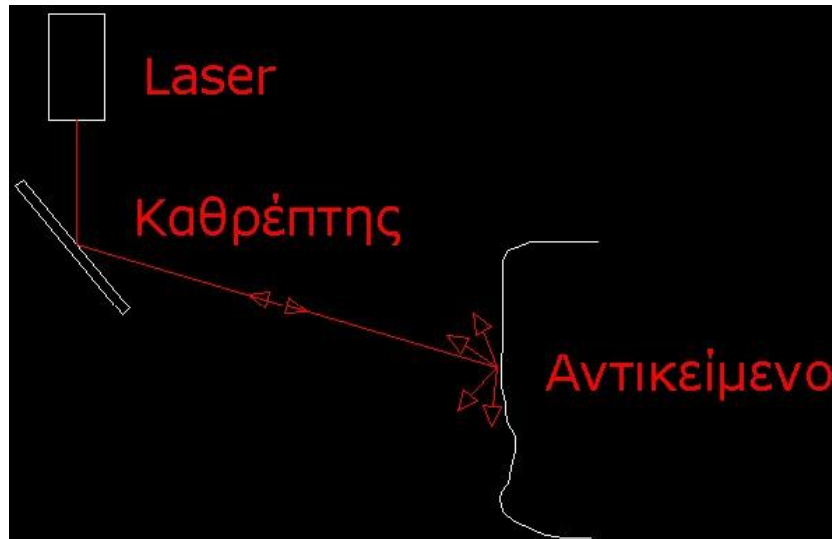
Εικόνα 3. 5 Μέθοδος τριγωνισμού για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων.
 Σε μερικές μάλιστα περιπτώσεις υπάρχουν δύο οπτικοί αισθητήρες CCD που με παρόμοιο τρόπο με αυτόν της φωτογραμμετρικής εμπροσθοτομίας μπορεί να εντοπίσουν στο χώρο ένα σημείο εφόσον ανιχνευτούν οι εικονοσυντεταγμένες του σε δύο εικόνες των οποίων η σχετική θέση είναι γνωστή. (βλέπε εικόνα 3-4.)



Εικόνα 3. 6 Μέθοδος τριγωνισμού για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων στο 3D χώρο με χρήση δύο οπτικών αισθητήρων

Χρόνος της πτήσης ενός παλμού laser. Ένας παλμός laser εκπέμπεται προς το αντικείμενο και η απόσταση μεταξύ της συσκευής αποστολής σημάτων και της επιφάνειας του αντικειμένου υπολογίζεται από το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ της μετάδοσης και της επιστροφής του παλμού.

Αυτή η αρχή είναι ευρέως γνωστή από τα ηλεκτρονικά αποστασιόμετρα. Στην πραγματικότητα, ένα ταχύμετρο θα μπορούσε να προγραμματιστεί ώστε να λειτουργεί όπως η συσκευή σάρωσης. Η ταχύτητα μέτρησης όμως θα ήταν πολύ χαμηλή, λόγω της χαμηλής απόκρισης του οργάνου. Οι σαρωτές χρησιμοποιούν μικρά περιστρεφόμενα κάτοπτρα για τη γωνιακή εκτροπή της ακτίνας laser (τουλάχιστον για μια από τις δύο γωνίες) και απλούστερους αλγόριθμους χρήσης για τον υπολογισμό της απόστασης που μπορεί να οδηγήσει σε υπολογισμό της μετρημένης απόστασης με μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι χαρακτηριστικές τιμές της απόκλισης των μετρήσεων απόστασης από τους ανιχνευτές που χρησιμοποιούν την τεχνική Time of Flight (βλέπε εικόνα 3-5.) είναι της τάξεως μερικών χιλιοστών. Δεδομένου ότι οι αποστάσεις είναι σχετικά μικρές, αυτή η ακρίβεια είναι σχεδόν η ίδια για ολόκληρο τον τρισδιάστατο χώρο. Η τρισδιάστατη ακρίβεια επηρεάζεται επίσης από την ακρίβεια της γωνιακής μέτρησης της ακτίνας που είναι της τάξης των εκατοστών του βαθμού (g).



Εικόνα 3. 7 Αρχή λειτουργίας της Time of flight τεχνικής τρισδιάστατης ανίχνευσης

Σύγκριση φάσης. Αυτή η μέθοδος είναι επίσης ευρέως γνωστή από ταταχυμετρικά όργανα. Σε αυτήν την περίπτωση, η εκπεμπόμενη ακτίνα διαμορφώνεται από ένα αρμονικό κύμα και η απόσταση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη διαφορά φάσης μεταξύ του κύματος αποστολής και λήψης. Από άποψη λειτουργικότητας, η μέθοδος δεν είναι πολύ διαφορετική από τη μέθοδο χρόνου πτήσης (Time of Flight). Λόγω της πολυπλοκότερης ανάλυσης των σημάτων, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι ακριβέστερα (σε βάρος όμως του συνολικού αριθμού των μετρούμενων σημείων, αλλά και της μέγιστης μετρούμενης απόστασης). Δεδομένου ότι απαιτείται ένα καλά καθορισμένο σήμα επιστροφής για τον υπολογισμό των αποστάσεων, οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο σύγκρισης φάσης μπορεί να έχουν μειωμένη εμβέλεια και να τείνουν να παράγουν περισσότερα λανθασμένες ή αποκλεισμένες από τις ανοχές σε σφάλματα μετρήσεις .

Ενώ τα όργανα ανιχνευτών laser βασισμένα στην αρχή του τριγωνισμού (triangulation) και τους υψηλούς βαθμούς ακρίβειας (λιγότερο από 1 χιλιοστόμετρο σφάλμα απόδοσης) έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως από τη δεκαετία του '80, τα όργανα που στηρίζονται στην τεχνική του υπολογισμού του χρόνου πτήσης (Time of Flight) και σύγκρισης φάσης (Phase Comparison) έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί ευρέως για μετρικές εφαρμογές σάρωσης μόνο τα τελευταία 5 χρόνια.

Στην ουσία ο ανιχνευτής laser αποτελεί τη φυσική μετεξέλιξη των γεωδαιτικών σταθμών (Total station) με δυνατότητα μέτρησης αποστάσεων χωρίς ανακλαστήρα. Η χρήση ενός μηχανισμού περιστροφής της μετρητικής διάταξης γύρω από τον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα περιστροφής του οργάνου έδωσε τη δυνατότητα της αυτόματης μέτρησης εκατομμυρίων σημείων χωρίς να είναι απαραίτητη η σκόπευση τους από το χειριστή του οργάνου.

Για όλα τα σαρωμένα σημεία του τρισδιάστατου χώρου στα οποία προσπίπτει η ακτίνα laser επιτυγχάνεται μια μέτρηση της απόστασης σε σχέση με μια γνωστή διεύθυνση: Οι συντεταγμένες X, Y και Z ενός σημείου μπορούν να υπολογιστούν για κάθε καταγραμμένη απόσταση-διεύθυνση.

Οι ανιχνευτές laser επιτρέπουν την καταγραφή εκατομμυρίων σημείων του χώρου σε λίγα μόνο λεπτά. Λόγω της πρακτικότητας και της ευκολίας χρήσης τους, αυτά τα είδη των οργάνων χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα στον τομέα της αρχιτεκτονικής, αρχαιολογικής και περιβαλλοντικής έρευνας.

3.2.7 Επιλογή βέλτιστης μεθοδολογίας αποτύπωσης μνημείων

Στην συνέχεια παρουσιάζονται κανόνες και κριτήρια που θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν για την επιλογή της μεθόδου αποτύπωσης.

Κριτήρια επιλογής ή απόρριψης για την εφαρμογή της εμπειρικής μεθόδου αποτύπωσης

Η εμπειρική μεθοδολογία ενδείκνυται όταν το μνημείο – χώρος δεν έχει πολύπλοκο σχήμα και μπορεί να αποτυπωθεί με λίγες μόνο μετρήσεις που διασφαλίζουν ωστόσο την τελική ακρίβεια του προϊόντος (σε κλίμακα 1:50 ή μικρότερες). Επίσης είναι ιδανική για την αποτύπωση κατόψεων ή όψεων-τομών εσωτερικών χώρων και όταν οι άλλες μέθοδοι δεν μπορούν να εφαρμοστούν για διάφορους λόγους πχ δεν υπάρχει απαραίτητος χώρος για τη λήψη των φωτογραφιών (φωτογραμμετρική μεθοδολογία) ή για την τοποθέτηση τοπογραφικού οργάνου σε κατάλληλη θέση και τη μέτρηση χαρακτηριστικών σημείων (τοπογραφική μεθοδολογία). Χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία από Αρχιτέκτονες Μηχανικούς για την αποτύπωση

εσωτερικών συνήθως χώρων και πρέπει να συνοδεύονται οι μετρήσεις πάντα από ένα καλό σχεδιάγραμμα του χώρου και των μετρήσεων που υλοποιήθηκαν.

Κριτήρια επιλογής ή απόρριψης μεθόδου της τοπογραφικής μεθόδου αποτύπωσης

Η εφαρμογή της τοπογραφικής μεθοδολογίας για την αποτύπωση ενδείκνυται όταν το μνημείο-χώρος δεν έχει πολύπλοκο σχήμα, οπότε ο αριθμός των μετρημένων σημείων για τον προσδιορισμό της θέσης, της μορφής και του σχήματος είναι μικρός, αλλά και η προσπελασιμότητα των σημείων που χρειάζεται να μετρηθούν είναι δύσκολη. Είναι ιδανική για δημιουργία προϊόντων υψηλής ακρίβειας σε κλίμακες 1:50 ή μικρότερες και επιπλέον απαιτεί σημαντικό χρόνο παραμονής στο πεδίο για μετρήσεις. Επίσης, χρησιμοποιείται ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μεγάλης έκτασης του αντικειμένου και συνήθως για την αποτύπωση εξωτερικών χώρων – όψεων κτιρίων αλλά και αρχαιολογικών χώρων ή σκαμμάτων. Σε περίπτωση που απαιτείται η καταγραφή της υψής της εξωτερικής επιφάνειας του μνημείου είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τη φωτογραμμετρική μεθοδολογία για τη δημιουργία ενός εικονικού προϊόντος (πχ. ανοιγμένη εικόνα ή ορθοεικόνα) ή τεχνική ανίχνευσης ακτίνας laser.

Κριτήρια επιλογής βέλτιστης τεχνικής και καταλληλότερου λογισμικού φωτογραμμετρικής επεξεργασίας για την αποτύπωση μνημείων - χώρων

Η φωτογραμμετρική μεθοδολογία είναι κατάλληλη σε περιπτώσεις πολύπλοκων αντικειμένων όταν υπάρχει πληθώρα λεπτομερειών που χρήζουν αποτύπωσης και αποτυπώνονται σε ψηφιακές εικόνες (πχ. όψεις διατηρητέων κτιρίων, κατόψεις κτιρίων - αρχαιολογικών σκαμμάτων). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφόσον υπάρχει ο απαραίτητος χώρος μπροστά ή πάνω από το μνημείο – χώρο που θα αποδοθεί φωτογραμμετρικά. Ενδείκνυται όταν υπάρχει δυσκολία στην προσπέλαση των λεπτομερειών του μνημείου ή όταν απαγορεύεται η άμεση επαφή με το αντικείμενο μελέτης. Είναι ιδανική για την διαχρονική παρακολούθηση των μνημείων ή όταν απαιτείται συστηματική

καταγραφή των φάσεων εξέλιξης σε εργασίες αναστήλωσης – ανασκαφής. Δίνει άμεσα αποτελέσματα και με χρήση στερεοσκοπικών μεθόδων μπορεί να προβληθεί το μοντέλο του μνημείου-χώρου τρισδιάστατα. Με χρήση μετρήσεων υψηλής ακρίβειας που προέρχονται πάντα από τοπογραφικές μετρήσεις με χρήση γεωδαιτικού σταθμού ή αντίστοιχης ακρίβειας τοπογραφικό όργανο, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλής ακρίβειας αποτελέσματα-τελικά διαγράμματα αποτύπωσης σε κλίμακες 1:50 ή και μικρότερες.

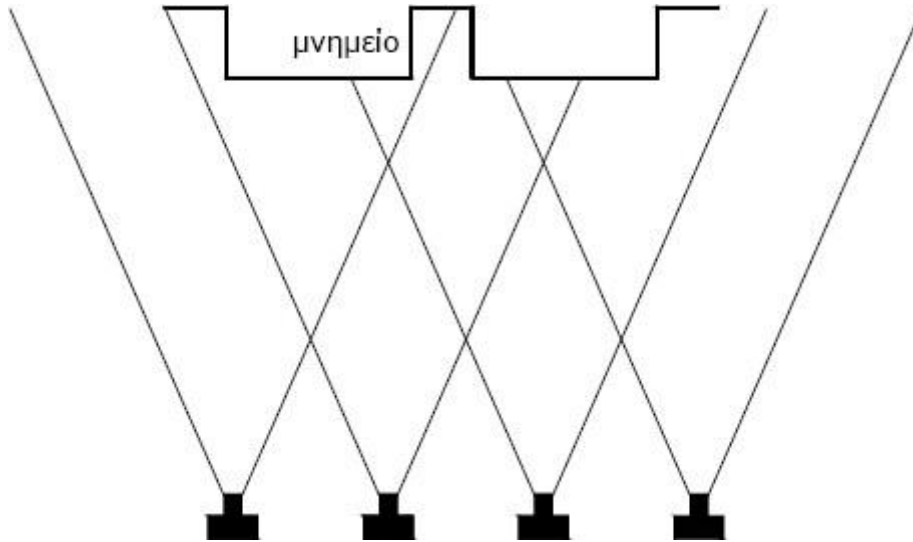
Ωστόσο, υπάρχουν διάφορες φωτογραμμετρικές τεχνικές που μπορεί να χρησιμοποιηθούν και να οδηγήσουν σε διαφορετικής μορφής φωτογραμμετρικά προϊόντα με χρήση διαφορετικού εξοπλισμού και λογισμικού.

Σε όλες τις περιπτώσεις η χρήση της φωτομηχανής είναι απαραίτητη, όπως επίσης και η υλοποίηση μετρήσεων με χρήση τοπογραφικών οργάνων. Εάν απαιτείται εξαιρετική ακρίβεια αποτελεσμάτων πρέπει να χρησιμοποιηθεί μετρική ή ημί-μετρική φωτομηχανή ή τουλάχιστον μια βαθμονομημένη κοινή (αναλογική ή ψηφιακή) φωτογραφική μηχανή. Πολλά φωτογραμμετρικά πακέτα παρέχουν τη δυνατότητα με χρήση προτύπων βαθμονόμησης να οδηγήσουν σε υψηλής ακρίβειας φωτογραμμετρικές εικόνες με χρήση τεχνικών αυτοβαθμονόμησης (πχ. PhotoModeler).

Ενδείξεις και Προϋποθέσεις για τη Χρήση Φωτογραμμετρικών Τεχνικών Ψηφιοποίησης Μνημείων - Χωρών

Στερεοσκοπική φωτογραμμετρική επεξεργασία σε ΨΦΣ: Η βέλτιστη τεχνική φωτογραμμετρικής επεξεργασίας εικόνων είναι χωρίς αμφισβήτηση η στερεοσκοπική που όχι μόνο παρέχει στους σύγχρονους Ψηφιακούς Φωτογραμμετρικούς Σταθμούς (ΨΦΣ) στερεοσκοπική παρατήρηση με αποτέλεσμα την αποφυγή χονδροειδών σφαλμάτων απόδοσης των λεπτομερειών του μνημείου – χώρου, αλλά παρέχει και αρκετούς αυτοματισμούς όπως, αυτόματη αναγνώριση προτύπων για τον υπολογισμό του εσωτερικού – εξωτερικού και σχετικού προσανατολισμού των εικόνων ενός στερεομοντέλου αλλά και αυτοματισμούς στη συλλογή των ομόλογων

σημείων για την εξαγωγή των λεπτομερειών του αντικειμένου με εμπροσθοτομία.



Εικόνα 3. 8 Γεωμετρία στερεοσκοπικών λήψεων

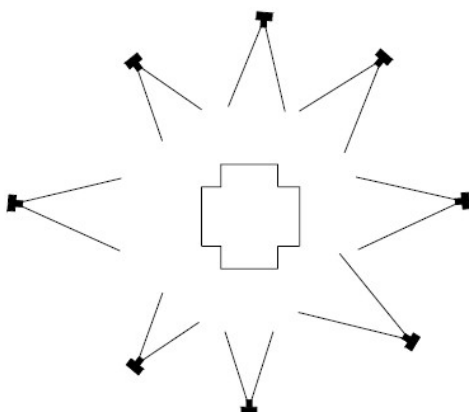
Βασική προϋπόθεση για την στερεοσκοπική επεξεργασία των εικόνων είναι η λήψη των φωτογραφιών με τρόπο ώστε οι άξονες της φωτογραφικής μηχανής στις δύο ή περισσότερες στάσεις να είναι παράλληλοι μεταξύ τους και κάθετοι στην επιφάνεια του προς μελέτη αντικειμένου (βλέπε εικόνα 20.). Επίσης, θα πρέπει κάθε λεπτομέρεια που χρήζει μέτρησης να είναι ορατή σε τουλάχιστον δύο εικόνες ενός στερεομοντέλου. Η κοινή περιοχή μεταξύ δύο εικόνων του στερεομοντέλου θα πρέπει να είναι της τάξης του 60% του συνολικού format (μέγεθος) των εικόνων και σε περίπτωση που δεν καλύπτεται το αντικείμενο με ένα στερεοζεύγος θα πρέπει να δημιουργηθούν περισσότερα συνεχιζόμενα στερεομοντέλα (Εικόνα 3-7, Εικόνα 3-8). Τα φωτοσταθερά στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να καλύπτουν πλήρως τα στερεομοντέλα των εικόνων που δημιουργούν μια ή περισσότερες λωρίδες (strips) φωτογραμμετρικών στερεοσκοπικών εικόνων. Όταν οι λήψεις για τη δημιουργία των εικόνων ενός στερεομοντέλου δεν είναι παράλληλες είναι πιθανό να μην είναι εφικτή η επίτευξη της στερεοσκοπικής όρασης συνεπώς ούτε και η στερεοσκοπική παρατήρηση και συλλογή των λεπτομερειών του αντικειμένου.



Εικόνα 3. 9 Στερεοσκοπικά ζεύγη για την επεξεργασία σε ΨΦΣ

Συγκλίνουσα ή μη Στερεοσκοπική Φωτογραμμετρική Επεξεργασία:

Όταν η απόσταση φωτογράφισης μπροστά από το αντικείμενο μελέτης είναι μικρή και επομένως αδύνατη η λήψη κατάλληλων εικόνων για στερεοσκοπική επεξεργασία (με τους άξονες της φωτομηχανής παράλληλους μεταξύ τους και κάθετους στην επιφάνεια του αντικειμένου) είναι προτιμότερο να γίνεται χρήση της συγκλίνουσας μη στερεοσκοπικής φωτογραμμετρικής επεξεργασίας. Στην περίπτωση αυτή οι άξονες της φωτογραφικής μηχανής συγκλίνουν προς το κέντρο βάρους του μνημείου – χώρου (Εικόνα 22, Εικόνα 23) και η επεξεργασία των εικόνων γίνεται σε ειδικά φωτογραμμετρικά πακέτα αρκετά ποιοτικά οικονομικά πχ. (Photomodeler, Image-Modeler, ShapeCapture, iWitness, 3DBuilder) που το κόστος τους μάλιστα είναι σημαντικά μικρότερο από αυτό των ΨΦΣ καθώς το υλικό στερεοσκοπικής παρατήρησης και επεξεργασίας (εξειδικευμένοι Η/Υ, σύστημα στερεοσκοπικής παρουσίασης) δεν είναι απαραίτητο για τη συλλογή των λεπτομερειών του αντικειμένου.



Εικόνα 3. 10 Συγκλίνουσα φωτογραμμετρική λήψη εικόνων



Εικόνα 3. 11 Φωτογραμμετρικές λήψεις για την εφαρμογή συγκλίνουσας μη στερεοσκοπικής επεξεργασίας

Φωτογραμμετρική Αναγωγή: Όταν το αντικείμενο μελέτης αποτελείται από επίπεδες οριζόντιες ή κατακόρυφες επιφάνειες είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί η μονοσκοπική φωτογραμμετρική επεξεργασία εικόνων με χρήση της ψηφιακής Φωτογραμμετρικής Αναγωγής. Και πάλι απαιτείται η χρήση φωτοσταθερών για την επίλυση των εξισώσεων της μορφής (3) και τη δημιουργία της ανοιγμένης εικόνας. Η εισαγωγή της ανοιγμένης εικόνας σε ένα περιβάλλον CAD είναι εύκολη υπόθεση και η συλλογή και σχεδίαση των λεπτομερειών της όψης ή κάτοψης του χώρου μπορεί να γίνει χωρίς να είναι απαραίτητη η στερεοσκοπική παρατήρηση (επομένως ούτε και το ακριβό σύστημα στερεοσκοπικής όρασης και μέτρησης). Ο χρόνος της ψηφιοποίησης είναι πολύ μικρότερος με συνέπεια να μειώνεται και το τελικό κόστος της αποτύπωσης –ψηφιοποίησης του μνημείου.



Εικόνα 3. 12 Αρχική και προοπτικά διορθωμένη εικόνα

Όταν επί του αντικείμενου είναι ορατά δύο τουλάχιστον ζεύγη οριζόντιων και κατακόρυφων γραμμών ίσως να είναι αρκετή η μέτρηση μιας ή δύο αποστάσεων παραλλήλων προς το οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο για να δημιουργηθεί με επίλυση των μαθηματικών εξισώσεων της προοπτικής γεωμετρίας η ανοιγμένη εικόνα (Εικόνα 24).

Καταλήγοντας θα πρέπει να τονιστεί ότι η φωτογραμμετρική μεθοδολογία δεν μπορεί να αποδώσει την ακρίβεια που επικαλείται ότι επιτυγχάνει στην αποτύπωση μνημείων χωρίς την επικουρία της Τοπογραφίας για τη μέτρηση των φωτοσταθερών (εκτός ίσως από την περίπτωση της προοπτικής διόρθωσης των εικόνων και των εφαρμογών συγκλίνουσας φωτογραμμετρίας). Συμπληρώνει όμως την Τοπογραφική Μεθοδολογία στην αποτύπωση μνημείων ως μια πλήρης και συνεχής (λόγω της εικονικής παρουσίασης των ανηγμένων εικόνων και ορθοεικόνων) απεικόνιση των μνημείων – χώρων και παρέχει μια σειρά από νέα προϊόντα τρισδιάστατης παρουσίασης (Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, Ορθοεικόνα, Επενδυμένο Μοντέλο) που μπορούν με κατάλληλη επεξεργασία να αποδώσουν στο γραφικό περιβάλλον εξειδικευμένου λογισμικού το εικονικό μοντέλο (virtual model) των μνημείων – χώρων με δυνατότητα διαδραστικότητας και πλοήγησης.

3.2.8 Προϊόντα φωτογραμμετρικής επεξεργασίας εικόνων

Τα ψηφιακά προϊόντα που τεκμηριώνουν την αποτύπωση των μνημείων - χώρων και ορίζουν την τρισδιάστατη ψηφιοποίηση τους είναι τα τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργούνται είτε σε περιβάλλον CAD ή προκύπτουν από την άμεση ψηφιοποίηση – συλλογή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους στο περιβάλλον του λογισμικού φωτογραμμετρικής επεξεργασίας εικόνων.

Η καταγραφή των τρισδιάστατων γεωμετρικών χαρακτηριστικών του μνημείου γίνεται συνήθως σε αρχεία σχεδίασης (DWG, DXF, DGN κα). Τα σχεδιαστικά αντικείμενα που ενσωματώνονται σε ένα αρχείο σχεδίασης για την καταγραφή ενός τρισδιάστατου αντικειμένου μπορεί να είναι:

- μεμονωμένα (κωδικοποιημένα) σημεία στην εξωτερική επιφάνεια του μνημείου που προκύπτουν από τη φωτογραμμετρική εμπροσθοτομία ή με χρήση των εξισώσεων της ψηφιακής αναγωγής,
- γραμμές, που τα σημεία της αρχής και του τέλους τους έχουν προκύψει και αυτά από τη φωτογραμμετρική εμπροσθοτομία ή με χρήση των εξισώσεων της ψηφιακής αναγωγής και οριοθετούν τις ακμές -πλευρές των επιφανειών του μνημείου,
- επιφάνειες που προκύπτουν από μοντελοποίηση των χαρακτηριστικών σημείων (υπολογισμένα από τη φωτογραμμετρική εμπροσθοτομία) στην εξωτερική επιφάνεια του μνημείου.

Όλα τα προηγούμενα σχεδιαστικά αντικείμενα που περιγράφουν με ψηφιακό τρόπο το σχήμα, μέγεθος και μορφή του μνημείου – χώρου μπορεί να προέλθουν και από την τοπογραφική αποτύπωση. Ωστόσο, η φωτογραμμετρική επεξεργασία υπερέχει της τοπογραφικής στο γεγονός ότι μαζί με τη γεωμετρία του αντικειμένου καταγράφεται και η οπτική πληροφορία της επιφάνειας των μνημείων. Η εικόνα μπορεί να εφαρμοστεί στις επιφάνειες του μνημείου ως υφή και να προκύψει ένα εικονικό μοντέλο του μνημείου που αποτελεί το πιο πλήρες ψηφιακό προϊόν τρισδιάστατης αποτύπωσης μνημείου – χώρου.

Ωστόσο, η εικόνα που καταγράφεται από τις φωτομηχανές δεν μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα στην επιφάνεια που ψηφιοποιείται από μία ή περισσότερες φωτογραμμετρικές εικόνες. Για το λόγο αυτό δημιουργούνται προϊόντα παράγωγων εικόνων, όπως είναι η ανοιγμένη εικόνα που αποτελεί από μόνη της την ορθή προβολή και λεπτομερή καταγραφή του μνημείου - χώρου.



Εικόνα 3. 13 Φωτογραμμετρική απόδοση και τελικό διάγραμμα όψης διατηρητέου κτιρίου

Όταν το τρισδιάστατο μοντέλο του μνημείου – χώρου αποτελείται από οριζόντιες ή κατακόρυφες επίπεδες επιφάνειες με μικρό ή καθόλου ανάγλυφο κάθε μια από τις επιφάνειες του μπορεί να επενδυθεί με την ανοιγμένη εικόνα που αποτελεί την ορθή προβολή της αντίστοιχης κεντρικής προβολής (αρχικής φωτογραμμετρικής εικόνας) και τα όρια της συμπίπτουν με τα όρια της επιφάνειας του αντικειμένου. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει ένα ακριβές φωτογραμμετρικό προϊόν που μπορεί να εξαχθεί σε αρχείο εικονικής πραγματικότητας (VRML) και να περιεργαστεί σε ένα δυναμικό περιβάλλον ή να δημιουργηθεί μια εικονική πλοήγηση (fly through video) στο χώρο γύρω από το μνημείο ή και στο εσωτερικό του. Οι τεχνικές εικονικής πλοήγησης και παρουσίασης τρισδιάστατων αντικειμένων έχουν εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και έχουν ενσωματωθεί σε πολλά προγράμματα CAD.



Εικόνα 3. 14 Εικονικό μοντέλο φωτογραμμετρικής αποτύπωσης επίπεδων όψεων κτιρίου

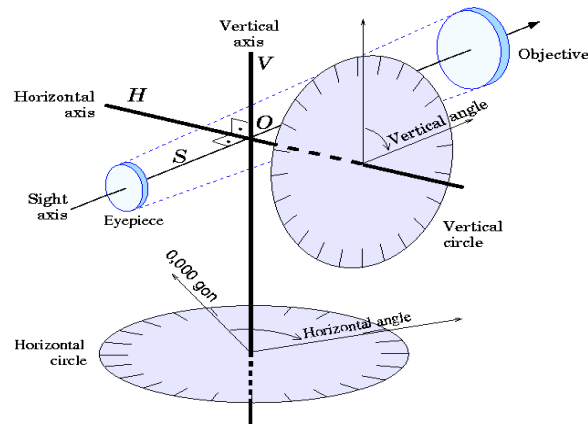
Ακόμη και όταν το αποτυπωμένο αντικείμενο δεν αποτελείται από επίπεδες επιφάνειες αλλά είναι δυνατόν να μοντελοποιηθεί το σχήμα της εξωτερικής του επιφάνειας από κάποιο απλό γεωμετρικό στερεό (πχ. κύλινδρος) μπορεί να δημιουργηθεί μία εικόνα που με κατάλληλες τεχνικές να εφαρμοστεί στην μοντελοποιημένη επιφάνεια και να δημιουργηθεί και πάλι το εικονικό τρισδιάστατο μοντέλο του μνημείου – χώρου.

3.2 Θεοδόλιχος

Ο θεοδόλιχος είναι όργανο αρκετά μεγάλης ακρίβειας, διότι διαθέτει άριστα οπτικά συστήματα που στοχεύουν τα είδωλα χωρίς παραμορφώσεις και διαθλάσεις. Στην αρχή κατασκευάστηκε για να εξυπηρετήσει κυρίως την αστρονομία και τη γεωδαισία, γι' αυτό χαρακτηρίζεται περισσότερο ως γεωδαιτικό και αστρονομικό όργανο. Τα πλεονεκτήματά του όμως, η σχετικά απλή δομή και κατασκευή του, η μεγάλη ακρίβεια και οι ανάγκες των άλλων επιστημονικών κλάδων μεγάλωσαν τη χρήση και την αξία του. Για τις διάφορες ειδικές ανάγκες κάθε επιστήμης υπάρχουν διάφοροι τύποι και παραλλαγές του οργάνου, η βασική όμως αρχή της κατασκευής του, για όλους τους τύπους, είναι η ίδια.

Το όργανο τοποθετείται σε σταθερή βάση (με τη βοήθεια ενός τρίποδα), η οποία εξασφαλίζει την ακινησία του καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Ακόμη διαθέτει σύστημα πρισμάτων και μεγεθυντικών φακών για την ανάγνωση των μετρήσεων με ακρίβεια 0.001^{grad} . Ο θεοδόλιχος είναι όργανο κατάλληλο για τη μέτρηση, με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, των αζιμουθιακών και ζενιθιακών γωνιών, που είναι απαραίτητες για τον τριγωνισμό, δηλαδή τον προσδιορισμό της θέσης σημείων της γήινης επιφάνειας, τα οποία έχουν επιλεγεί γι' αυτό τον σκοπό. Ανάλογα με την έκταση της εξεταζόμενης ζώνης, ο τριγωνισμός μπορεί να είναι γεωδαιτικός, αν επεκτείνεται σε ένα μεγάλο τμήμα της γήινης επιφάνειας με ακτίνα 100-200 χλμ. και έχει σκοπό τη γεωγραφική χαρτογράφηση της περιοχής, και τοπογραφικός, όταν έχει μικρότερη έκταση, με ακτίνες της τάξης των 20-25 χλμ. και με προορισμό να χρησιμεύσει ως δίκτυο στήριξης για την αποτύπωση του εδάφους και των ιδιομορφιών του. Η αποτύπωση αυτή είναι

χρήσιμη στις μελέτες σχεδίων οδών, σιδηροδρομικών γραμμών, διωρύγων, σηράγγων κλπ.



Εικόνα 3. 15 Εσωτερικό Θεοδόλιχου

Είτε στον γεωδαιτικό είτε στον τοπογραφικό τριγωνισμό, τα σημεία της γήινης επιφάνειας (σημεία στήριξης) επιλέγονται και συνδέονται μεταξύ τους ώστε να σχηματίζουν ένα δίκτυο ή μια αλυσίδα τριγώνων, καθένα από τα οποία έχει μια κοινή πλευρά με το προηγούμενο. Ο θεοδόλιχος αποτελείται από μια βάση που στηρίζεται σε τρεις κοχλίες στάθμης, από έναν αζιμουθιακό βαθμονομημένο κύκλο και από μια περόνη, η οποία περιστρέφεται γύρω από έναν κάθετο άξονα, εφοδιασμένη με έναν δείκτη που μετακινείται πάνω σε αζιμουθιακό κύκλο. Αυτός χρησιμεύει για να μετρά τις γωνίες περιστροφής της περόνης, από δύο στηρίγματα στερεωμένα πάνω της, στα οποία στηρίζονται οι πύροι ενός τηλεσκοπίου που περιστρέφεται γύρω από έναν οριζόντιο άξονα. Η βάση στηρίζεται σε τρίποδο με ρυθμιζόμενα πόδια, ενώ από το κέντρο της κρέμεται νήμα στάθμης, ώστε να είναι σαφές το ακριβές σημείο του εδάφους πάνω από το οποίο βρίσκεται ο θεοδόλιχος.

Στο τηλεσκόπιο είναι τοποθετημένος ένας βαθμονομημένος ζενιθιακός κύκλος, πάνω στον οποίο, με έναν δείκτη στερεωμένο στην περόνη, γίνεται η ανάγνωση των γωνιών περιστροφής του τηλεσκοπίου. Όταν είναι αναγκαίο, κατάλληλοι κοχλίες πίεσης στερεώνουν μεταξύ τους τα διάφορα τμήματα του οργάνου. Μικρές μετακινήσεις της περόνης και του τηλεσκοπίου μπορούν να εκτελεστούν με μικρομετρικούς κοχλίες. Οι αναγνώσεις πάνω στους βαθμονομημένους κύκλους των γωνιών αζιμουθιακής και ζενιθιακής μετακίνησης γίνονται με βερνιέρους ή με μικροσκόπια ή, στους ακριβέστερους

θεοδόλιχους, με συστήματα μικρομετρικών κοχλιών. Το μοναδικό μειονέκτημα του οργάνου είναι το μεγάλο βάρος του και συνεπώς η δυσκολία χρήσης του σε δυσπρόσιτα εδάφη.



Εικόνα 3. 16 Θεοδόλιχος



Εικόνα 3. 17 Μέρη του θεοδόλιχου

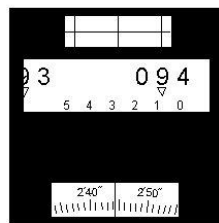
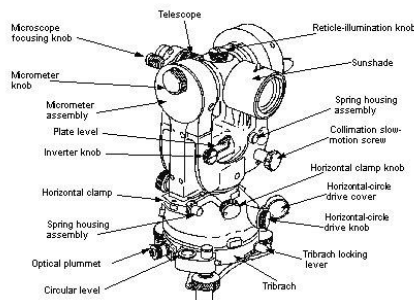
Το όργανο αποτελείται από τα εξής κύρια τμήματα. Ένα **τηλεσκόπιο**, στο φακό του οποίου υπάρχει ένα σταυρόνημα. Το σταυρόνημα αποτελείται από δύο κάθετους μεταξύ τους άξονες, λεπτού πάχους. Η σκόπευση του σημείου, γίνεται με τη βοήθεια του σταυρονήματος. Θα πρέπει ο στόχος να βρίσκεται πάντα στο σημείο τομής των αξόνων του σταυρονήματος. Το τηλεσκόπιο είναι στερεωμένο σε ένα **οριζόντιο άξονα**. Ο οριζόντιος άξονας στηρίζεται σταθερά σε ένα ανάστροφο μεταλλικό «Π», που λέγεται **άντυγα**. Το τηλεσκόπιο μπορεί να περιστρέφεται γύρω από αυτόν τον άξονα, κάνοντας οπτική σάρωση σε ένα κατακόρυφο επίπεδο. Ο οριζόντιος άξονας του τηλεσκοπίου λέγεται **δευτερεύων άξονας του οργάνου**.

Στο ένα σκέλος της άντυγας είναι σταθερά στερεωμένος ένας **κατακόρυφος δίσκος**, αριθμημένος σε βαθμούς (grad). Η μηδενική ένδειξη του δίσκου ταυτίζεται με την διεύθυνση του ζενίθ του τόπου. Το **ζενίθ** είναι ο αντίποδας

του κέντρου της γης - δηλαδή ένα σημείο στο άπειρο, κατακόρυφα επάνω από τον τόπο στάσης του θεοδόλιχου. Σε κάθε σκόπευση του τηλεσκοπίου, η ένδειξη του κατακόρυφου δίσκου μας δίνει τη ζενίθια απόσταση της διεύθυνσης.

Η κεφαλή της άντυγας στηρίζεται με μια άρθρωση στο **σώμα στήριξης** του οργάνου. Η άρθρωση επιτρέπει περιστροφή όλης της άντυγας γύρω από τον άξονά της. Ο άξονας στήριξης της άντυγας λέγεται **πρωτεύων άξονας του οργάνου**. Με την περιστροφή αυτή γίνεται οπτική σάρωση του οριζοντίου επιπέδου, στο οποίο βρίσκεται το τηλεσκόπιο. Στη θέση στήριξης της άντυγας υπάρχει ένας **οριζόντιος δίσκος** αριθμημένος σε βαθμούς (grad).

Σε κάθε σκόπευση του τηλεσκοπίου ο οριζόντιος δίσκος μας δίνει την οριζόντια γωνία της διεύθυνσης. Το σώμα στηρίζεται με τη βοήθεια τριών κοχλιών στη βάση του οργάνου. Οι κοχλίες χρησιμοποιούνται για να πετύχουμε την ακριβή οριζοντίωση του οριζοντίου δίσκου του οργάνου. Η όλη κατασκευή της βάσης λέγεται **τρικόχλιο**. Ο έλεγχος της οριζοντίωσης του δίσκου γίνεται με τη βοήθεια μιας **σφαιρικής** και μιας **σωληνωτής αεροστάθμης**.



Εικόνα 3. 18 Μέρη του θεοδόλιχου

3.2.2 Τοποθέτηση του θεοδόλιχου

Η τοποθέτηση του οργάνου γίνεται ως εξής: Ο θεοδόλιχος στηρίζεται σε ένα τρίποδα, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να βρίσκεται πάντα σε ένα οριζόντιο επίπεδο πάνω από ένα γνωστό σημείο στο έδαφος. Γι' αυτό το λόγο, τα σκέλη του τρίποδα είναι πτυσσόμενα. Αρχικά, λοιπόν, **τοποθετούμε τον τρίποδα**. Το μήκος του κάθε σκέλους ρυθμίζεται κατάλληλα, ώστε η κεφαλή του τρίποδα να είναι κατά το δυνατόν οριζόντια. Στην κεφαλή του τρίποδα βιδώνεται το όργανο με ειδικό κοχλία ο οποίος υπάρχει στη βάση του.

Η ακριβής **οριζοντίωση του οργάνου** γίνεται με την εξής διαδικασία: Στρέφουμε τα περικόχλια του τριχοχλίου, ώστε να προκύψει ελαφρό ανέβασμα ή κατέβασμα των τριών σημείων στήριξης του σώματος του οργάνου. Ο έλεγχος της οριζοντίωσης του θεοδόλιχου γίνεται με τη χρήση των αεροσταθμών. Κατά την οριζοντίωση πρέπει να ελέγξουμε την κατάσταση της σωληνωτής αεροστάθμης σε δύο θέσεις του τηλεσκοπίου, που είναι κάθετες μεταξύ τους.

Η τελική εργασία είναι η **κέντρωση του οργάνου**. Η διαδικασία κέντρωσης ελέγχει αν το όργανο έχει τοποθετηθεί έτσι, ώστε ο πρωτεύοντας άξονάς του να ταυτίζεται με την κατακόρυφο του τόπου της στάσης. Ο έλεγχος γίνεται με την προσάρτηση του νήματος της στάθμης (λιναίη) σε ένα ειδικό άγκιστρο ή με την βοήθεια ενσωματωμένης ακτίνας laser στο όργανο, που υπάρχει στη βάση του θεοδόλιχου. Το βάρος της λιναίης ή η ακτίνα laser καταλήγει σε μια ακίδα. Η ακίδα αυτή πρέπει να βρίσκεται ακριβώς πάνω από το σημείο. Σε διαφορετική περίπτωση, ξεβιδώνουμε ελαφρά το όργανο από τον τρίποδα και το μετακινούμε, έτσι ώστε να πετύχουμε την κέντρωση. Στη νέα θέση σφίγγουμε ξανά τον κοχλία στερέωσης του θεοδόλιχου στην κεφαλή του τρίποδα.

3.3.3 Μετρήσεις γωνιών διεύθυνσης

Ο θεοδόλιχος μετρά δεξιόστροφα τη διέδρη γωνία, που σχηματίζουν δύο κατακόρυφα επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο είναι δεδομένο. Είναι το επίπεδο, το οποίο ορίζει ο οριζόντιος δίσκος του οργάνου, με τη μηδενική του διεύθυνση. Το δεύτερο είναι εκείνο το κατακόρυφο επίπεδο, στο οποίο ανήκει η

διεύθυνση του σημείου που σκοπεύουμε. Με την περιστροφή της άντυγας δεν περιστρέφεται ο οριζόντιος δίσκος, συνεπώς στην τελική θέση σκόπευσης η ανάγνωση της ένδειξης του οριζόντιου δίσκου είναι η γωνία διεύθυνσης του στόχου.

3.3.4 Μετρήσεις ζενιθίων αποστάσεων

Το σημείο, που σκοπεύουμε με το τηλεσκόπιο, δεν βρίσκεται σχεδόν ποτέ στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο με το θεοδόλιχο. Για να μπορέσουμε να το δούμε μέσα από το τηλεσκόπιο, πρέπει να στρέψουμε το τηλεσκόπιο κατακόρυφα, γύρω από τον δευτερεύοντα άξονά του. Κατά τις περιστροφές αυτές δεν περιστρέφεται ο κατακόρυφος δίσκος. Επομένως, στην τελική θέση του τηλεσκοπίου η ένδειξη του κατακόρυφου δίσκου μας δίνει την ζενίθια απόσταση της διεύθυνσης του στόχου.

3.3.5 Ανάγνωση των μετρήσεων

Ανάλογα τον τύπο του οργάνου, ξεχωρίζουμε δυο περιπτώσεις ανάγνωσης. Σε ποιά παλαιά μοντέλα δίπλα ακριβώς από το τηλεσκόπιο υπάρχει ένα σύστημα μεγεθυντικών φακών και πρισμάτων, που καταλήγει σε ένα προσοφθάλμιο φακό. Μέσα από αυτόν το φακό μπορούμε να διαβάσουμε την ένδειξη των γωνιών σε κάθε σκόπευση του θεοδόλιχου. Η κατασκευή είναι τέτοια ώστε να εμφανίζονται ταυτόχρονα στην ίδια σκόπευση οι ενδείξεις και των δύο δίσκων του θεοδόλιχου. Έτσι, με μια ματιά στο φακό αυτό, βλέπουμε τις μετρήσεις της ζενιθιας απόστασης (**V**) και της οριζόντιας γωνίας (**H_z**). Σε ποιά σύγχρονα μοντέλα, ο θεοδόλιχος διαθέτει πλέον ψηφιακή ένδειξη σε ειδικό ταμπλό-οθόνη των δυο γωνιών για ένα σημείο σκόπευσης.

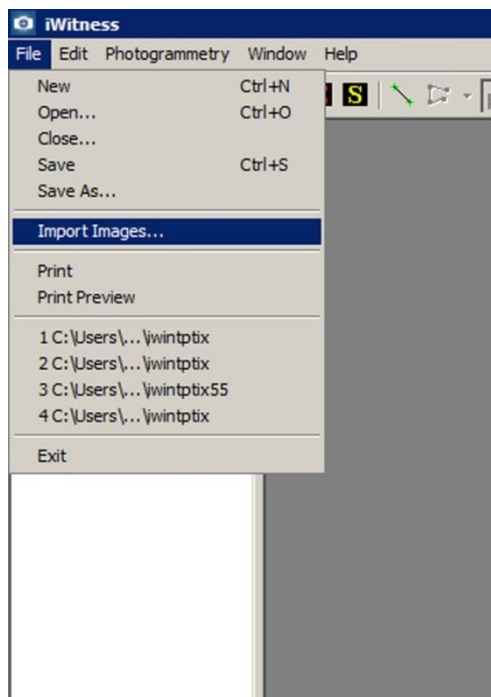


Εικόνα 3. 19 Ρωμαίος μηχανικός χρησιμοποιεί αρχαίο είδος θεοδόλιχου.

3.3 Υπολογιστικό πρόγραμμα Iwitness

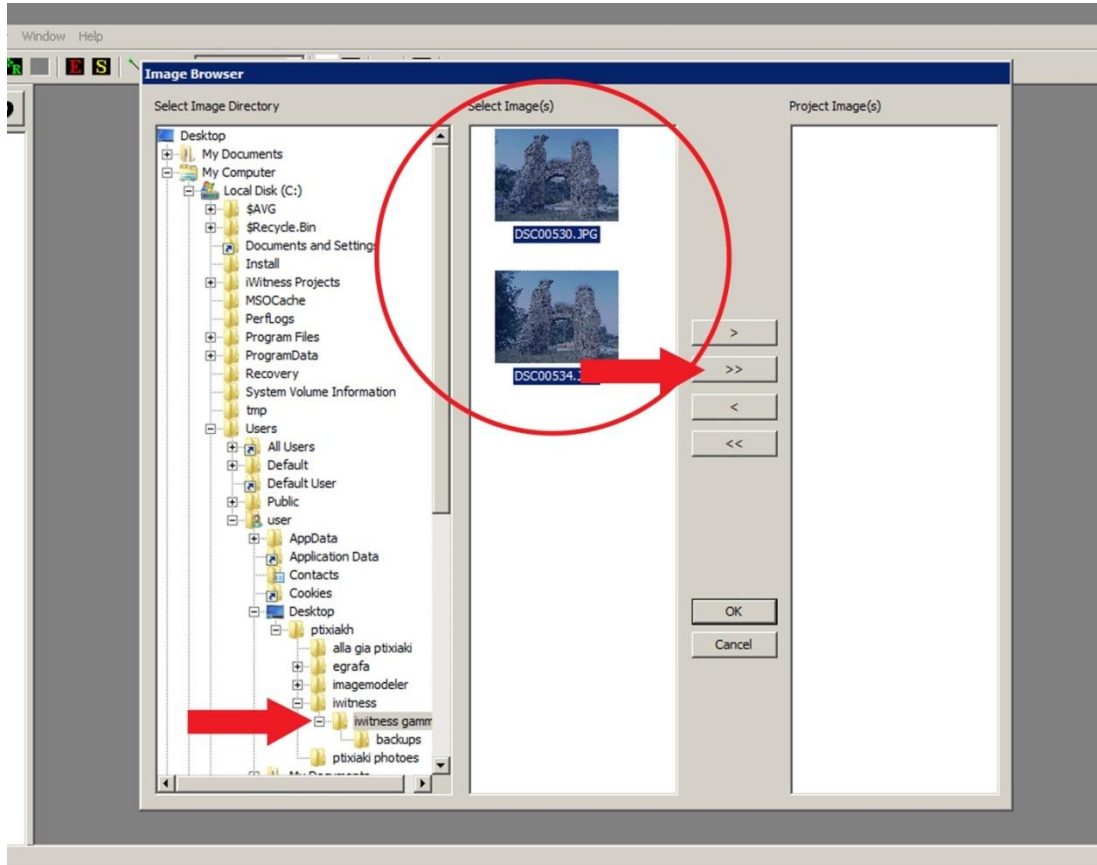
Το πρόγραμμα iWitness παράγει 3D μετρήσεις και μοντέλα από εικόνες ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής και σαρωμένες αναλογικές φωτογραφίες. Μέσα από διαδραστική σήμανση χαρακτηριστικών σημείων, κοινά σε δύο ή περισσότερες επικαλυπτόμενες φωτογραφίες, το λογισμικό χτίζει ένα δίκτυο σημείων και θέσεων εικόνων χρησιμοποιώντας μια διαδικασία που ονομάζεται σχετικός προσανατολισμός, για στοιχεία που ανήκουν στο ίδιο επίπεδο αποτύπωσης. Μέσω του χειριστή με τη βοήθεια και την ημι-αυτόματη επεξεργασία, 3D συντεταγμένων σημείων, γραμμών και polylines μπορούν στη συνέχεια να εκτιμηθούν και να προσδιοριστούν όλα τα σημεία που ενδιαφέρουν και να στηθεί το CAD-μοντέλο, το οποίο δημιουργείτε έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί σαν φωτογραφική υφή για ρεαλιστική απεικόνιση σε πραγματική κλίμακα.

Το πρώτο βήμα, το οποίο πρέπει να πραγματοποιηθεί, είναι η εισαγωγή των φωτογραφιών, οι οποίες τραβήχτηκαν με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, στο λογισμικό. Επιλέγοντας την επιλογή File στην αριστερή επάνω πλευρά ξεδιπλώνεται μια μπάρα εντολών.



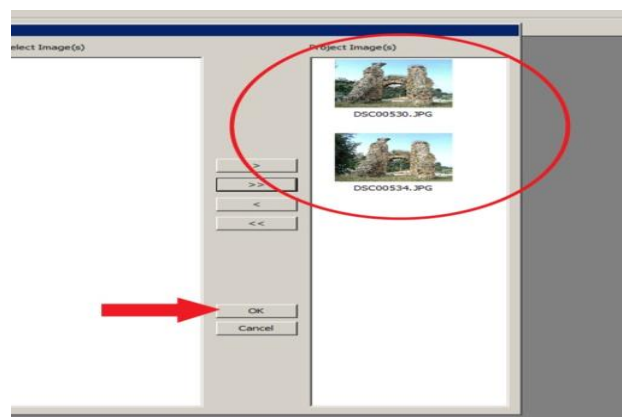
Εικόνα 3. 20 Επιλογή File

Επιλέγοντας την επιλογή εισαγωγή εικόνων (import images), εμφανίζεται ο φυλλομετρητής εικόνων (image browser) από τον οποίο μπορούν να επιλεγθούν οι επιθυμητές εικόνες, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για την φωτογραμμετρική επεξεργασία. (εικόνα 3-19)



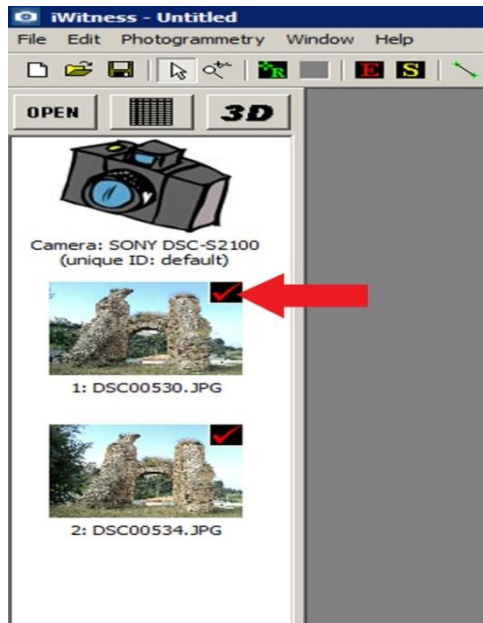
Εικόνα 3. 21 Εισαγωγή εικόνων (import images)

Επιλέγοντας τον φάκελο των εικόνων, πατώντας το διπλό βέλος και το εικονίδιο «OK» εισάγονται οι εικόνες στο αρχείο του λογισμικού (εικόνα 3-20).



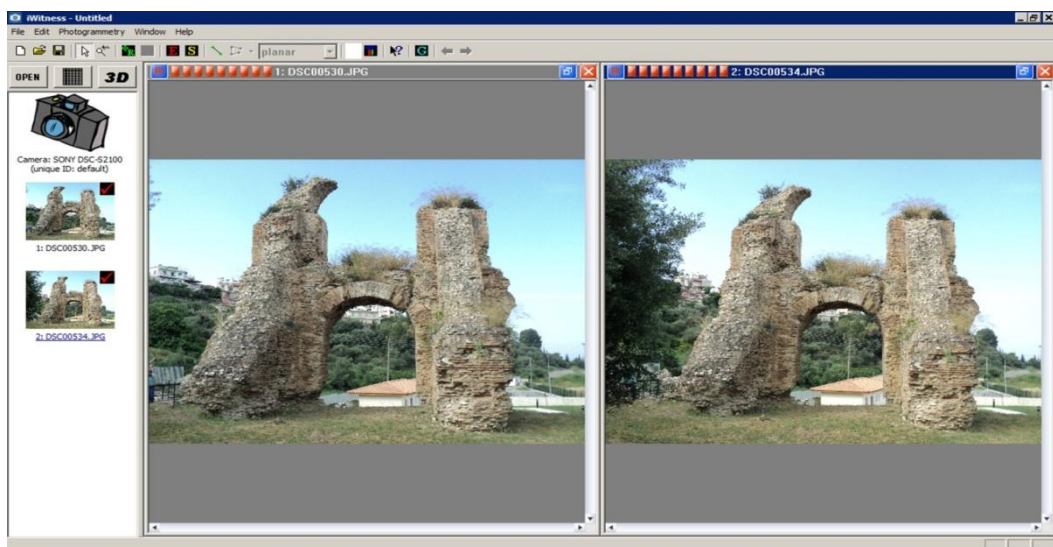
Εικόνα 3. 22 Εικονίδιο «OK»

Οι εικόνες τώρα εμφανίζονται ως εικονίδια στην αριστερή μεριά του χώρου εργασίας του λογισμικού. Τα κόκκινα σημάδια επάνω στα εικονίδια υποδεικνύουν ότι άλλες απαιτούμενες πληροφορίες είναι αποδεκτές και ότι οι εικόνες δεν έχουν προσανατολιστεί κατάλληλα για να ξεκινήσει το έργο.



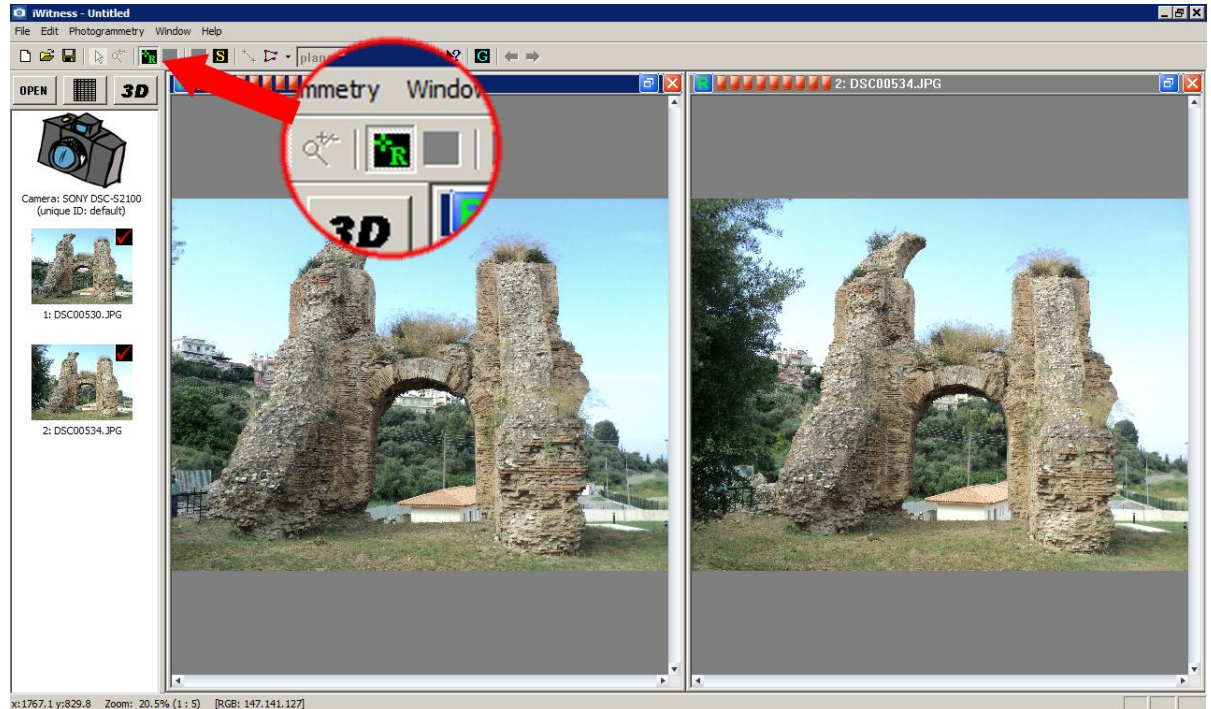
Εικόνα 3. 23 Εικονίδια των φωτογραφιών

Κάνοντας διπλό κλικ επάνω στα εικονίδια των φωτογραφιών εμφανίζονται οι φωτογραφίες στο χώρο εργασίας (εικόνα 3-22). Οι κόκκινες μπάρες πάνω από τις φωτογραφίες υποδεικνύουν ότι οι φωτογραφίες δεν έχουν συσχετιστεί και προσανατολιστεί.



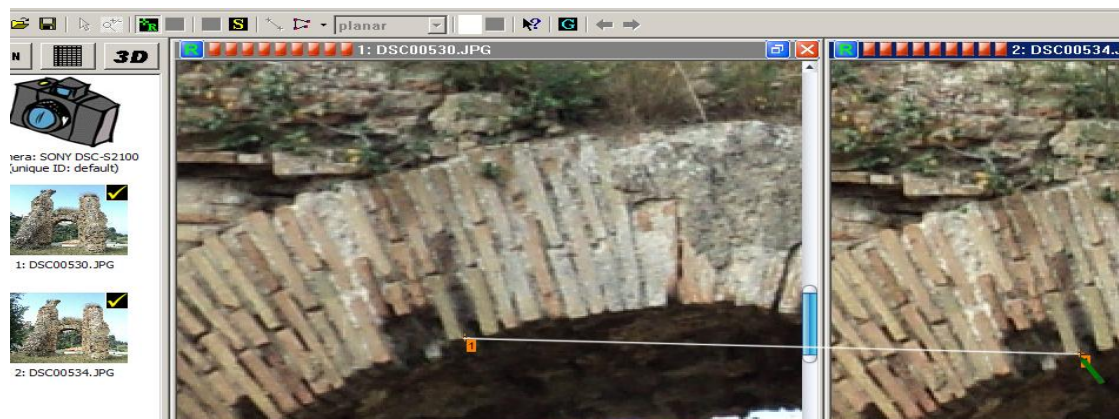
Εικόνα 3. 24 Οι φωτογραφίες στο χώρο εργασίας

Κάνοντας κλικ στο πράσινο R (relative orientation) ο κέρσοντας μετατρέπεται σε ένα πράσινο μολύβι. Τώρα μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία συσχέτισης (εικόνα 3-23).



Εικόνα 3. 25 R (relative orientation)

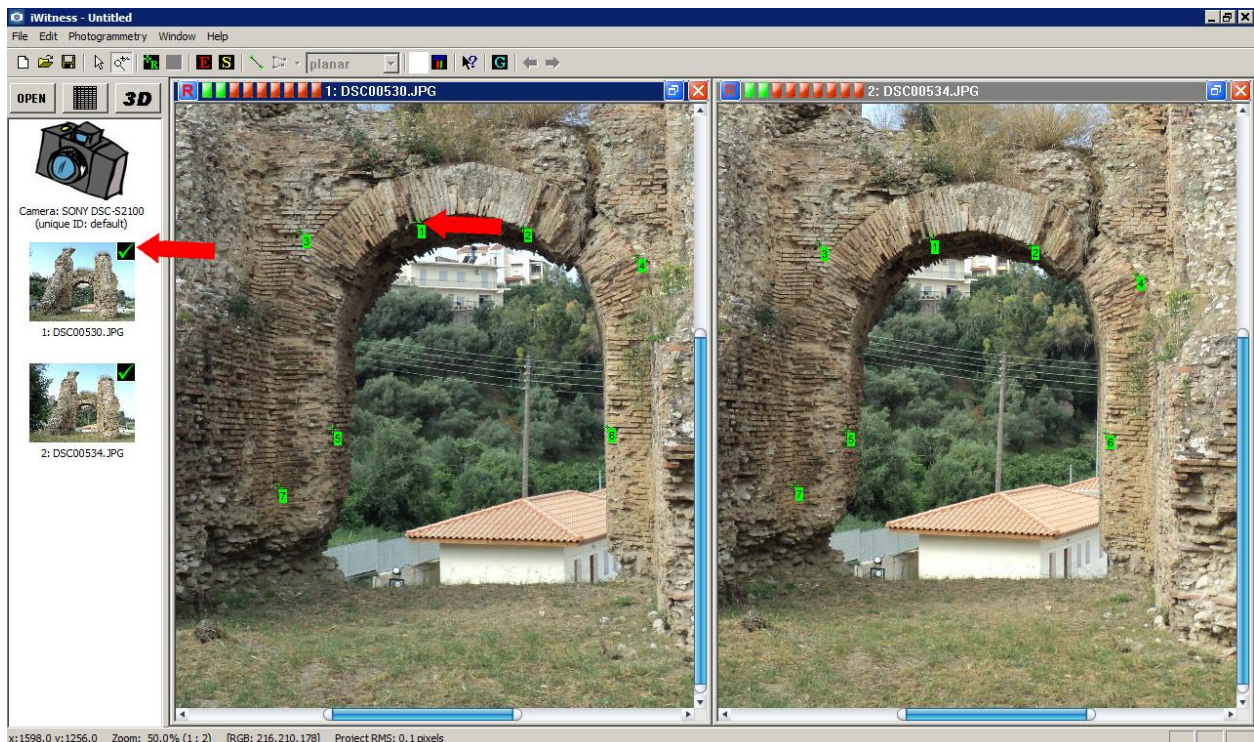
Η φωτογραμμετρία κοντινών αποστάσεων απαιτεί, τα ίδια χαρακτηριστικά να σημειώνονται σε δύο ή περισσότερες εικόνες ώστε το πρόγραμμα να μπορεί στη συνέχεια να υλοποιήσει. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας το εργαλείο συσχέτισης έτσι ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη αντιστοιχία σημείων.



Εικόνα 3. 26 Η επιλογή ενός σημείου στην πρώτη φωτογραφία συμπίπτει με την επιλογή του ίδιου σημείου στην δεύτερη

Η ανάλυση της φωτογραφίας παίζει σημαντικό ρόλο καθώς θα βοηθήσει στο καλύτερο πέρας της διαδικασίας. Επιλέγοντας σημεία τα οποία είναι ευδιάκριτα και καθαρά, η διαδικασία συσχέτισης μπορεί να πραγματοποιηθεί με γρηγορότερο και κυρίως ορθότερο τρόπο. Η επιλογή ενός σημείου στην πρώτη φωτογραφία πρέπει να συμπίπτει με την επιλογή του ίδιου σημείου στην δεύτερη φωτογραφία (εικόνα 3-24).

Πρέπει να τοποθετηθούν τουλάχιστον επτά ή οκτώ σημεία αναφοράς, ώστε να ολοκληρωθεί ο σχετικός προσανατολισμός των εικόνων. Αφού τοποθετηθεί ο απαιτούμενος αριθμός σημείων αναφοράς, τότε τα ίδια τα σημεία από πορτοκαλί χρώμα θα αλλάξουν σε πράσινο, καθώς και τα σημάκια σε σχήμα τικ στην πάνω δεξιά μεριά των εικονιδίων των φωτογραφιών (εικόνα 3-25). Αμέσως μετά θα εμφανιστεί ένα παράθυρο το οποίο θα αναφέρει RO OK. Αυτό σημαίνει ότι το λογισμικό έχει υπολογίσει τις θέσεις των καμερών από τις οποίες τραβήχτηκαν οι φωτογραφίες.



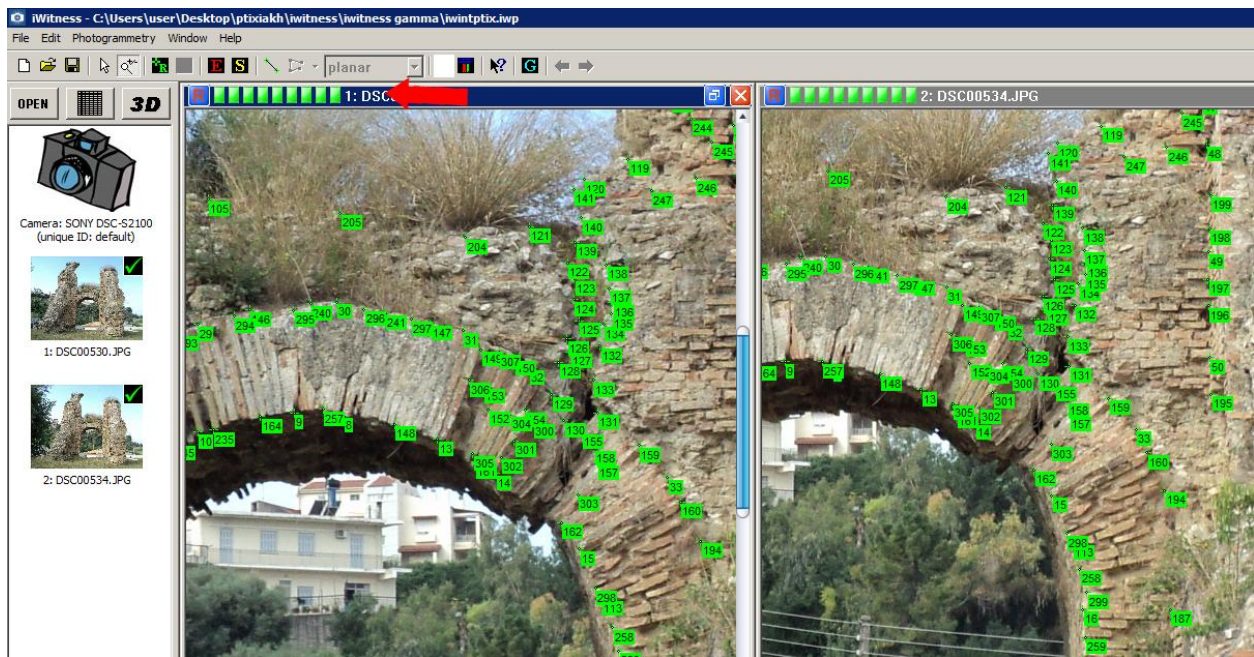
Εικόνα 3. 27 Τα πορτοκαλί σημάδια γίνονται πράσινα

Οι μπάρες στο πάνω μέρος των φωτογραφιών υποδεικνύουν την ορθότητα και την ακρίβεια της διαδικασίας συσχέτισης. (εικόνα 3-26).



Εικόνα 3. 28 Μπάρες συσχέτισης

Όσο περισσότερες πράσινες μπάρες υπάρχουν τόσο ποιο ακριβές θα είναι και το αποτέλεσμα. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση όσο το δυνατόν περισσότερων σημείων αναφοράς (εικόνα 3-27).



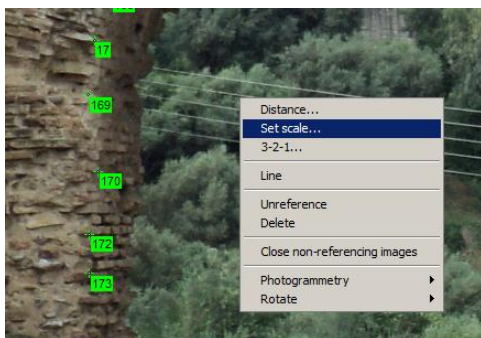
Εικόνα 3. 29 Σημεία αναφοράς

Εφόσον έχει πραγματοποιηθεί ο σχετικός προσανατολισμός, τοποθετώντας ένα σημείο στην πρώτη φωτογραφία, εμφανίζεται στην δεύτερη μια μπλε γραμμή, η οποία ονομάζεται epi-polar line. Η συγκεκριμένη γραμμή λειτουργεί σαν οδηγός για τον εντοπισμό του σημείου αναφοράς στην δεύτερη και κάθε επόμενη φωτογραφία (εικόνα 3-28).

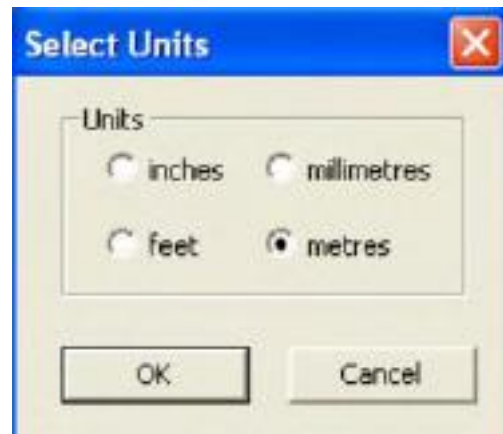


Εικόνα 3. 30 Εντοπισμός του σημείου αναφοράς στην δεύτερη και κάθε επόμενη φωτογραφία

Στην περίπτωση της λάθος τοποθέτησης του αντίστοιχου σημείου στην δεύτερη εικόνα το λογισμικό εμφανίζει αυτόματα το σημείο αναφοράς με κόκκινο χρώμα. Προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαδικασία και να τοποθετηθούν τα δεδομένα σε περιβάλλον CAD θα πρέπει να οριστεί μια κλίμακα. Αυτό γίνεται μέσω δήλωσης μιας απόστασης μεταξύ δυο σημείων, η οποία αντιπροσωπεύει την πραγματική απόσταση μεταξύ αυτών των σημείων και έχει μετρηθεί στο πεδίο με συμβατικές μεθόδους τοπογραφίας. Κάνοντας διπλό κλικ στον χώρο εργασίας εμφανίζεται μια μπάρα επιλογών. Για να τοποθετήσουμε κλίμακα επιλέγουμε την εντολή set scale (εικόνα 3-29).



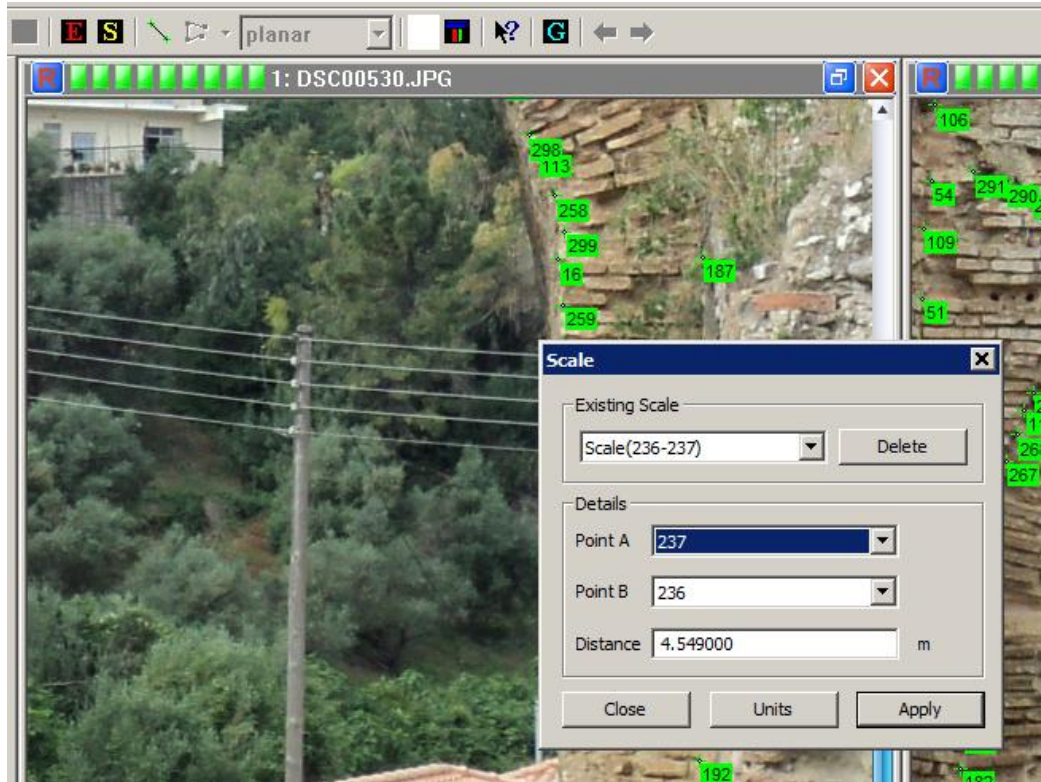
Εικόνα 3. 31 α) Set scale



β) Select Units

Την πρώτη φορά που θα επιλεγθεί η εντολή set scale θα εμφανιστεί ένα παράθυρο, στο οποίο θα πρέπει να επιλεγεί η μονάδα μέτρησης. Σε αυτήν την περίπτωση, η επιλογή είναι μέτρα (meters) (εικόνα 3-29 (B)). Πατώντας το κουμπί OK εμφανίζεται ένα δεύτερο παράθυρο, στο οποίο πρέπει να

επιλεχθούν τα δυο σημεία και να καθοριστεί η μεταξύ τους απόσταση. Σε αυτή την περίπτωση επιλέγουμε π.χ. το σημείο 237 ως point A και το σημείο 236 ως point B. Στην επιλογή distance γράφουμε την πραγματική απόσταση των δύο σημείων, η οποία είχε μετρηθεί στο μνημείο και πατάμε την επιλογή apply (εικόνα 3-30).



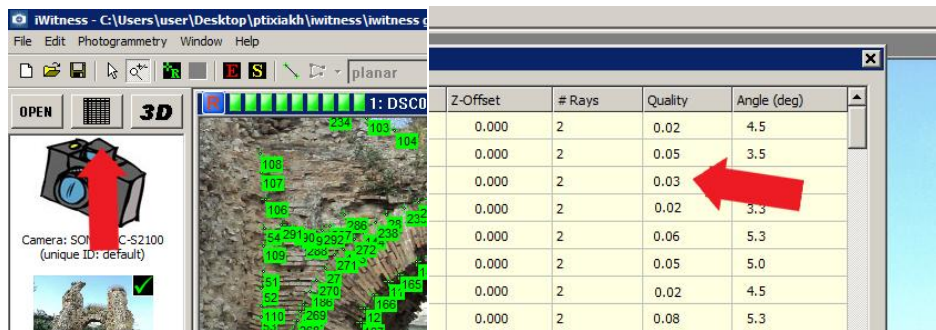
Εικόνα 3. 32 Η πραγματική απόσταση των δύο σημείων

Τα δεδομένα είναι τώρα σε κλίμακα. Η κλίμακα είναι τώρα φανερή με μια έντονη κόκκινη γραμμή μεταξύ των δυο σημείων (εικόνα 3-31).



Εικόνα 3. 33 Η κλίμακα

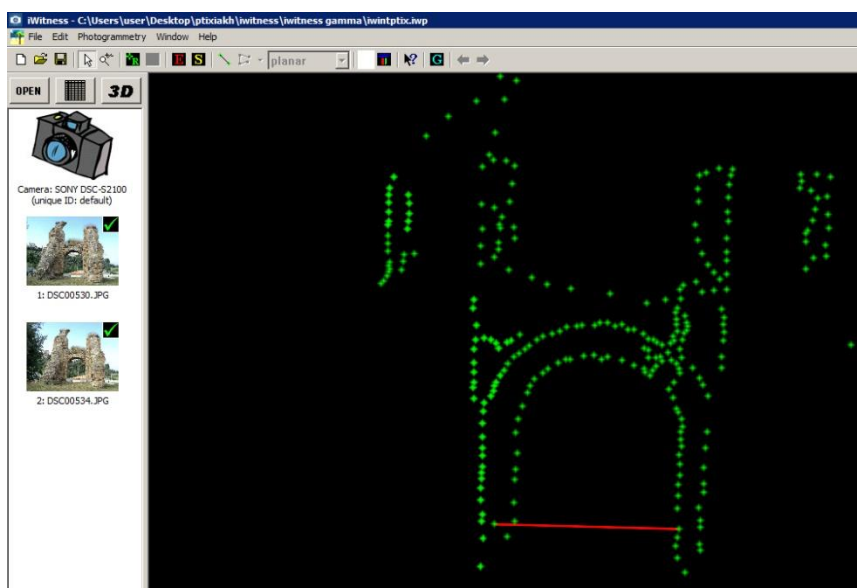
Πάνω από τα εικονίδια των φωτογραφιών υπάρχουν τρεις επιλογές. Η πρώτη ονομάζεται **OPEN**, η δεύτερη η οποία μοιάζει με έναν μικρό πίνακα ονομάζεται **3D points dialog** και η τρίτη **3D** (εικόνα 3-32 (A)). Η πρώτη εντολή ανοίγει τις φωτογραφίες στο χώρο εργασίας του λογισμικού. Η δεύτερη εντολή ανοίγει ένα πίνακα με τα στοιχεία των σημείων αναφοράς. Μπορούμε να ελέγξουμε την ορθότητα του έργου με το να ελέγξουμε την στήλη με την ονομασία quality. Εάν τα δεδομένα είναι κάτω από 1 μονάδα, τότε τα σημεία είναι κατάλληλα τοποθετημένα. Για την ακρίβεια όσο ποιο κοντα στο μηδέν είναι τα δεδομένα, τόσο ποιο ορθά έχουν συσχετιστεί τα σημεία (εικόνα 3-32 β).



Εικόνα 3. 34 α) Τρεις επιλογές

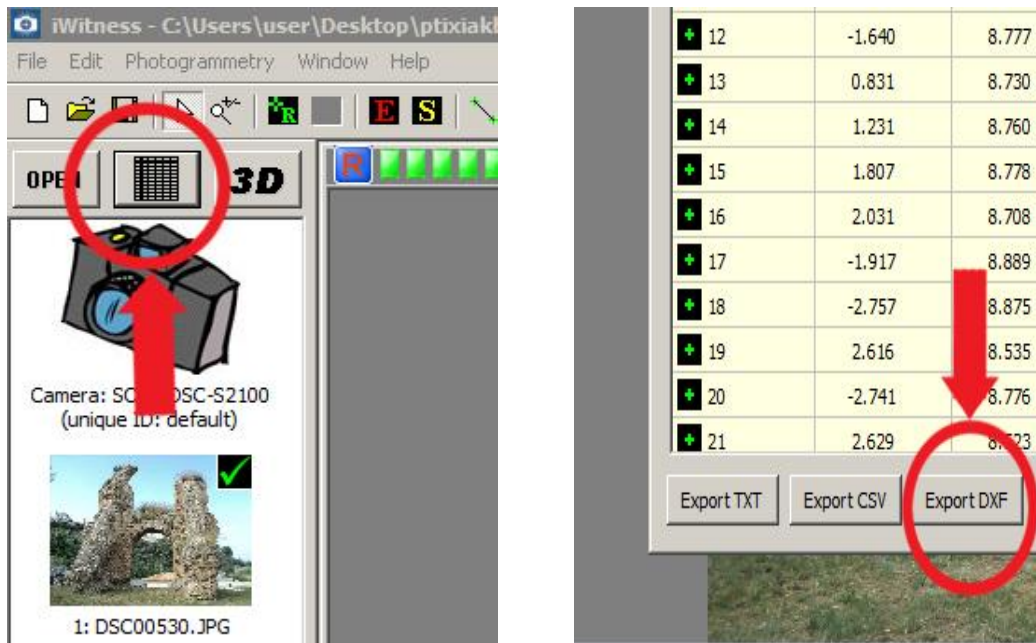
β) Δεδομένα σημείων αναφοράς

Επιλέγοντας την επιλογή **3D** (εικόνα 3-32 (A)) ανοίγει το παράθυρο με το τρισδιάστατο μοντέλο, το οποίο έχει δημιουργηθεί από την τοποθέτηση των σημείων αναφοράς (εικόνα 3-33).



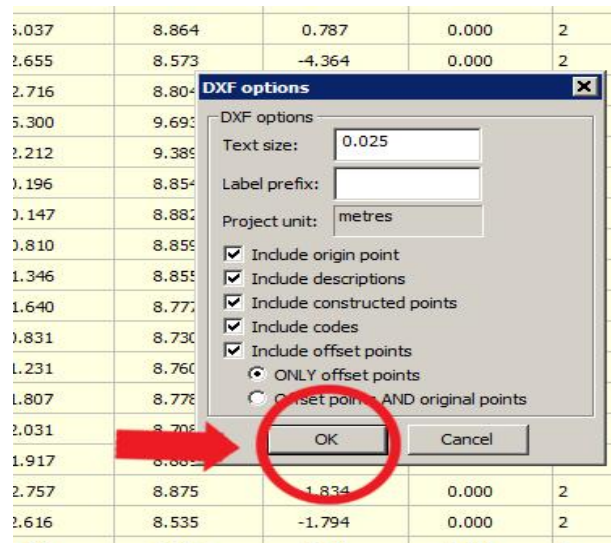
Εικόνα 3. 35 Τρισδιάστατο μοντέλο

Εφόσον ολοκληρωθούν όλες οι διαδικασίες θα πρέπει να περάσουμε το μοντέλο σε περιβάλλον Cad. Για να γίνει αυτό, πρέπει να το εξάγουμε σε μορφή DXF. Επιλέγοντας ξανά και ανοίγοντας το **3D points dialog** (εικόνα 3-34 (A)) παρατηρούμε στο κάτω μέρος του παραθύρου την επιλογή **export DXF** (εικόνα 3-34 (B)). Επιλέγοντας αυτήν την επιλογή ανοίγει ένα δεύτερο παράθυρο με το όνομα **DXF Options** (εικόνα 3-35). Κάνοντας κλικ στην επιλογή OK εξάγεται και αποθηκεύεται το μοντέλο σε μορφή συμβατή για CAD- πρόγραμμα.



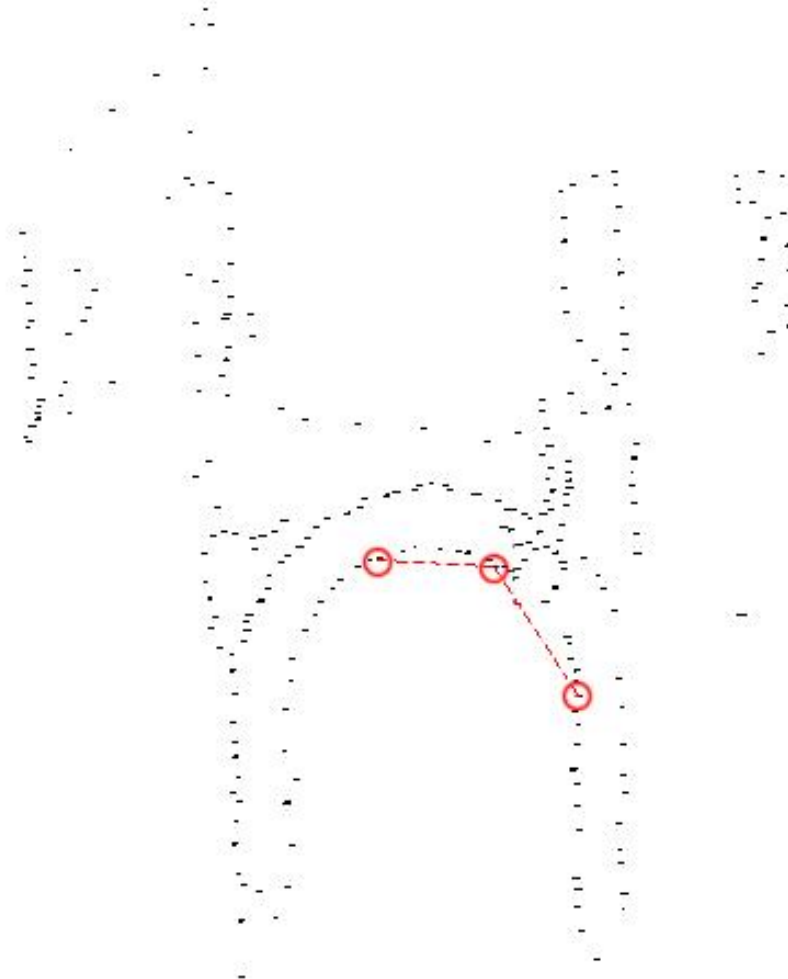
Εικόνα 3. 36 α) 3D points dialog

β)export DXF



Εικόνα 3. 35 DXF Options

Παρατηρώντας το τελικό αποτέλεσμα σε περιβάλλον autocad βλέπουμε ότι τρία σημεία του μοντέλου αντιστοιχούν σε τρία σημεία, τα οποία είχαν υπολογιστεί με το θεοδόλιχο (εικόνα 3-36). Αν και σε μερικά σημεία η αντιστοιχία των συντεταγμένων δεν είναι απόλυτα ακριβής, η απόκλιση τους είναι τόσο μικρή (της τάξης των 0002m) που μπορεί να θεωρηθεί μηδαμινή ή αποδεκτή για την εφαρμογή και χρήση για την οποία έχει στηθεί το μοντέλο.



Εικόνα 3. 36 Autocad

Σημείο iwitness				Σημείο θεοδόλιχος			
Point	X	Y	Z	Point	X	Y	Z
235	-1.7751	13.2270	5.1183	101	-1.7751	13.2270	5.1183
13	-0.2921	13.6362	5.0520	102	-0.2277	13.6531	4.9881
259	0.8702	13.9622	3.3034	103	0.8865	14.1018	3.3475

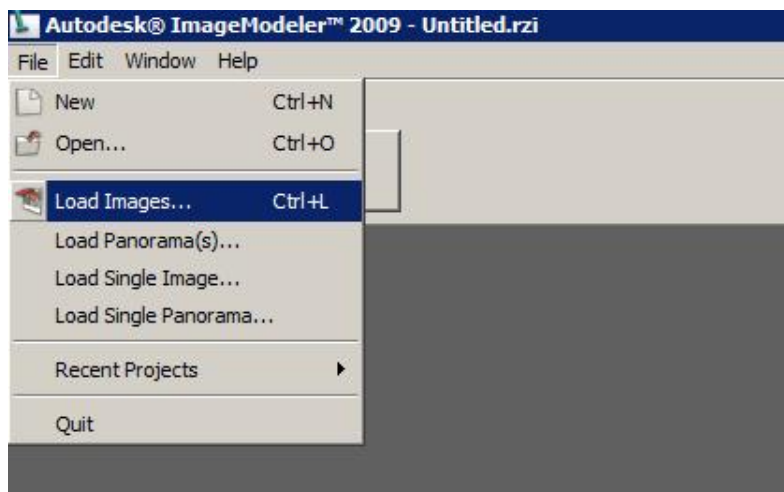
Εικόνα 3. 37 Πίνακας σημείων

3.4 Autodesk ImageModeler

Το Autodesk ImageModeler, σαν το iwitness είναι λογισμικό, το οποίο λαμβάνει μέτρα και παράγει 3D μοντέλα βασισμένα σε φωτογραφίες ή εικόνες. Όπως ακριβώς και το iwitness, έτσι και imagemodeler χρειάζεται δυο ή περισσότερες επικαλυπτόμενες φωτογραφίες προκειμένου να χτίσει ένα δίκτυο σημείων και θέσεων εικόνων χρησιμοποιώντας μια διαδικασία που ονομάζεται σχετικός προσανατολισμός, για στοιχεία που ανήκουν στο ίδιο επίπεδο αποτύπωσης.

Στο imagemodeler, όπως και στο iwitness, οι φάσεις για την ολοκλήρωση της διαδικασίας είναι συγκεκριμένες. Στο imagemodeler είναι η εισαγωγή φωτογραφιών, η βαθμονόμηση, η μέτρηση, η μοντελοποίηση, η δημιουργία υφής για ρεαλιστική απεικόνιση (texturing) και η εξαγωγή. Οι φάσεις αυτές εμφανίζονται στην γραμμή εργασιών του λογισμικού (workflow toolbar).

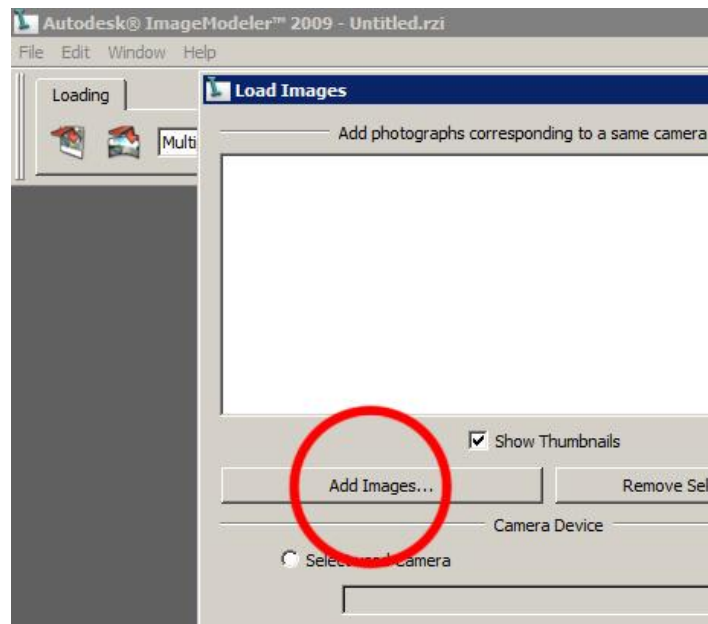
Το πρώτο βήμα, το οποίο πρέπει να πραγματοποιηθεί, είναι η εισαγωγή των φωτογραφιών, οι οποίες τραβήχτηκαν με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, στο λογισμικό. Επιλέγοντας την επιλογή File στην αριστερή επάνω πλευρά ξεδιπλώνεται μια μπάρα εντολών (εικόνα 3-38).



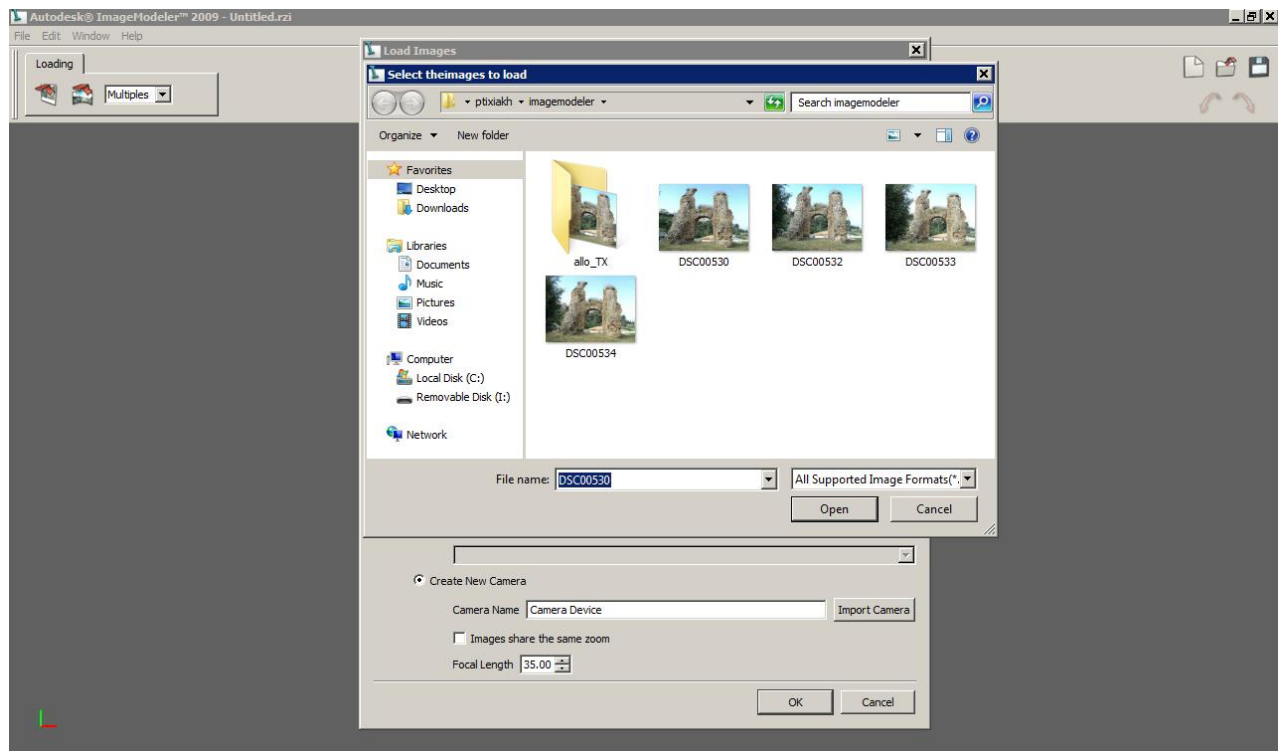
Εικόνα 3. 37 Επιλογή File

Επιλέγοντας την επιλογή load images εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο επιλέγονται οι φωτογραφίες που ελήφθησαν με την ίδια φωτογραφική μηχανή και την ίδια ανάλυση εικόνας. Κάνοντας κλικ στο κουμπί Προσθήκη Εικόνες (add images) (εικόνα 3-39) για την εισαγωγή των εικόνων από το δίσκο

ανοίγει ένα παράθυρο διαλόγου, όπου μπορεί να επιλεγθούν οι εικόνες για την εισαγωγή (εικόνα 3-40).

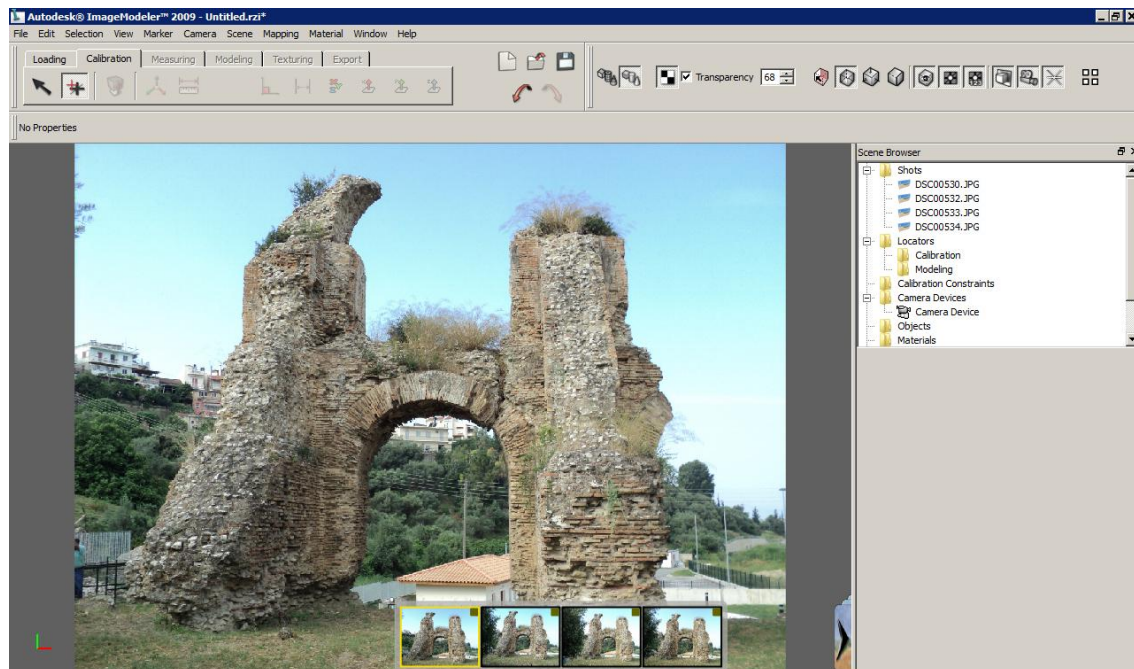


Εικόνα 3. 38 Προσθήκη Εικόνες (add images)



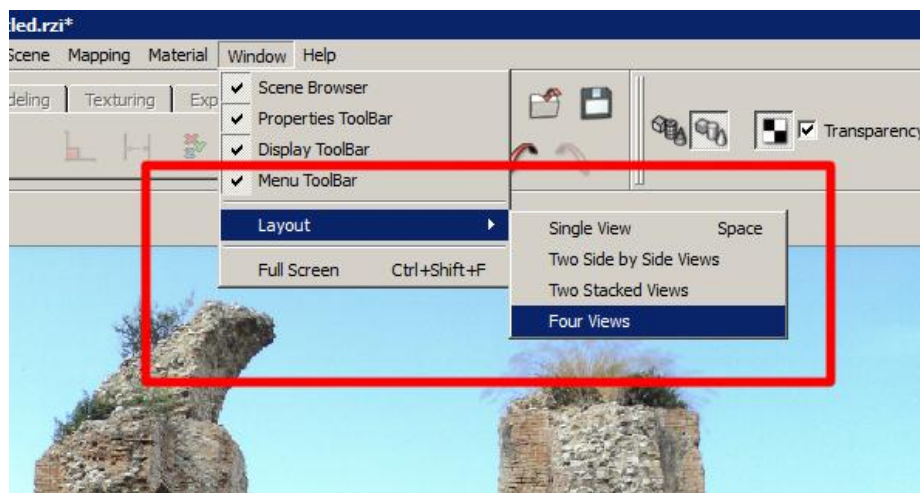
Εικόνα 3. 39 Οι εικόνες για την εισαγωγή

Το λογισμικό έχει φορτώσει τις φωτογραφίες στον χώρο εργασίας (εικόνα 3-41).



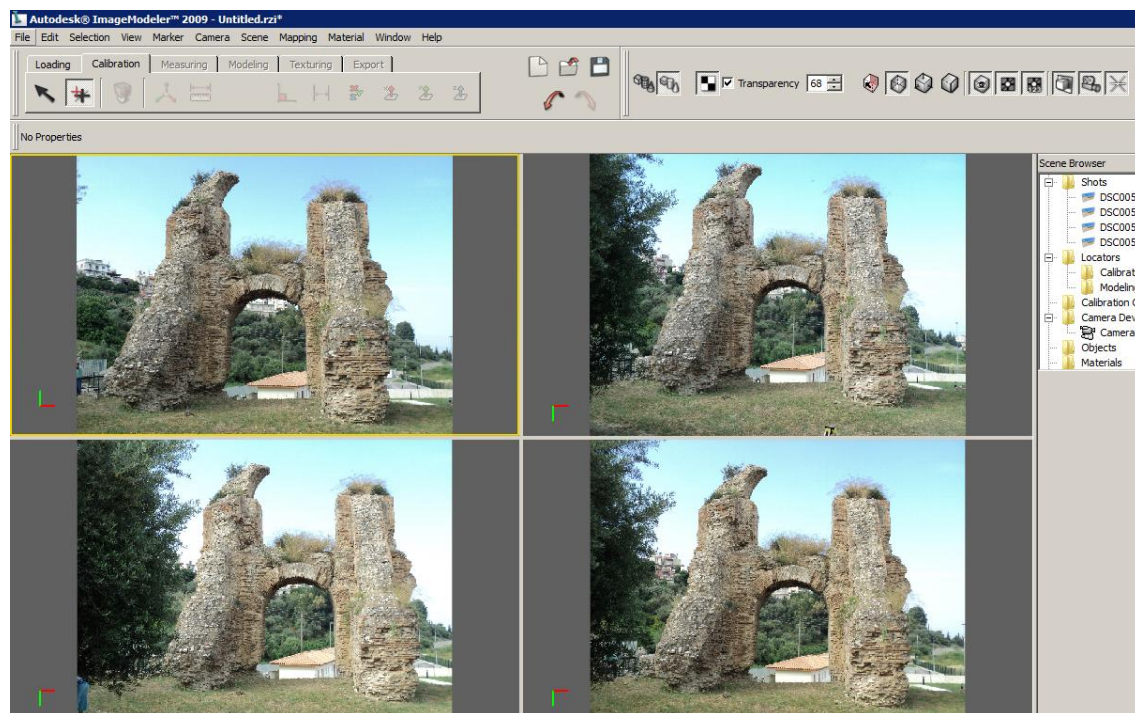
Εικόνα 3. 40 Ο χώρο εργασίας

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3-41, στον χώρο εργασίας εμφανίζεται μια από τις τέσσερις φωτογραφίες, τις οποίες επιλέξαμε, ενώ εμφανίζονται και οι τέσσερις ως εικονίδια στο κάτω μέρος του χώρου εργασίας. Μπορούμε να αλλάξουμε την προτεινόμενη διάταξη, πατώντας **window > layout > four views** (εικόνα 3-42).



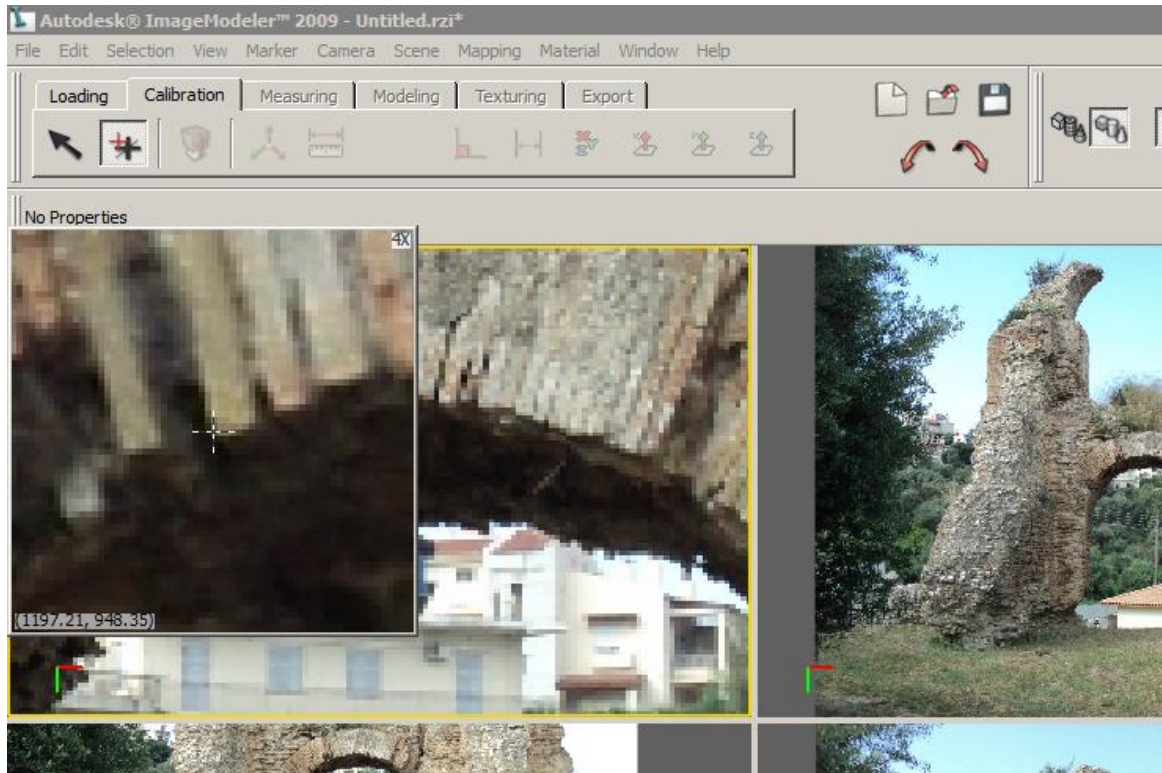
Εικόνα 3. 41 window > layout > four views

Τώρα και οι τέσσερις φωτογραφίες βρίσκονται στο χώρο εργασίας (εικόνα 3-43).

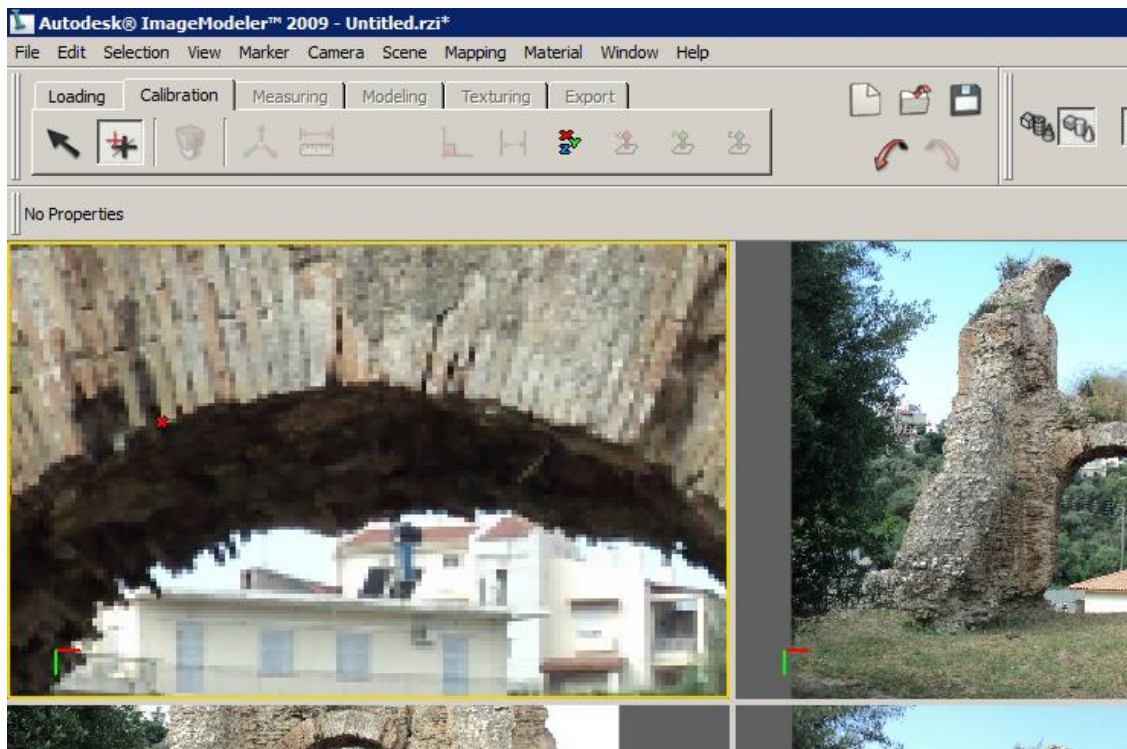


Εικόνα 3. 42 Οι τέσσερις φωτογραφίες

Όπως και στο **iwitness**, έτσι και στο **imagemodeler** τα ίδια χαρακτηριστικά πρέπει να σημειώνονται σε δύο ή περισσότερες εικόνες ώστε το πρόγραμμα να μπορεί να πραγματοποιήσει την διαδικασία συσχέτισης. Μετακινώντας τον κέρσορα πάνω από τις εικόνες, θα πρέπει να δείτε ένα πράσινο δείκτη με τον οποίο θα δημιουργηθεί ένας νέος εντοπιστής (locator). Ο προσδιορισμός 2D σημείων των εικόνων ("δείκτες"), αντιστοιχεί στο ίδιο σημείο στο χώρο ("εντοπιστής"). Για να τοποθετηθεί ο πρώτος δείκτης, κάνουμε κλικ στην πρώτη εικόνα στην αριστερή γωνία. Ο μεγεθυντικός φακός ξεπροβάλλει (κρατάμε το πλήκτρο του ποντικιού πατημένο) (εικόνα 3-44). Σέρνουμε το δρομέα ακριβώς στο σημείο της φωτογραφίας που θέλουμε και αφήνουμε το πλήκτρο του ποντικιού. Ο πρώτος δείκτης έχει τοποθετηθεί και ένα "Locator" έχει δημιουργηθεί (εικόνα 3-45).



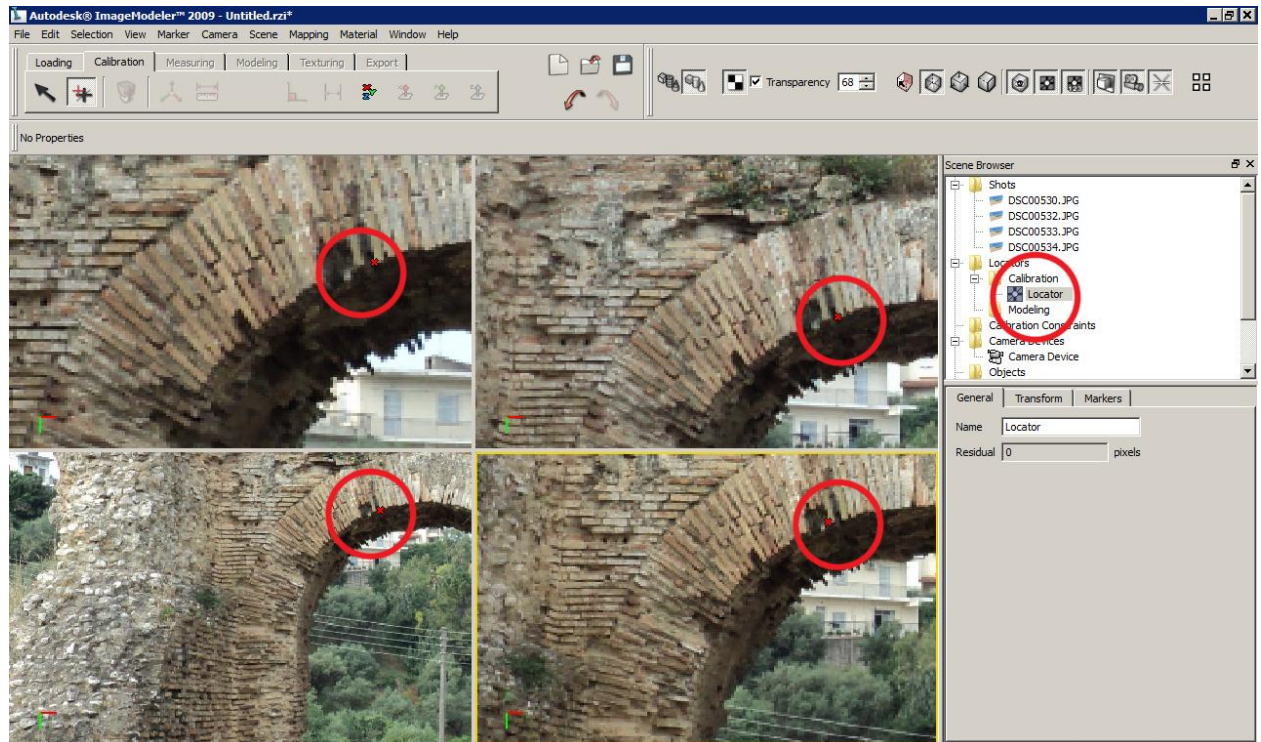
Εικόνα 3. 43 Ο μεγεθυντικός φακός



Εικόνα 3. 44 Ο πρώτος δείκτης

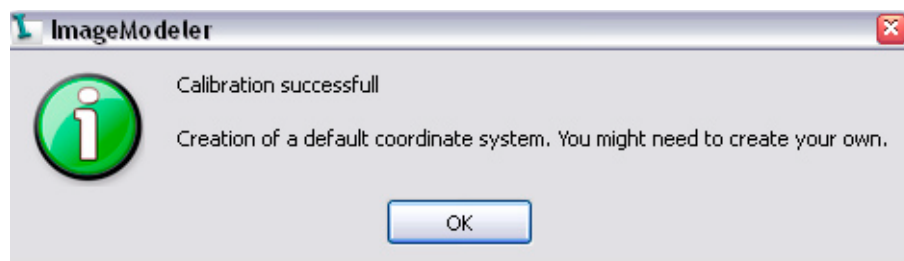
Η ίδια διαδικασία πραγματοποιείτε και στις άλλες τρεις φωτογραφίες. Να σημειωθεί ότι ο δρομέας είναι πλέον λευκός, που δείχνει ότι έχουμε

τοποθετήσει έναν δείκτη ο οποίος αντιστοιχεί σε έναν υπάρχον εντοπιστή. Παρατηρούμε ότι και οι τρεις δείκτες έχουν το ίδιο όνομα, "Locator", που σημαίνει ότι εκφράζουν διαφορετικές απόψεις από το ίδιο σημείο στο διάστημα (εικόνα 3-46).



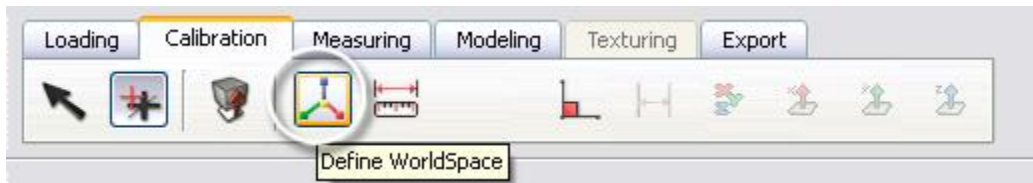
Εικόνα 3. 45 Locator

Όπως και στο iWitness, έτσι και εδώ θα χρειαστεί να τοποθετηθούν επτά με οκτώ σημεία αναφοράς ή εντοπιστές (locators) ώστε να ολοκληρωθεί η βαθμονόμηση. Αφού τοποθετηθεί ο απαιτούμενος αριθμός στοιχείων, το πρόγραμμα εμφανίζει ένα μήνυμα που αναφέρει ότι η βαθμονόμηση ήταν επιτυχής (εικόνα 3-47) και οι εντοπιστές από χρώμα κόκκινο θα αλλάξουν σε χρώμα μπλε.

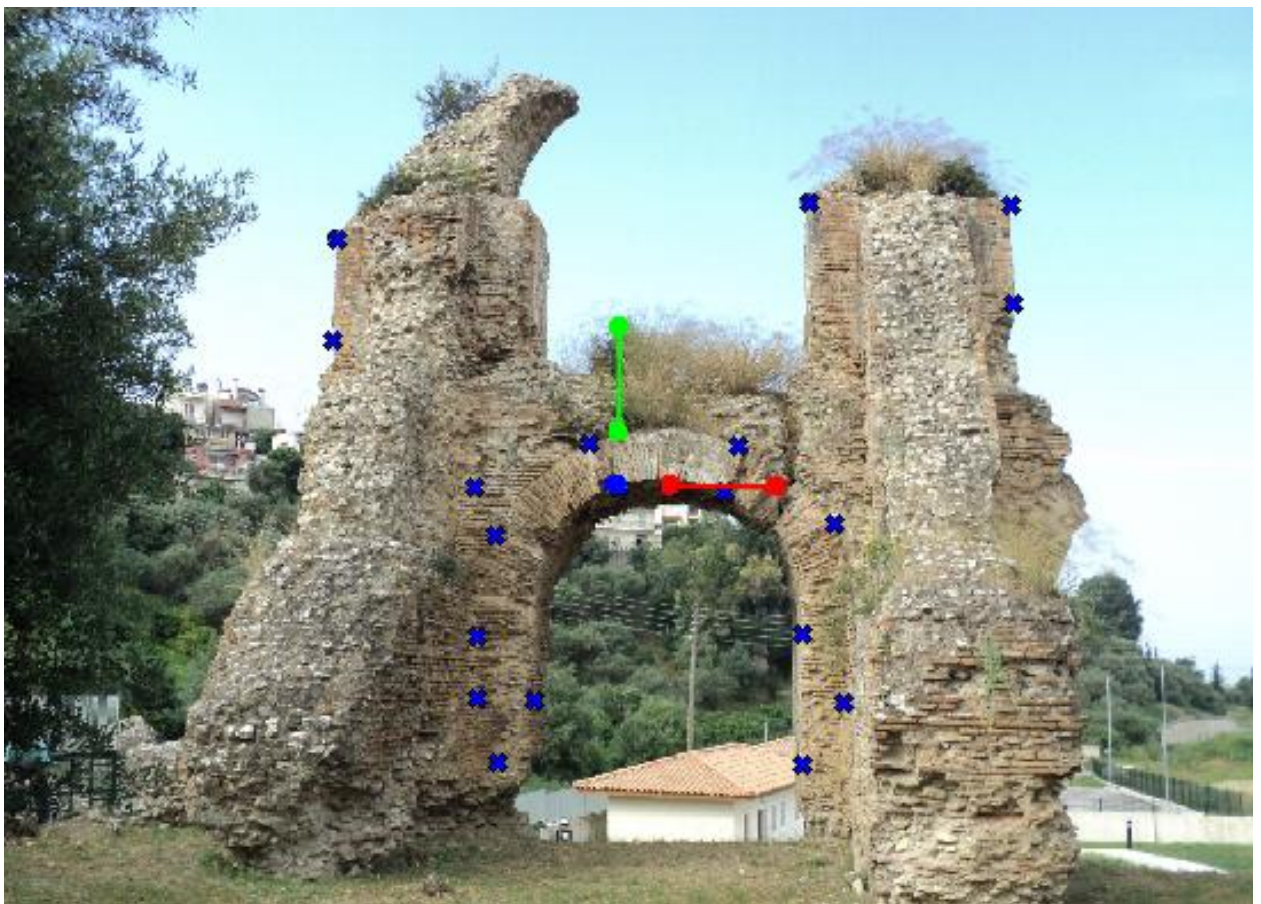


Εικόνα 3. 47 Η Βαθμονόμηση ήταν επιτυχής

Για την βελτίωση της βαθμονόμησης μπορούμε να τοποθετήσουμε επιπλέον εντοπιστές καθώς και να ορίσουμε τον χώρο. Επιλέγουμε το Worldspace tool (εικόνα 3-48) και ορίζουμε τους άξονες πάνω σε μία από τις τέσσερις φωτογραφίες (εικόνα 3-49).



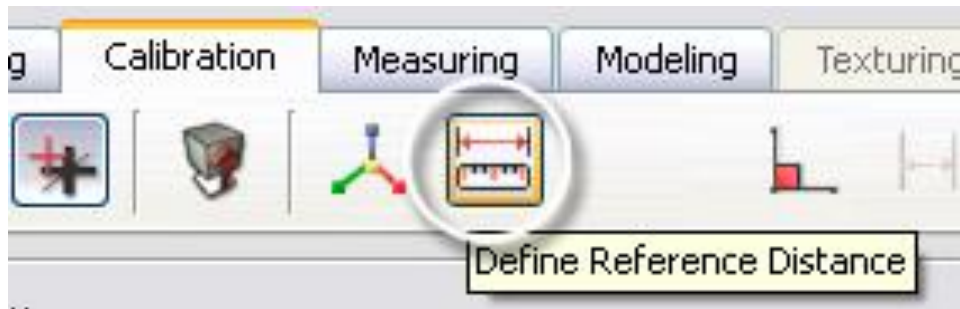
Εικόνα 3. 46 Worldspace tool



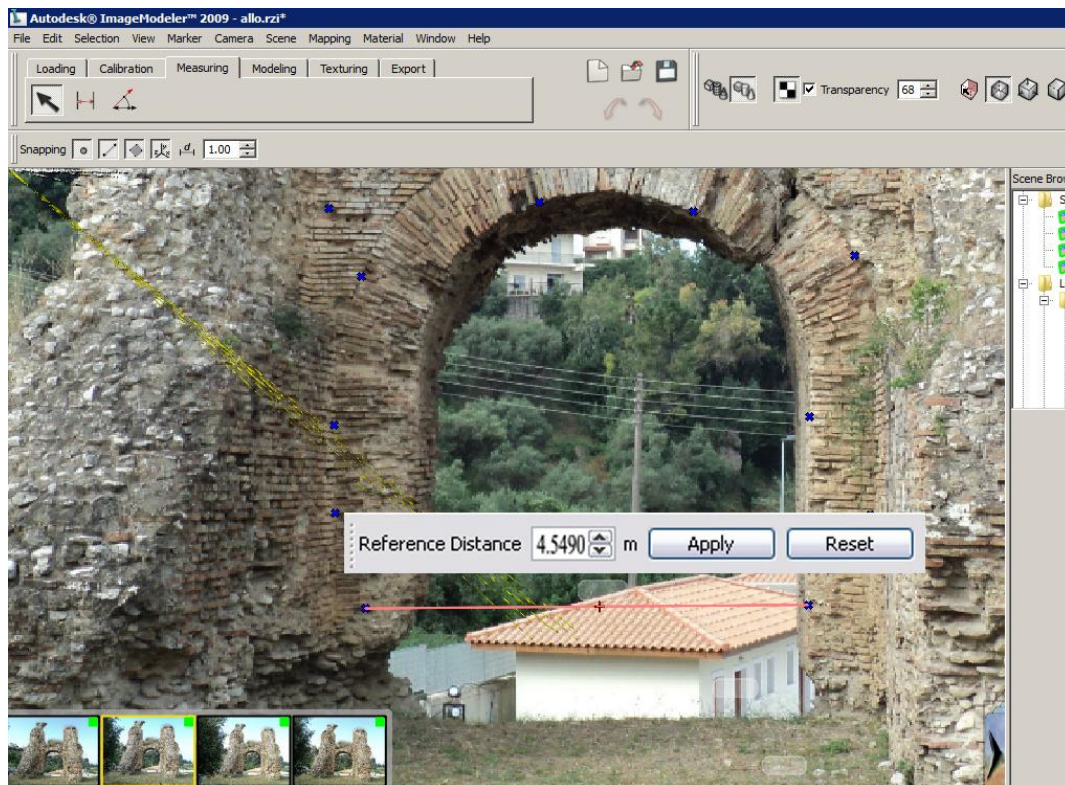
Εικόνα 3. 47 Ορίζουμε τους άξονες

Προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαδικασία και να τοποθετηθούν τα δεδομένα σε περιβάλλον CAD θα πρέπει να οριστεί μια κλίμακα. Αυτό γίνεται μέσω δήλωσης μιας απόστασης μεταξύ δυο σημείων, η οποία αντιπροσωπεύει την πραγματική απόσταση μεταξύ αυτών των σημείων και έχει μετρηθεί στο πεδίο

με συμβατικές μεθόδους τοπογραφίας. Για να δηλωθεί η απόσταση επιλέγουμε το Reference Distance tool (εικόνα 3-50). Στην συνέχεια επιλέγουμε δυο εντοπιστές (locators) και ορίζουμε την απόσταση. Στην περίπτωση αυτή δυο εντοπιστές βρίσκονται σε δυο σημεία των οποίων η απόσταση έχει μετρηθεί στο πεδίο με συμβατικές μεθόδους τοπογραφίας (εικόνα 3-51).

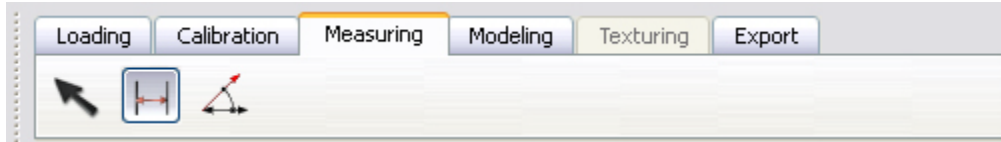


Εικόνα 3. 48 Reference Distance tool



Εικόνα 3. 49 Reference distance

Στην συνέχεια μπορούμε να πάρουμε κάποιες μετρήσεις με την βοήθεια του Distance Ruler (εικόνα 3-52). Αυτές οι μετρήσεις μπορούν να βοηθήσουν στην επαλήθευση και τον έλεγχο της βαθμονόμησης.

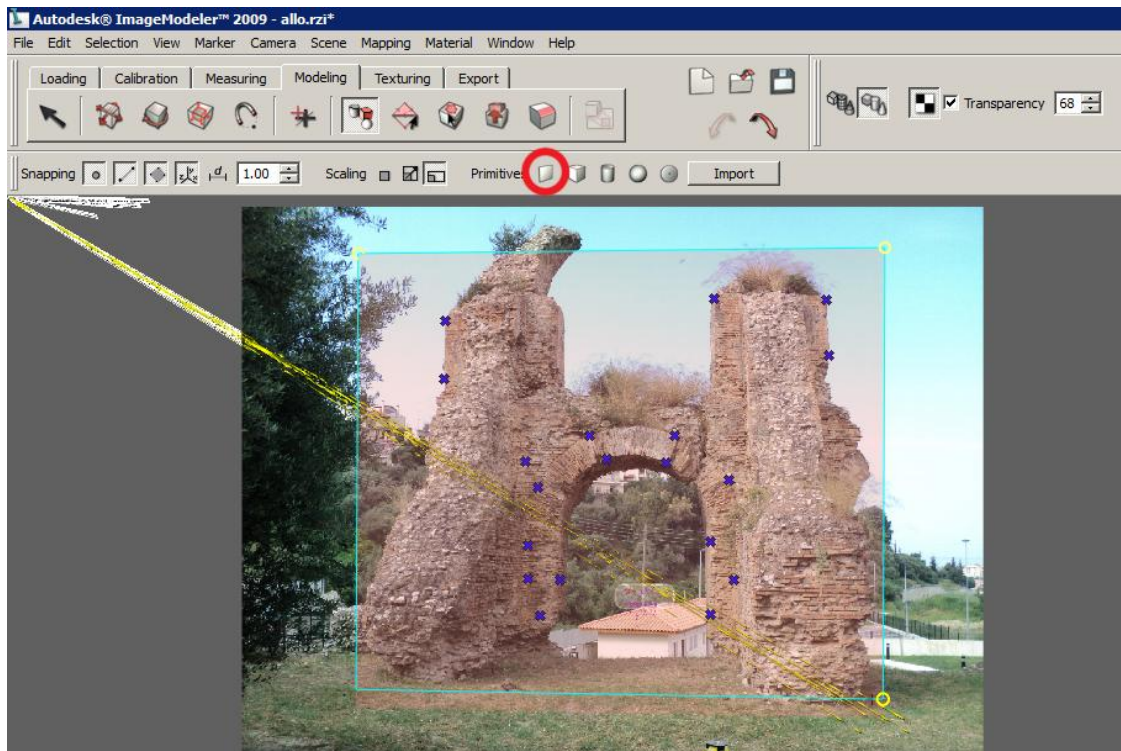


Εικόνα 3. 50 Distance Ruler

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία 3D μοντέλου και η εξαγωγή του σε μορφή κατάλληλη για ένα περιβάλλον CAD. Ενεργοποιώντας το Create Primitive tool (εικόνα 3-53), μπορούμε να επιλέξουμε την επιθυμητή περιοχή για να την εξάγουμε (εικόνα 3-54).

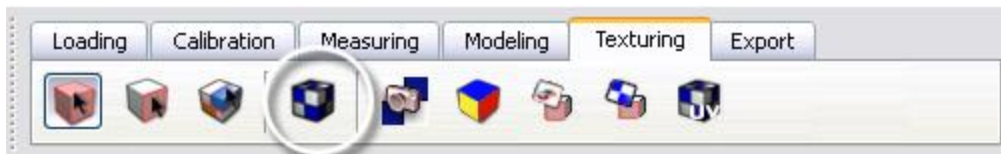


Εικόνα 3. 51 Create Primitive tool



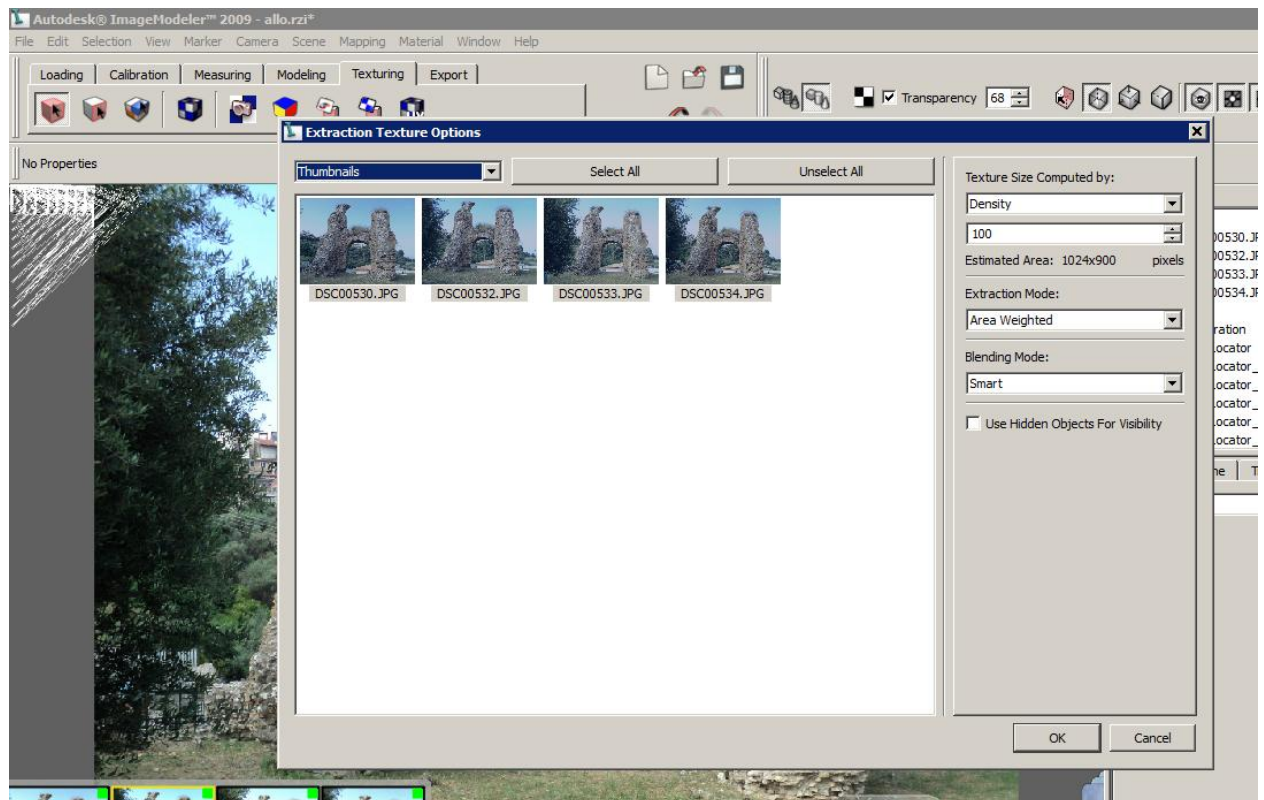
Εικόνα 3. 52 Επιθυμητή περιοχή

Στην συνέχεια επιλέγουμε την καρτέλα Texturing tab. Στην συνέχεια επιλέγουμε το κουμπί extract texture (εικόνα 3-55).



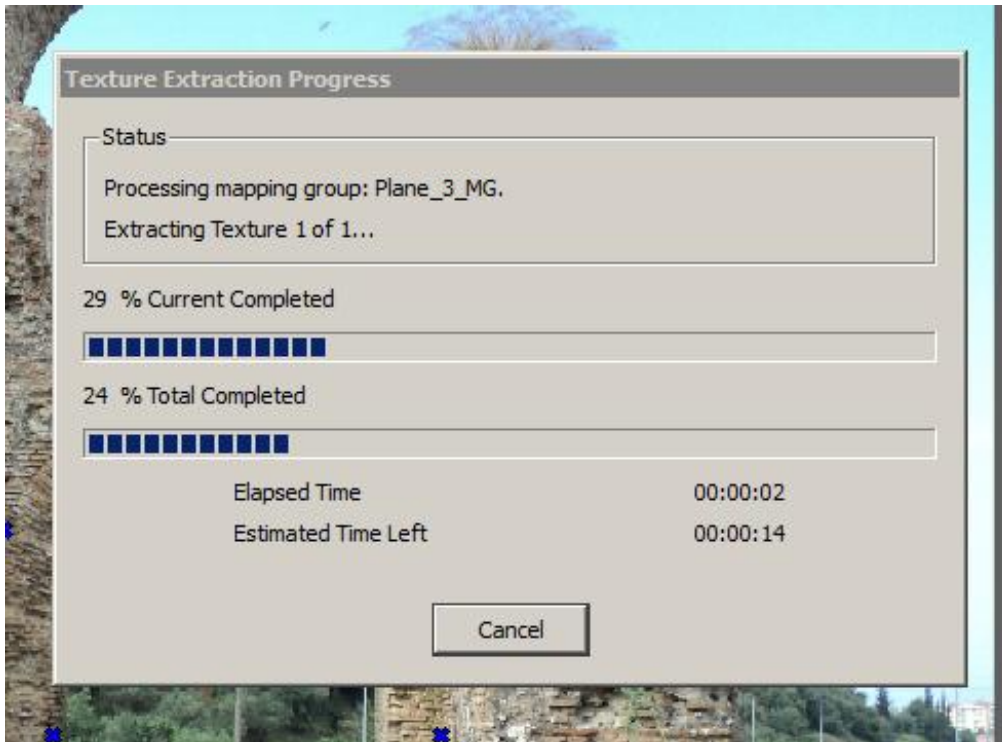
Εικόνα 3. 53 Texturing tab

Προβάλετε ένα παράθυρο το οποίο μας δίνει την δυνατότητα τις επιλογής της φωτογραφίας για την επεξεργασία και εξαγωγή του μοντέλου. Επιλέγουμε και τις τέσσερις φωτογραφίες και πατάμε Οκ (εικόνα 3-56).



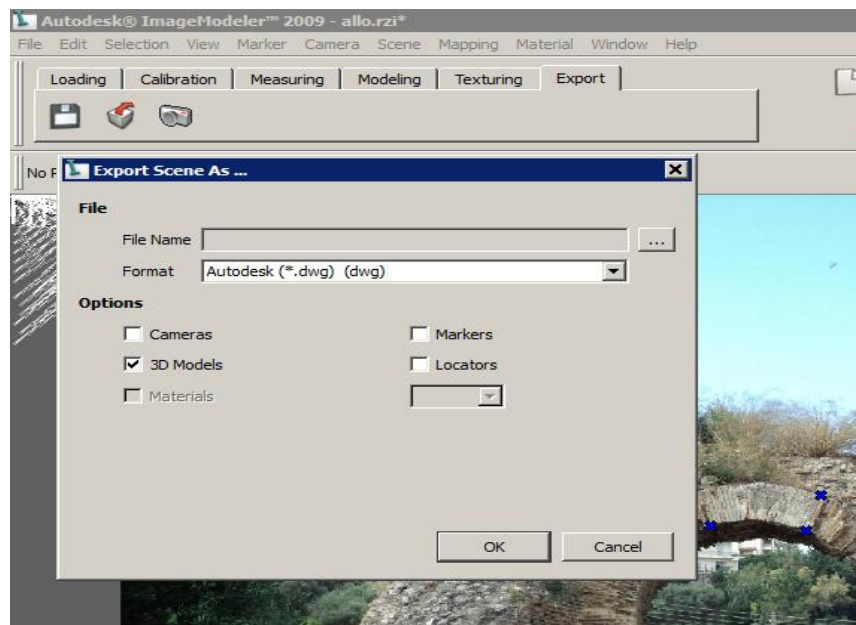
Εικόνα 3. 54 Πατάμε Οκ

Αμέσως μετά θα εμφανιστεί ένα παράθυρο και μία μπάρα η οποία θα δείχνει την πρόοδο της επεξεργασίας της υφής (texturing) (εικόνα 3-57).



Εικόνα 3. 55 Texture extraction progress

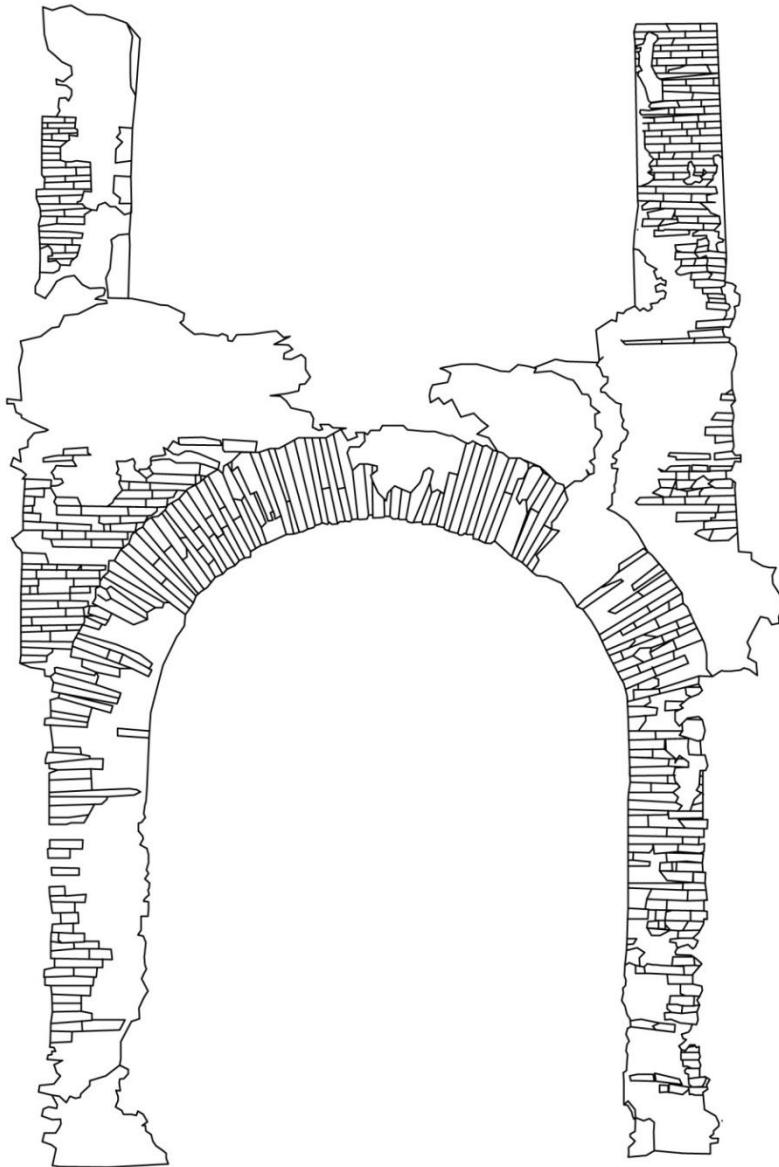
Στην συνέχεια επιλέγουμε την καρτέλα με την ονομασία export. Επιλέγουμε την επιλογή export και εμφανίζεται ένα παράθυρο (εικόνα 3-58) στο οποίο ρυθμίζουμε την επιλογή format σε dwg και πατάμε ok.



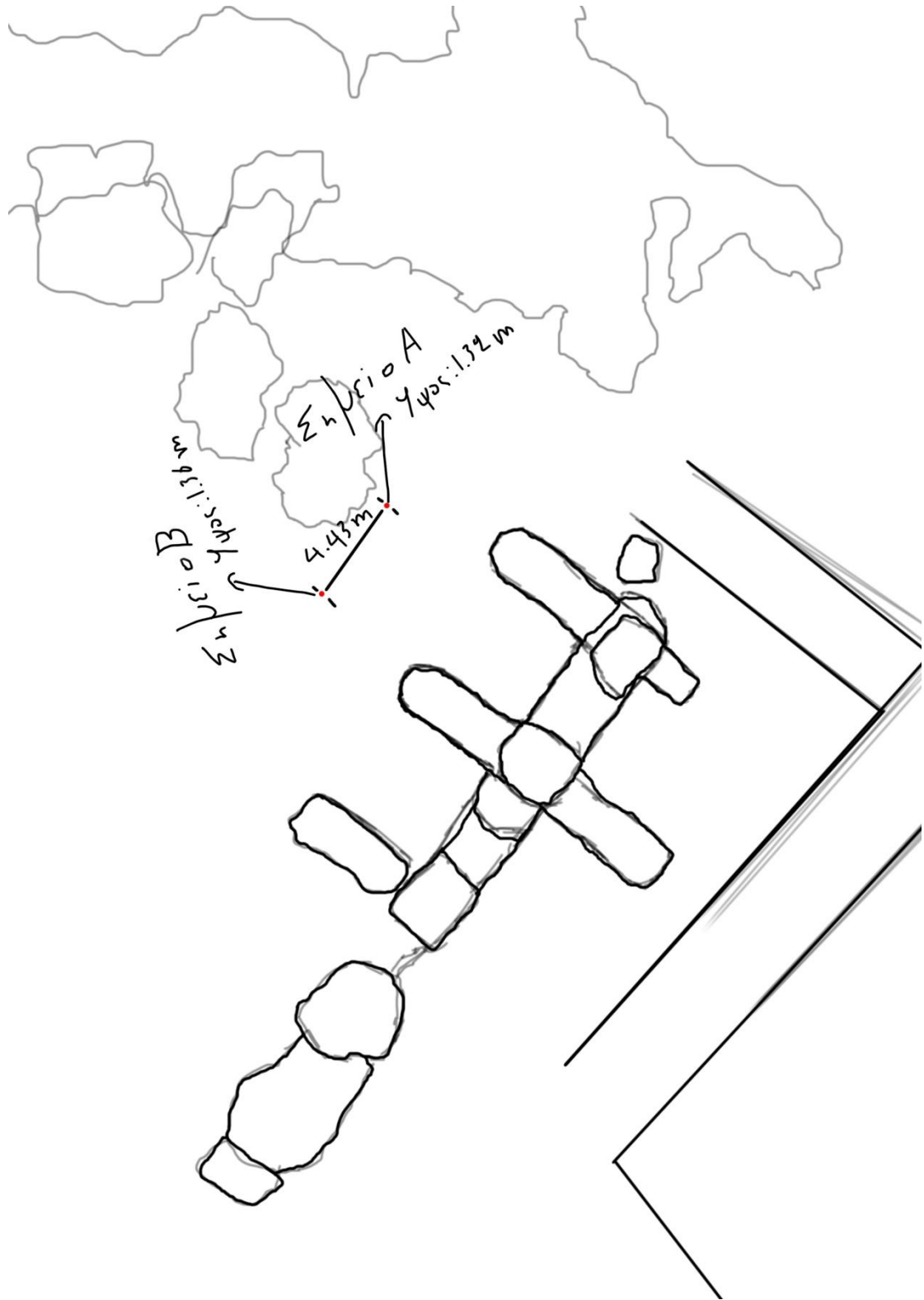
Εικόνα 3. 58 Export scene as

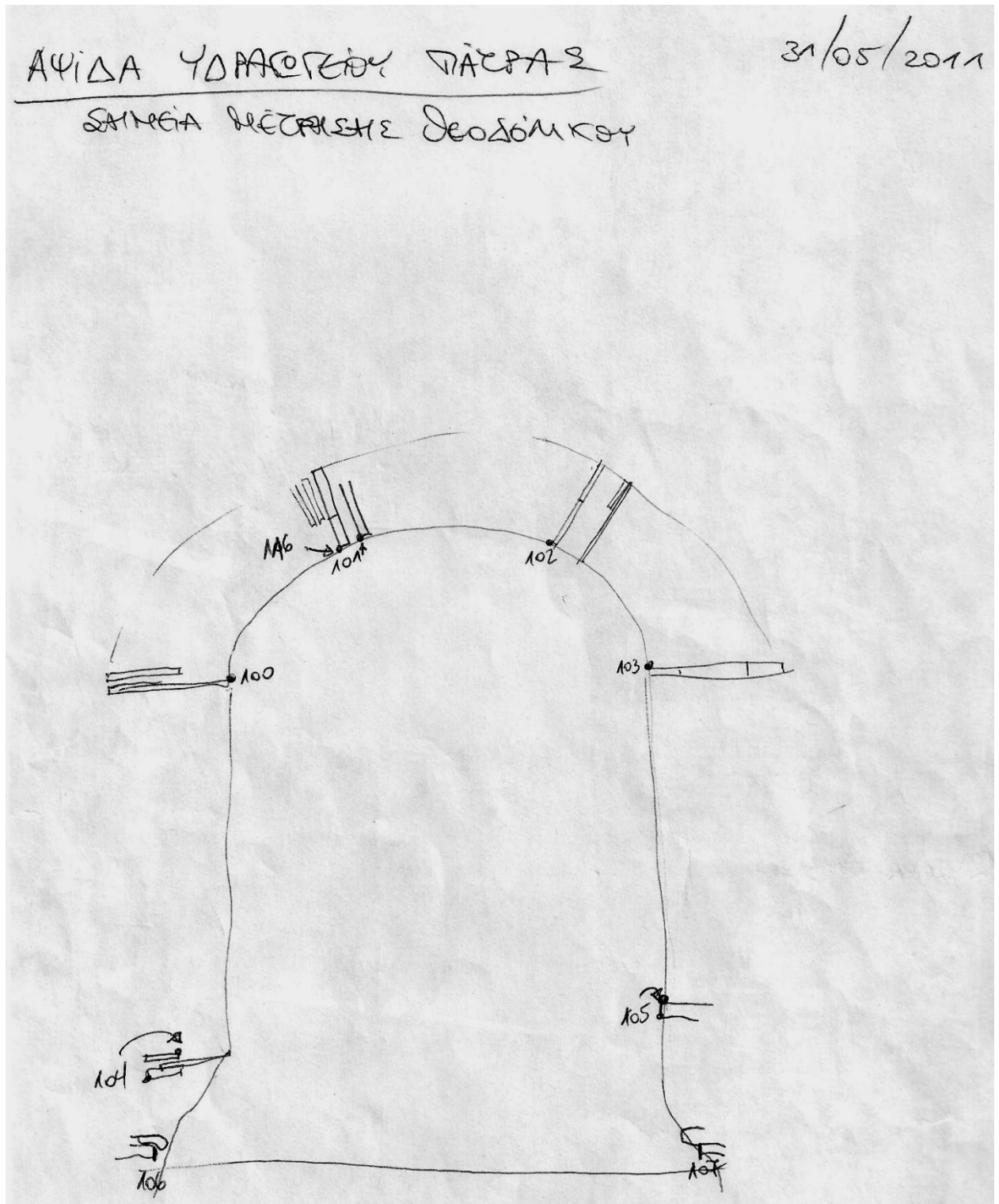
Το **imagemodeler** εξαγει το τρισδιάστατο μοντέλο μαζί με μία διορθωμένη φωτογραφία. Συσχετίζοντας την φωτογραφία με τα σημεία του μοντέλου στο

autocad μπορούμε να σχεδιάσουμε πάνω στην διορθωμένη εικόνα. Παρατηρώντας το αποτέλεσμα του imagemodeler και συγκρίνοντας κάποια από τα κύρια σημεία παρατηρούμε ότι η απόκλιση που υπάρχουν εάν υπάρχουν είναι σχεδόν μηδαμινές, και αυτό το γεγονός δικαιολογείτε από το ότι τα δύο προγράμματα δεν είναι το ίδιο ακριβή (εικόνα 3-59).



Εικόνα 3. 56 Μοντέλου στο autocad





Εικόνα 3. 57 Σημεία μέτρησης θεοδωλικού

Σειρά 1 $\gamma = 1.32 \rightarrow 0.00908$

	V	H2	ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ	
104	103.6348	283.0466		
100	93.2660	284.7700	306.7410	84.7570
101	84.4048	291.5070		
102	85.3430	298.9382	314.6504	98.9364
103	92.9334	304.0206		
105	105.8396	303.3558		
116	84.4858	291.0032		

ΑΠΟΣΤΑΣΗ $\Sigma_{12} = 4.43$

Σειρά 2 $\gamma = 1.36 \leftarrow 0.00908$

	V	H2	ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ	
104	101.3960	64.7240	298.6154	264.7198
100	92.2428	66.6184		
101	83.9710	72.0750		
102	84.3144	79.0700	315.6746	279.0742
103	91.3042	84.2388		
105	103.8780	83.9942	296.1200	283.9856
116	84.0960	71.6140		

ΑΠΟΣΤΑΣΙΟΜΕΤΡΟ

	ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	
	104 ⁸⁴	105 ⁴¹	4.40
	106	107	5.20
	108	109 ⁶⁴	5.30

Εικόνα 3. 61 Μετρήσεις Θεοδόλιχου

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

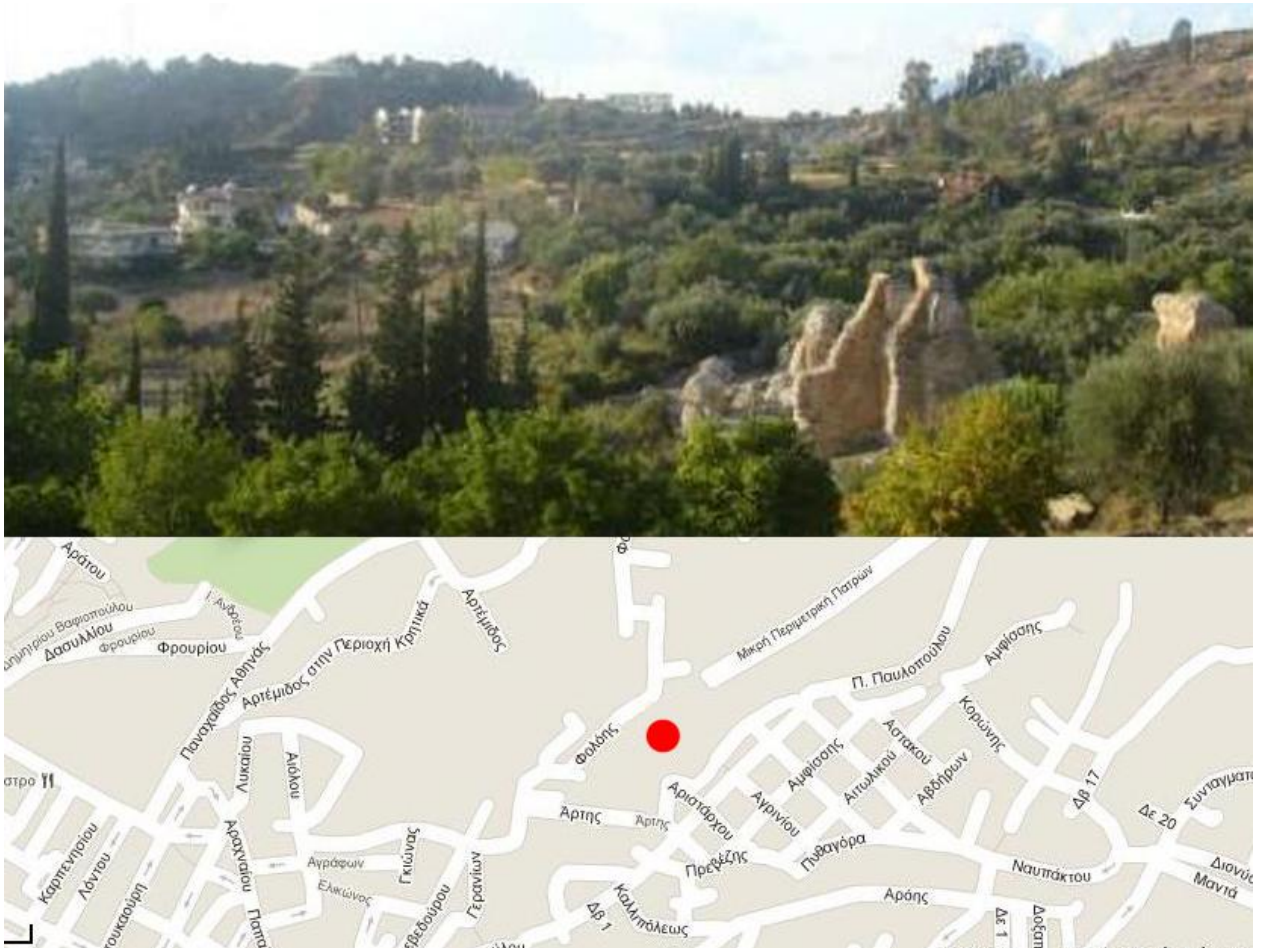
1. Karl Kraus. Φωτογραμμετρία Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα 2003
2. Καρράς Γ. Πέτσα Ε., 2006. Σύγχρονες ψηφιακές τεχνικές τεκμηρίωσης στην επίγεια φωτογραμμετρία
3. Τοκμακίδης Κ., 2004. Αποτυπώσεις μνημείων.
4. <http://el.wikipedia.org/wiki/Φωτογραμμετρία>
5. http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=73&Itemid=54
6. http://www.geomatics.gr/web/profile/services_03.asp
7. <http://en.wikipedia.org/wiki/Theodolite>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1 Εισαγωγή

Αντικείμενο της μελέτης είναι η πρόταση αποκατάστασης μέρος του μνημείου που βρίσκεται στις ρίζες του λόφου του Δασυλλίου και είναι το πρώτο συστηματικό υδραγωγείο της Πάτρας. Η ευρύτερη περιοχή μελέτης είναι ιδιαίτερης ιστορικής και αρχαιολογικής σημασίας λόγω της γεινίασης με το Κάστρο. Το μνημείο είναι υπό την εποπτεία της ΣΤ' εφορίας Κλασικών μνημείων.



Εικόνα 4. 59 Φωτογραφία και σχέση χώρου

Το ρωμαϊκό υδραγωγείο βρίσκεται στη περιοχή δίπλα στην Αρόη, πλησίον των τοπικών οδών Φολόης, Άρτης και Π. Παυλόπουλου στην χάραξη της Μικρής Περιμετρικής είναι μια περιοχή εκτός σχεδίου πόλης, με την αρ.

ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Α1/Φ43/7190/342/13-3-1996 (ΦΕΚ 236/Β/9-4-1996 & ΦΕΚ 537/Β/5-7-1996) Υπουργική Απόφαση κηρύχθηκε η περιοχή του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου ως αρχαιολογικός χώρος. Το μεγαλύτερο μέρος της τοποθεσίας που βρίσκεται το μνημείο έχει πυκνή βλάστηση (ελαιώνα, πρασινάδα και αγριολούλουδα) (εικόνα 4.2).



Εικόνα 4. 2 Φωτογραφία χώρου

4.2 Μορφολογική ανάλυση

Το υδραγωγείο Πατρών, όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο ήταν έργο ρωμαϊκό και κτίστηκε πιθανόν τον 2^ο αιώνα μ.Χ. κατά την βασιλεία του αυτοκράτορα Ανδριανού. Ως ρωμαϊκό έργο φέρει κάθε χαρακτηριστικά ενός υδραγωγείου που κτίστηκε από Ρωμαίους αρχιτέκτονες ή τουλάχιστον με τον ρωμαϊκό τρόπο κατασκευής.

Το τμήμα του ρωμαϊκού υδραγωγείου έχει κάτοψη σχήματος Η στην οποία προσδίδουν αυτό το σχήμα οι αντηρίδες (εικόνα 4.3). Φαίνεται ότι αποτελείται οριζόντια από τρεις ζώνες-τοξοστοιχίες, την κεντρική καμάρα (καμάρα Β), την ανώτερη καμάρα (καμάρα Α), από την οποία λίγα στοιχεία έχουν απομείνει (εικόνα 4.4), και την κατώτερη καμάρα (καμάρα Γ) η οποία είναι επιχωματωμένη στο έδαφος και μέρος της είναι εμφανές από την νότια μεριά του τμήματος (εικόνα 4.5).



Εικόνα 4. 3 Κάτοψη του τμήματος



Εικόνα 4. 4 Καμάρες Α και Β



Εικόνα 4.5 Καμάρα Γ

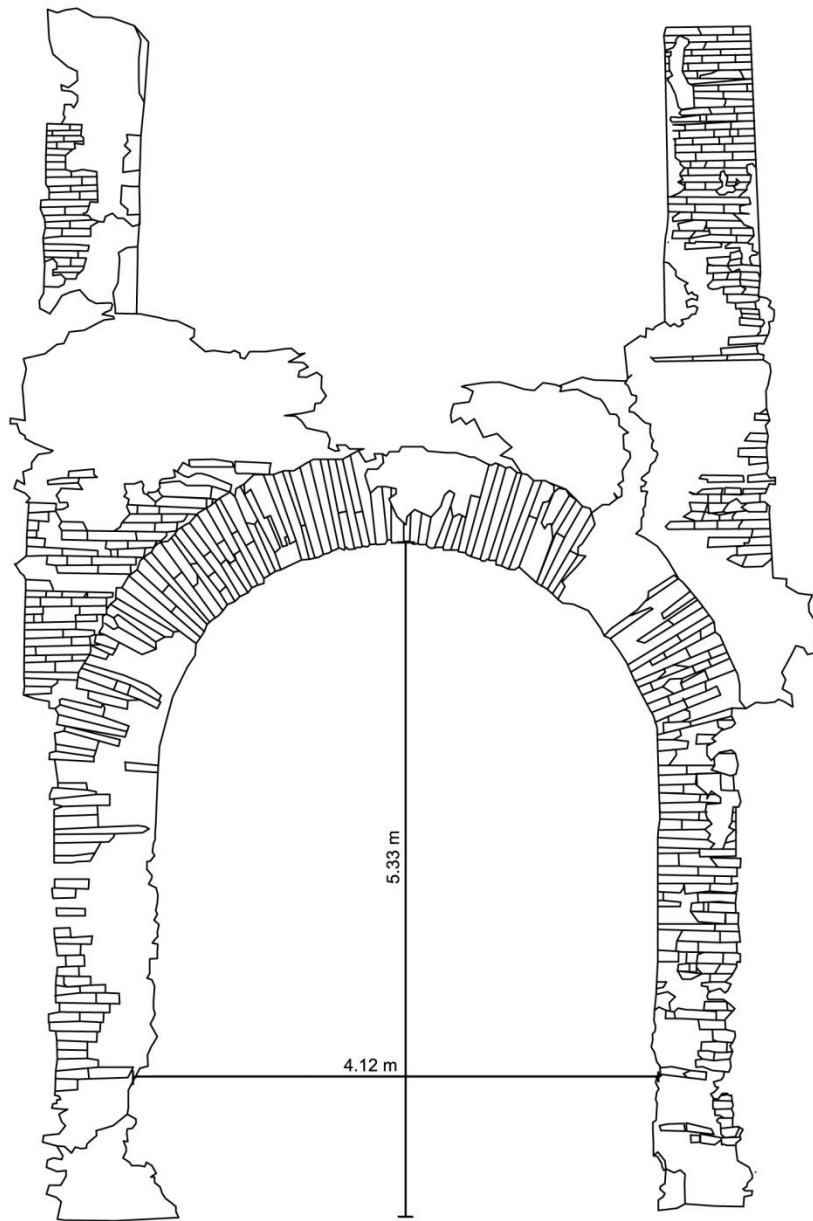
Προς τον κάθετο άξονα μπορούμε να δούμε την συμμετρία που υπάρχει. Θα μπορούσαμε να το χωρίσουμε σε τρία κατακόρυφα μέρη, τις δύο αντηρίδες και το τμήμα της καμάρας. Τα τμήματα των αντηρίδων μας δίνουν μια προδιάθεση της συμμετρίας αυτών σε σχέση με το τμήμα της καμάρας, που υπήρχε (εικόνα 4.6).

Το συνολικό ύψος του τμήματος της γέφυρας, από το έδαφος της βόρειας πλευράς (της πλευράς από όπου πήραμε τις μετρήσεις) έως και το ανώτερο σημείο του υπολογίζεται στα 9.72 μέτρα (σύμφωνα με το λογισμικό Iwitness), ενώ το ύψος του ανοίγματος της καμάρας Β υπολογίζεται στα 5.33 μέτρα και το πλάτος του ανοίγματος της είναι περίπου 4.12 μέτρα (εικόνα 4.7).



Εικόνα 4. 6 Κατακόρυφη μορφολογία

Περίπου το ίδιο πλάτος φαίνεται να έχει και το άνοιγμα της καμάρας Α . Πιθανόν αυτό το πλάτος να χαρακτηρίζει όλες τις καμάρες της γέφυρας του υδραγωγείου (οι πεσσοί της μίας καμάρας εδράζονταν επάνω στον ίδιο άξονα με αυτόν των πεσών της κατώτερης καμάρας). Διαφορά όμως φαίνεται να υπάρχει στο ύψος κάθε καμάρας ανάλογα με την στάθμη κατασκευής της. Η καμάρα Α πρέπει να είχε μικρότερο ύψος από την καμάρα Β. Αυτό μπορεί να δηλώνει ότι το ύψος της καμάρας Γ, η οποία είναι επιχωματωμένη στο έδαφος ήταν μεγαλύτερο. Το συμπέρασμα αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί και από παραδείγματα άλλων υδραγωγείων, τα οποία είχαν κατασκευαστεί με την κατώτερη καμάρα να είναι και η μεγαλύτερη. Η αρχιτεκτονική μορφή της όψης του τμήματος του υδραγωγείου αποτελείται από δύο αντηρίδες και μια τοξοστοιχία η οποία έχει ισχυρά στηρίγματα ορθογώνιας διατομής (πεσσούς). Τα στηρίγματα της άνω τοξοστοιχίας εδράζονταν στο ίδιο άξονα με εκείνων της πάνω (καμάρα Α) και θα μπορούσαμε εύστοχα να υποθέσουμε ότι εδράζοντα στον ίδιο άξονα και με αυτά της καμάρας Γ η οποία είναι επιχωματωμένη. Το μέτωπο του τόξου είναι ακόσμητο.



Εικόνα 4. 7 Σχέδιο Καμάρας Β

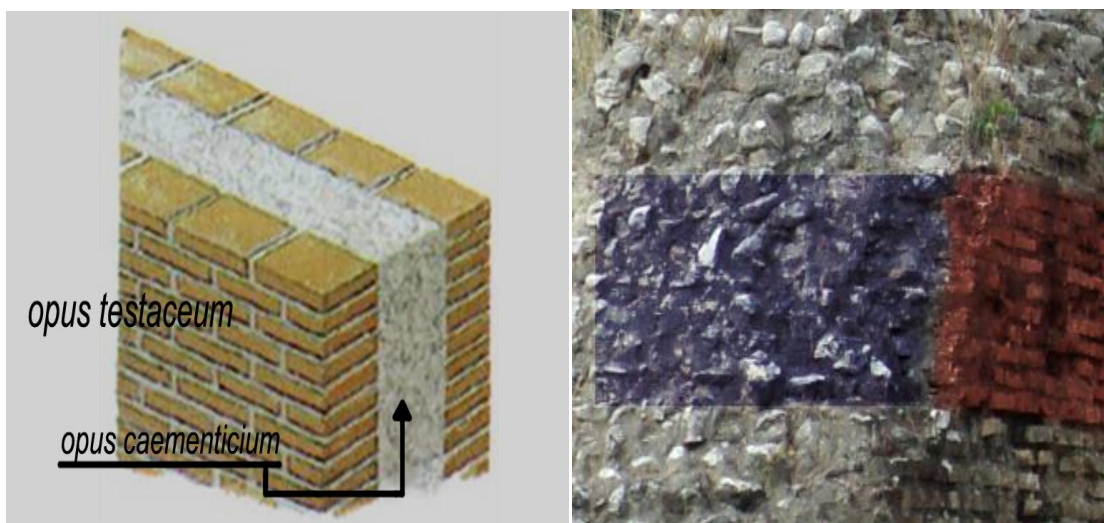
Δεν είναι εφικτό να αξιολογηθούν περαιτέρω τα μορφολογικά του στοιχεία, αφού πολλά μέρη της αρχικής κατασκευής, έχουν καταστραφεί παντελώς ή έχουν απομακρυνθεί από το μνημείο.

4.3 Κατασκευαστική ανάλυση

Όπως προαναφέραμε, το τμήμα του υδραγωγείου είναι σε πολύ κακή κατάσταση. Από την κατάσταση του μπορούμε να διακρίνουμε τα υλικά και τους τρόπους δόμησης που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή του (οπτόπλινθοι, ρωμαϊκό κονίαμα και φυσικοί λίθοι). Ο φέρων οργανισμός του μνημείου είναι η ίδια η τοιχοποιία η οποία αποτελείται από τις ασίδες, τους πεσσούς και τις αντηρίδες.

4.3.α Τοιχοποιία

Σε προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε μερικές από τις ποίδια διαδεδομένες τεχνικές ρωμαϊκής τοιχοποιίας. Η κατάσταση του μνημείου μπορεί να μας υποδηλώσει την τεχνική με την οποία κτίστηκε. Ο βασικός σκελετός που χρησιμοποιήθηκε ήταν το λεγόμενο **Opus caementicium** το οποίο ήταν μια εύκολη και οικονομική λύση. Ο πυρήνας του τοίχου κατασκευαζόταν από κομμάτια πέτρας αναμειγμένα με κονίαμα από ασβέστη και άμμο ανάμεσα σε δυο τοίχους από τόφφους, τούβλα ή μάρμαρο. Οι τοίχοι οι οποίοι ανάμεσά τους τοποθετούνταν το **Opus caementicium** είναι κατασκευασμένοι σύμφωνα με την τεχνική **Opus testaceum – latericium** (εικόνα 4.8). Η έκφραση αυτή αναφέρεται αμιγώς από ωμα τούβλα αρχαιότατης καταγωγής, και αυτός ο τρόπος δόμησης ήταν ευρέως διαδεδομένος σε όλη την μεσόγειο. Αρχικά για τις κατασκευές χρησιμοποιούσαν θραύσματα κεραμικών αλλά στην συνέχεια αντικαταστάθηκαν από τούβλα ολοένα καλύτερης ποιότητας. Τα καμινευμένα τούβλα ονομάζονταν *tegulae*, ενώ τα τούβλα που στέγνωναν στον ήλιο ή ψήνονταν ελαφρά ονομάζονταν *lateres*. Ο πιο συνηθής τύπος των καμινευμένων τούβλων ήταν ο διαχωρισμός τους κατά το πρότυπο του Ρωμαϊκού ποδός.



Εικόνα 4. 8 Τοιχοποιία opus testaceum με πυρήνα opus caementicium

Μερικά από τα είδη τούβλων που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι τα **Bipedales**: Τετράγωνα τούβλα πλευράς 59.2 cm, τα **Seqqipedales**: Τετράγωνα τούβλα πλευράς 44.4 cm και τα **Bassales**: Τετράγωνα τούβλα πλευράς 19.7 cm (εικόνα 4.9). Δεν υπήρχαν μόνο τα τετραγωνικά τούβλα αλλά και τριγωνικά που προέρχονται από την κοπή των παραπάνω.



Εικόνα 4. 9 Παράδειγμα οπτόπλινθου

4.3.β Τόξα

Ένα από τα χαρακτηριστικά κάθε ρωμαϊκού υδραγωγείου είναι τα τόξα και οι καμάρες. Έτσι είναι λογικό ότι και στο συγκεκριμένο τμήμα του ρωμαϊκού υδραγωγείου της Πάτρας ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του θα είναι η καμάρα (εικόνα 4.10). Η αψίδα είναι σημαντική διότι, θεωρητικά τουλάχιστον, παρέχει μια δομή η οποία εξαλείφει τάσεις εφελκυσμού που εκτείνονται σε έναν ανοιχτό χώρο. Όλες οι δυνάμεις επιλύονται σε θλιπτικές καταπονήσεις. Αυτό είναι χρήσιμο, επειδή αρκετά από τα διαθέσιμα οικοδομικά υλικά, όπως πέτρα και σκυρόδεμα μπορούν να αντέξουν σθεναρά την συμπίεση αλλά είναι αδύναμα όταν σε αυτά εφαρμόζονται δυνάμεις οι οποίες προκαλούν παραμορφώσεις όπως εφελκυσμός, διάτμηση και στρέψη. Με την χρήση της αψίδας όλες οι θλιπτικές δυνάμεις κρατούνται σε ισορροπία. Ωστόσο ένα μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι το σχήμα της αψίδας τείνει να σπρώχνει προς τα έξω την βάση αλλά αυτό περιοριζόταν με την κατασκευή μεγάλων πλευρικών βάσεων. Η ίδια αρχή ισχύει και όταν η δύναμη η οποία ασκείται στην αψίδα δεν είναι κάθετη αλλά οριζόντια.



Εικόνα 4. 10 Καμάρες

Οι Ρωμαίοι με την εισαγωγή του σκυροδέματος ως οικοδομικού υλικού ανέπτυξαν και διέδωσαν την αρχιτεκτονική του τόξου και μπόρεσαν να καλύψουν μεγαλύτερους και ποικιλόμορφους χώρους κατασκευάζοντας υδραγωγεία και γέφυρες με την χρήση λιγότερων υλικών. Τα τόξα πολλές φορές παρουσιάζουν το ίδιο είδος μεικτής κατασκευής όπως και οι τοίχοι. Έχουμε την εξωτερική επιφάνεια από τούβλα και ο πυρήνας είναι από opus caementicium. Οι θόλοι αυτοί συχνά κατασκευάζονται από νευρώσεις από τούβλα, οι οποίες χωρίζουν την κατασκευή σε ανθεκτικά πλαίσια τα οποία πληρώνονται με χυτό υλικό (ρωμαϊκό σκυρόδεμα). Πριν από την κατασκευή, ξυλουργοί είχαν τοποθετήσει ένα ξύλινο κεντράρισμα ή πλαίσιο, που υποστηρίζονταν από σκαλωσιές. Η τελική επιτυχία και η αισθητική ποιότητα του τελικού τόξου εξαρτάται από την ακριβή ξυλουργική του πλαισίου στο κατασκεύασμα. Μια από τις σπουδαιότερες διαφορές με άλλα είδη καμάρων είναι το γεγονός ότι εδώ δεν υπάρχει κεντρικός λίθος αψίδας (εικόνα 4.11).



Εικόνα 4. 11 Καμάρα χωρίς κεντρικό κλειδί



Εικόνα 4. 12 Εσωτερικό καμάρας



Εικόνα 4. 13 Καμάρα τμήματος του υδραγωγείου

4.3.γ Αντηρίδες

Οι αντηρίδες του υδραγωγείου αποτελούν και αυτές μέρος του φέροντα οργανισμού του μνημείου (εικόνα 4.14). Έχουν την ίδια τεχνική κατασκευής με το υπόλοιπο μνημείο (Opus testaceum – latericium), ένα πυρήνα από σκυρόδεμα εντειχισμένο σε δύο τοίχοποιίες από τετράγωνους οπτόπλινθους. Επίσης οι αντηρίδες είναι αυτές που προσδίδουν στην κάτοψη το σχήμα Η. Μέσα από την μελέτη που πραγματοποιήθηκε είναι εμφανές ότι κανένα πρωταρχικό σχέδιο υδραγωγείο δεν είχε αντηρίδες. Υπάρχουν μόνο αναφορές προσθήκης αντηρίδων σε υδραγωγεία όπως αυτό της Ponte Lupo. Τα μόνα ερείπια της δομής είναι οι δύο ψηλές καμάρες που είναι σαφώς ορατές στο ρέμα. Υπάρχουν αναφορές ότι ένα αιώνα μετά την κατασκευή της, η γέφυρα είχε επιδεινωθεί σε βαθμό που απαιτούσε σχεδόν πλήρη αντικατάσταση.



Εικόνα 4.14 Αντηρίδες τμήματος του υδραγωγείου

Ο Μάρκος Βιπάνιος Αγρίππας αντικατέστησε όλα με σκυρόδεμα εκτός από τις δύο κεντρικές πέτρινες καμάρες. Οι μηχανικοί του Νέρωνα θα επαναλάβουν αυτό το λάθος ένα αιώνα αργότερα. Μέσα σε λίγες δεκαετίες το έργο του Αγρίππα και πάλι στηρίζονταν με την προσθήκη τοίχων. Ο Τίτος, θεώρησε σκόπιμο να επαναλάβει αυτό, το 79 μ.Χ.. Ο Αδριανός έκρινε αναγκαίο να προσθέσει μερικά τείχη και αντηρίδες, αλλά τίποτα τόσο δραματικό όσο η

πρώην επισκευές. Εάν οι αντηρίδες του τμήματος του υδραγωγείου της Πάτρας ήταν μέρος του αρχικού σχεδίου ή κατασκευάστηκαν αργότερα ως βοήθεια στήριξης του βάρους, είναι άγνωστο, αλλά εάν έγινε για τον δεύτερο λόγο μπορούμε να πούμε ότι οι μηχανικοί ακολούθησαν την νοουθεσία του Βιτρούβιου, ότι δηλαδή οι δομές θα πρέπει να είναι όμορφες και αρμονικές.

4.3.δ Θεμέλια

Για την κατάσταση των θεμελίων σε αυτή τη φάση μελέτης δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία. Το ερώτημα είναι όμως πόσο μεγάλοι θα πρέπει να είναι οι πυλώνες και οι καμάρες, προκειμένου να στηρίξουν το δικό τους βάρος, συν το βάρος του νερού. Οι Ρωμαίοι μηχανικοί πιθανώς κατέφυγαν σε ένα μείγμα εμπειρίας σε συνδυασμό με γραφικά μέσα, τα οποία εξασφάλιζαν ότι το πάχος από τους βασικούς πυλώνες ταιριάζει με το μέγεθος του τόξου και ήταν επαρκείς για να φέρουν το βάρος που διοχετεύεται μέσα από αυτό. Οι πυλώνες θα έπρεπε να κατασκευαστούν πάνω από βαθιά θεμέλια τα οποία στηριζόντουσαν σε σταθερό βράχο ή μια συμπιεσμένη υπόγεια βάση. Δεν θα ήταν αρκετά κοινό για τις βάσεις να φτάνουν αρκετά μέτρα κάτω από το έδαφος. Πιθανόν να κατασκευάζονταν από συμπαγή τούβλα από βράχο, τα οποία πιθανόν συνδέονταν μεταξύ τους με σιδερένια κλειδιά.

4.4 Παθολογία

Λόγω χρόνιας εγκατάλειψης το μνημείο έχει υποστεί σημαντικές βλάβες. Το μνημείο έχει εγκαταλειφθεί εδώ και πολλά χρόνια και παρουσιάζει εικόνα μνημείου επικινδύνως ετοιμόρροπου. Οι φθορές και οι βλάβες έχουν σημειωθεί λόγω της παντελούς έλλειψης συντήρησης και επιδεινώνονται από τους σεισμούς, βροχοπτώσεις και γενικά από τις καιρικές συνθήκες. Μπορούν να γίνουν αντιληπτές έντονες ρωγμές μερικές φορές διαμπερείς, αποκολλήσεις και επισφαλείς στηρίξεις των πεσσών λόγω διάβρωσης.

Βλάβες και φθορές γενικού χαρακτήρα που εκδηλώνονται με διαταραχή της συνέχειας και της μορφής του δομικού συστήματος (καταρρεύσεις τμημάτων, εκτενείς ρηγματώσεις) και μπορεί να προκλήθηκαν από διάφορες καθιζήσεις της θεμελίωσης, καθίζηση εδάφους, σεισμούς και ανερχόμενη υγρασία. Στην δυτική πλευρά της βόρειας όψης του τμήματος του μνημείου, λίγο πιο πάνω από την γέννηση του τόξου της καμάρας, υπάρχει μια διαμπερή ρηγματώση η οποία καλύπτει όλο το πάνω μέρος του μνημείου, από το τόξο και πάνω και αποκολλά την καμάρα από τον πεσσό και είναι έντονα εμφανής και από την νότια όψη (εικόνα 4.15).



Εικόνα 4. 15 Διαμπερές ρηγμάτωση

Στην ανώτερη τοξοστοιχία το μόνο που έχει απομείνει από την άνω καμάρα είναι μέρη των πεσσών της και τμήμα της γέννησης του τόξου της. (εικόνα 4.16).



Εικόνα 4. 16 Πεσσοί άνω καμάρας

Οι πεσσοί της κεντρικής καμάρας παρουσιάζουν προβληματική έδραση λόγω αποκόλλησης της τοιχοποιίας καθώς και ρηγματώσεως της (εικόνα 4.17)



Εικόνα 4. 17 Πεσσοί κεντρικής καμάρας

Οι επιδράσεις της υγρασίας είναι εμφανείς σε κάθε σημείο του μνημείου. Η υγρασία είναι μια από τις μεγαλύτερες απειλές των κατασκευών. Οφείλεται στη δράση του νερού, που είναι ένας φυσικός εξωτερικός παράγοντας, που με διάφορους τρόπους, όπως διάχυσης των υδρατμών είτε από την αέρια φάση, είτε από την υγρή φάση, μέσω του τριχοειδούς φαινομένου, διεισδύει στην μάζα των δομικών υλικών. Διεισδύει στις κατασκευές στην αρχή χωρίς να γίνει αντιληπτή και κάνει την εμφάνισή της αργότερα, αφού έχει ήδη εξαπλωθεί στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων και προκαλεί ποικιλόμορφες βλάβες και φθορές.

Η παρουσία της μπορεί να επιφέρει στα υλικά φυσικές, χημικές και μηχανικές αλλοιώσεις, όπως, αποκολλήσεις, ρηγματώσεις, διαβρώσεις, διογκώσεις κ.τ.λ. Επίσης ανάλογα με το βαθμό προσβολής των υλικών μπορεί να εξαλείψει τις θερμομονωτικές τους ιδιότητες και να συντείνει στην ανάπτυξη και συντήρηση επιβλαβών φυτικών και ζωικών μικροοργανισμών.

Τα νερά της βροχής μπορούν να δράσουν σε μια κατασκευή κατά δύο τρόπους, είτε κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης είτε εκ των υστέρων. Στην πρώτη περίπτωση ο κίνδυνος προέρχεται από τη βροχή που πέφτει κατακόρυφα, προσβάλλοντας τις οριζόντιες απολήξεις του κτίσματος (δώμα, στέγη), ή από τη βροχή που πέφτει πλαγίως, προσβάλλοντας έτσι τα κατακόρυφα τοιχώματα. Στην δεύτερη περίπτωση ο κίνδυνος προέρχεται από τη συγκέντρωση των νερών σε κάποιο σημείο λόγω της αδυναμίας τους να βρουν δίοδο διαφυγής.

Η προσβολή των παλιών κτιρίων είναι κατά κανόνα ευκολότερη καθώς συνεπιδρούν στην δράση της, ο χρόνος, η φύση των υλικών και οι μεγάλοι όγκοι των κατασκευών. Οι παλιές κατασκευές απαιτούν ξεχωριστή και προσεκτική αντιμετώπιση, που επιβάλλεται από την ίδια την υπόστασή τους,

επειδή μια οποιαδήποτε επέμβαση μπορεί να αλλοιώσει τα χαρακτηριστικά τους και να μειώσει την ιστορική τους αξία.

Επιπτώσεις από την υγρασία οφείλονται σε μακροχρόνιες διαρκείς ή περιοδικές επιδράσεις της υγρασίας στα υλικά. Οι επάλληλες διυγράνσεις και εξατμίσεις επιφέρουν διογκώσεις και συρρικνώσεις που καταστρέφουν την συνάφεια των υλικών. Δημιουργούν θραύσεις και ρηγματώσεις. Το νερό έχει την ικανότητα να αυξάνει τον όγκο του κατά 10% όταν παγώσει. Η αύξηση του όγκου του νερού είναι εγκλωβισμένη στους πόρους των υλικών, επιφέρει την διάρρηξη του ιστού τους και επομένως την θραύση τους. Οι ανώτεροι ορόφοι, οι στέγες, τα δώματα, τα στηθαία κ.τ.λ. είναι αυτά που επιβαρύνονται περισσότερο. Μειώνουν ή εξαλείφουν τις θερμομονωτικές ιδιότητες των υλικών. Αναπτύσσουν φυτοφύα και μικροοργανισμούς. Τα αναπτυσσόμενα φυτά, κυρίως μύκητες και λιχίνες διεισδύουν με τις ρίζες τους στους πόρους των υλικών και τα καταστρέφουν.

Βλάβες τοπικού χαρακτήρα που εκδηλώνονται με φθορές των υλικών δόμησης (λίθοι, τούβλα, κονιάματα). Αποδιοργάνωση σε αρκετές θέσεις, του κονιάματος δομήσεως λόγω ανερχόμενης υγρασίας. Η αποδιοργάνωση αυτή εντοπίζεται κυρίως στους αρμούς των οπτόπλινθων (εικόνα 4.19) κυρίως στην περιοχή των πεσσών στους οποίους εδράζονται οι εσωτερικοί τοίχοι του μνημείου καθώς και στις αντηρίδες (εικόνα 4.18).



Εικόνα 4. 18 Αποδιοργάνωση, αποσάθρωση και αποκόλληση κονιάματος



Εικόνα 4. 19 Αποδιοργάνωση, αποσάθρωση και αποκόλληση κονιάματος

Ανάπτυξη χαμηλής βλάστησης τόσο στον ημικυλινδρικό θόλο της κάμαρας ο οποίος ήταν επιχρισμένος, όσο και στη στέψη των τοίχων (εικόνα 4.20, εικόνα 4.21).



Εικόνα 4. 20 Ανάπτυξη φυτικών ριζών στον ημικυλινδρικό θόλο της κάμαρας



Εικόνα 4. 21 Ανάπτυξη χαμηλής βλάστησης στη στέψη των τοίχων

Επίσης σχεδόν σε όλη την βόρια όψη του τμήματος του μνημείου υπάρχουν έντονες αποκολλήσεις της τοιχοποιίας (εικόνα 4.22, εικόνα 4.23).



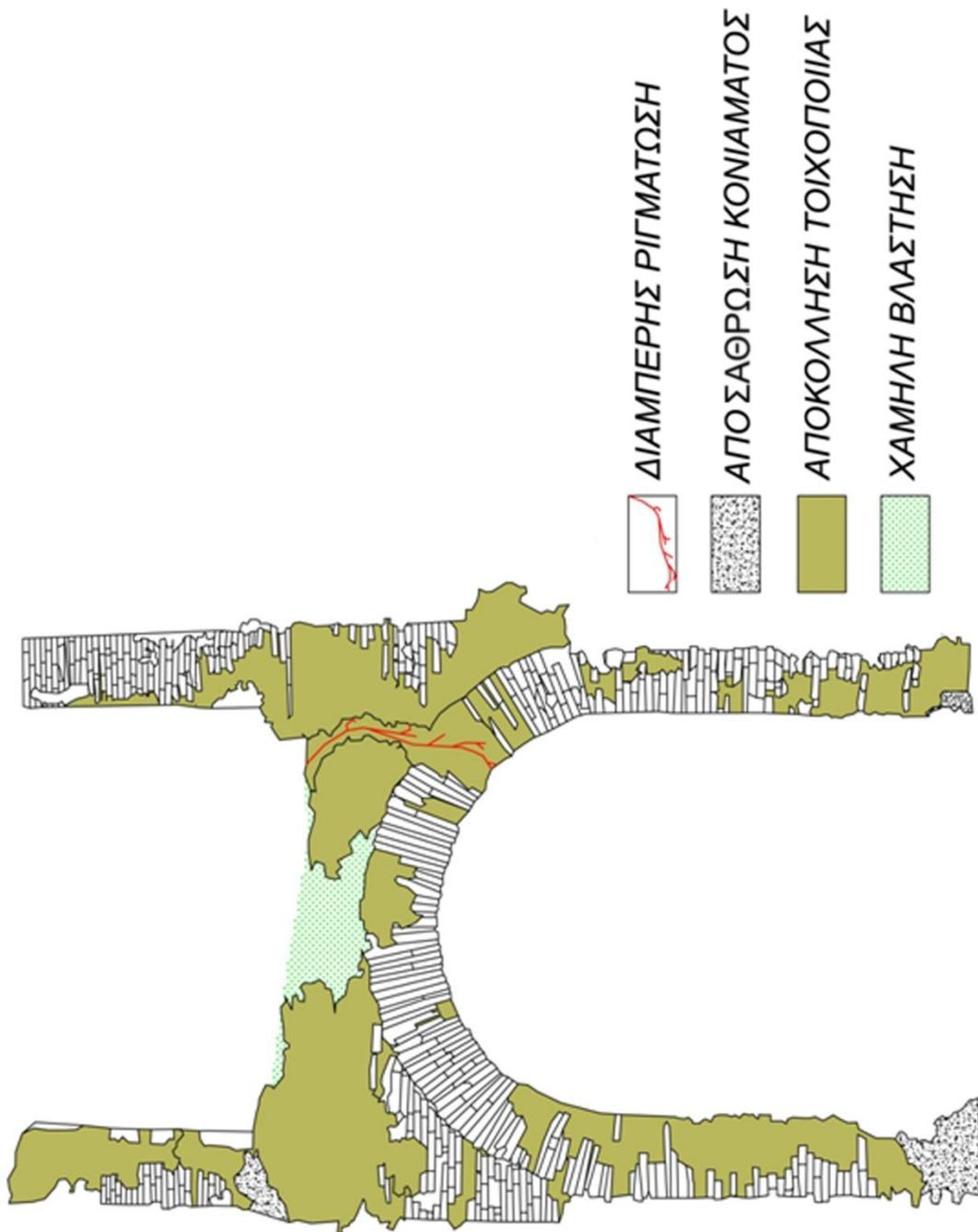
Εικόνα 4. 22 Αποκολλήσεις της τοιχοποιίας



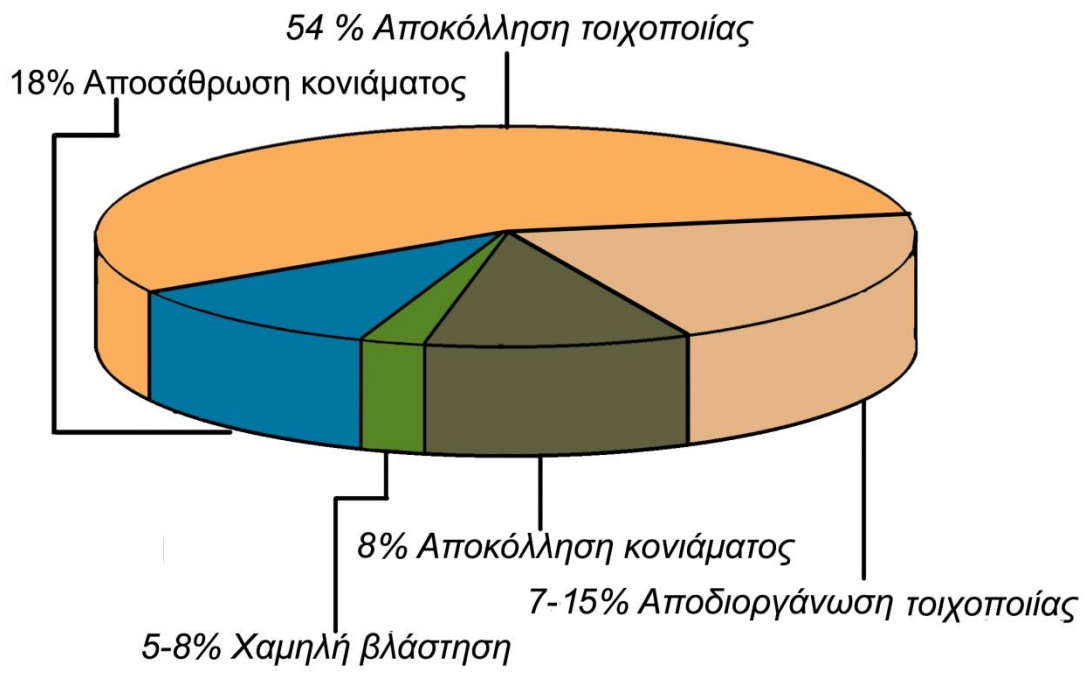
Εικόνα 4. 23 Αποκολλήσεις της τοιχοποιίας

4.5 Αξιολόγηση

Όλο το τμήμα του μνημείου βρίσκεται σε πολύ άσχημη κατάσταση. Παράγοντες που συντελούν στη φθορά των δομικών οπτόπλινθων του μνημείου μπορούν να διακριθούν σε φυσικούς, χημικούς, βιολογικούς κλιματολογικούς και γεωλογικούς. Ένας παράγοντας μπορεί να είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας η οποία προκαλεί τη χαλάρωση της σύνδεσης των υλικών και την δημιουργία ρηγματώσεων. Δεν μπορεί να αποκληθεί και η ιδέα της συνεχής έκθεσης των δομικών υλικών στον άνεμο και στην αμμοβολή τα οποία φθείρουν τις επιφάνειες αυτών. Οι μικροοργανισμοί, τα ζώα και τα φυτά είναι δυνατόν να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές είτε με την έκκριση ποσοτήτων οργανικών οξέων είτε με την κατακράτηση νερού. Βλάβες που προέρχονται από σεισμούς και από καθιζήσεις ή δονήσεις του εδάφους μπορεί να είναι καταστρεπτικές για την ευστάθεια του ιστορικού μνημείου. Η χρονολογία κατασκευής του μνημείου και των στοιχείων που το απαρτίζουν σε συνδυασμό με την πρωτοτυπία των μορφολογικών, τυπολογικών και κατασκευαστικών χαρακτηριστικών που αυτά φέρουν ορίζουν μια ποιότητα μνημειακού έργου που εκφράζει την εποχή και τον τόπο στον οποίο βρίσκεται. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με την κατάσταση διατήρησής του είναι τα δεδομένα για την αξιολόγηση του έργου. Αξιολογούνται τα επιμέρους στοιχεία που το συγκροτούν, ως ίχνη ολόκληρης της ιστορικής διαδρομής του, ώστε σε μια επέμβαση αποκατάστασης να μπορεί να κριθεί η σημαντικότητα τους και το πόσο είναι άξια διατήρησης ή μη.



Εικόνα 4. 24 Παθολογία



Εικόνα 4. 25 Παθολογία- ποσοστιαία πύτα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ

5.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Το φως αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα που όταν αλληλεπιδρούν με την ύλη απορροφούνται σκεδάζονται, ανακλώνται ή διαδίδονται μέσα σε αυτή. Μελετώντας την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη, μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες σχετικά με τη δομή της ύλης και γενικότερα την ποιότητα και την ποσότητα της. Για την ακριβέστερη ανάλυση της ύλης αναπτύχθηκαν κατάλληλα οπτικά συστήματα, οι φασματογράφοι (ή φασματοσκόπια απορρόφησης), που μπορούν να κάνουν αυτόματα, γρήγορα και αξιόπιστα ανάλυση του φάσματος του φωτός αφού αλληλεπιδράσει με την ύλη. Μετρώντας την απορρόφηση μιας δέσμης φωτός συγκεκριμένου μήκους κύματος από ένα δείγμα και κατασκευάζοντας την καμπύλη απορρόφησης-συγκέντρωσης, μπορούμε να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα για το είδος, τη δομή και τη συγκέντρωση μιας ουσίας που περιέχεται στο δείγμα.

5.2 Φασματοσκοπία

Η Φασματοσκοπία είναι κλάδος της Φυσικής και ιδιαίτερα της Οπτικής ή Κυματικής οπτικής που ασχολείται με την έρευνα και τη μελέτη της δομής, της σύστασης και των ιδιοτήτων των φασμάτων της ύλης καθώς και των διαφόρων ακτινοβολιών. Η Φασματοσκοπία έχει ως προέλευσή της το περίφημο εκείνο πείραμα του Νεύτωνα που πρώτος το 1668 πέτυχε να λάβει φάσμα του Ηλιακού φωτός με παρεμβολή ενός διαφανούς πρίσματος στη πορεία λεπτής φωτεινής δέσμης. Με αυτό τον τρόπο έλαβε δηλαδή μια πολύχρωμη επιμήκη δέσμη που αποτελούνταν κατά σειρά τα χρώματα: κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, μπλε και ιώδες. Από το πείραμα εκείνο παρεμβάλλοντας στη σειρά και δεύτερο ισότροπο πρίσμα και διαπιστώνοντας

πως κάθε μια μονοχρωματική αναδύομενη δέσμη δεν αναλύεται συμπέρανε τα ακόλουθα:

1. Οι διαφόρων χρωμάτων φωτεινές ακτίνες παρουσιάζουν διαφορετική διάθλαση.
2. Οι ηλιακές ακτίνες αποτελούν μίγμα ακτινών διαφόρου διάθλασης.
3. Οι ακτίνες που δεν αναλύονται από το διαφανές πρίσμα αποτελούν απλό φως (σε αντιδιαστολή του σύνθετου).

Σήμερα γνωρίζουμε ότι το φως είναι ημιτονοειδής παλμική κίνηση που χαρακτηρίζεται από το μήκος κύματος αυτής.

Το 1802 ο Βόλλαστον εξετάζοντας το ηλιακό φάσμα λεπτομερέστερα παρατήρησε πλήθος σκοτεινών παράλληλων ραβδώσεων. Το 1814 ο Ιωσήφ Φραουνχόφερ μελέτησε τις ραβδώσεις αυτές και σύγκρινε διάφορα φάσματα με του ηλιακού. Έκτοτε οι ραβδώσεις αυτές του ηλιακού φάσματος φέρονται ως ραβδώσεις Φραουνχόφερ.

Μερικές εξ αυτών είναι λεπτότατες και άλλες εντονότερες ενώ η όψη και η διάταξη αυτών είναι ανεξάρτητες της ύλης και της διαθλαστικής γωνίας του πρίσματος. Την εξήγηση των ραβδώσεων έδωσε το 1859 ο Κίρχοφ που διαπίστωσε πως αυτές οφείλονται στην ύπαρξη διάπυρων αερίων στοιχείων στον Ήλιο, όπως νατρίου, (ραβδώσεις D), καλίου (ραβδώσεις A-B), σιδήρου κ.λπ. Η διαπίστωση όμως αυτή ήταν αρκετή για την γένεση της φασματοσκοπικής χημικής ανάλυσης.

Στη πράξη για να ληφθεί καθαρό ηλιακό φάσμα χωρίς δηλαδή τα διάφορα χρώματα να επικάθονται το ένα του άλλου αρκεί η παρεμβολή ενός συγκλίνοντος φακού μεταξύ σχισμής κατευθυντήρα και του πρίσματος του φασματοσκοπίου. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες φασματοσκοπίας: Απορρόφησης, εκπομπής και σκέδασης.

Ανάλογα με την ακτινοβολία παρατήρησης και τον τρόπο μέτρησης, υπάρχουν οι εξής μέθοδοι φασματοσκοπίας:

- Φθορισμού
- Ακτινών X
- Φλογοφωτομετρία
- Ατομικής Εκπομπής

- Ατομικής Απορρόφησης
- Υπέρυθρη

Πυρηνική μαγνητική φασματοσκοπία συντονισμού και άλλες.

5.3 Φασματοσκοπία υπερύθρου

Η φασματοσκοπία υπερύθρου στηρίζεται στην αλληλεπίδραση της ύλης με το υπέρυθρο φως. Η αλληλεπίδραση αυτή προκαλεί αλλαγές στη διπολική ροπή του μορίου, που μελετάται δημιουργώντας δονήσεις. Οι δονήσεις αυτές, που εμφανίζονται σε ένα φάσμα υπερύθρου μπορούν να μας δώσουν την ταυτότητα των χημικών ειδών, που υπάρχουν στο δείγμα. Συνήθως μετράται η απορρόφηση του φωτός από το δείγμα σε σχέση με συχνότητα η οποία εκφράζεται από το νόμο των Beer-Lambert, (στην οπτική ο νόμος των Beer-Lambert αφορά την απορρόφηση του φωτός με τις ιδιότητες του υλικού, μέσω των οποίων το φώς ταξιθεύει).

5.4 Ιστορική αναδρομή

Τη δεκαετία του 1980 οι William Abney και Festing ερευνούσαν το υπέρυθρο φάσμα οργανικών ενώσεων και συνέστησαν τη χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας ως εργαλείο για την αναγνώριση οργανικών μορίων. Ο William Coblentz απέδειξε ότι διαφορετικές ομάδες ατόμων και μορίων απορροφούν συγκεκριμένα και χαρακτηριστικά μήκη κύματος στην περιοχή του υπέρυθρου φάσματος. Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκόσμιου πολέμου η φασματοσκοπία υπερύθρου χρησιμοποιούνταν από τους Συμμάχους προκειμένου να εξακριβώσουν τα συστατικά των βομβών των Ναζί. Μετά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, άρχισε να γίνεται η τεχνική ευρύτερα γνωστή και να εξελίσσεται διαρκώς. Το πρώτο χαμηλού κόστους φασματοφωτόμετρο το οποίο ήταν σε θέση να σημειώνει το υπέρυθρο φάσμα ήταν το Perkin-Elmer Infracord που παρήχθη το 1957. Το Perkin-Elmer Infracord κάλυπτε την περιοχή μήκους κύματος από 2,5 μm έως 15 μm (κυματάριθος εύρος 4000 cm^{-1} σε 660 cm^{-1}). Το κατώτατο όριο μήκος κύματος επιλέχτηκε για να συμπεριλάβει τη μεγαλύτερη γνωστή συχνότητα δονήσεις, με μια θεμελιώδη μοριακή δόνηση. Το ανώτατο όριο επιβλήθηκε από το γεγονός ότι η διασπορά του στοιχείου

οφειλόταν σε ένα πρίσμα κατασκευασμένο από ένα ενιαίο κρύσταλλο από ορυκτό αλάτι (χλωριούχο νάτριο), το οποίο γίνεται αδιαφανές σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από περίπου 15 μm . Αυτή η φασματική περιοχή έγινε γνωστή ως η περιοχή του ορυκτού άλατος. Αργότερα, χρησιμοποιήθηκαν πρίσματα βρωμιούχου καλίου τα οποία επέκτειναν το εύρος έως 25 μm (400 cm^{-1}) και ιωδιούχου καισίου 50 μm (200 cm^{-1}). Η περιοχή πέρα από 50 μm (200 cm^{-1}) έγινε γνωστή ως η πολύ-υπέρυθρη περιοχή η οποία σε πολύ μεγάλα μήκη κύματος συγχωνεύεται με την περιοχή των μικροκυμάτων. Μετρήσεις στην περιοχή των πολύ-υπέρυθρων (Far-infrared) απαιτούσαν την ανάπτυξη ακριβέστερων πρισμάτων διότι ο διαχωρισμός των στοιχείων από κρυστάλλους αλατιού ήταν αδύνατος στην συγκεκριμένη περιοχή. Πιο ευαίσθητοι ανιχνευτές από τα βολόμετρα απαιτούνταν λόγω της χαμηλής ενέργειας της ακτινοβολίας. Ένα από αυτά ήταν ο ανιχνευτής Golay . Ένα επιπλέον ζήτημα είναι η ανάγκη να εξαιρεθούν ατμοσφαιρικοί υδρατμοί, επειδή οι υδρατμοί έχουν έντονη καθαρή περιστροφή του φάσματος στην περιοχή αυτή. Τα φασματοφωτόμετρα των Πολύ-υπέρυθρων ήταν δυσκίνητα, χρονοβόρα και δαπανηρά. Τα πλεονεκτήματα του συμβολόμετρου Michelson ήταν γνωστά, αλλά σημαντικές τεχνικές δυσκολίες που έπρεπε να ξεπεραστούν πριν από μια εμπορική πράξη θα μπορούσε να είχαν αντιμετωπιστεί. Επίσης, ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ήταν αναγκαίος για την εκτέλεση των απαιτούμενων μετασχηματισμών Fourier και αυτό κατέστη εφικτό με την έλευση των μικρό-υπολογιστών, όπως το PDP-8 το οποίο άρχισε να διατίθεται το 1965.

5.5 Αρχή λειτουργίας φασματοφωτομετρίας ορατού-υπεριώδους (UV-VIS)

Κάποια μόρια όταν ακτινοβοληθούν, απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας και μάλιστα κάποια συγκεκριμένα μήκη κύματος (π.χ. η ροδαμίνη απορροφά γύρω στα 350nm με μέγιστο τα 363nm). Όσο περισσότερα μόρια υπάρχουν στην δέσμη του φωτός, τόσο περισσότερο φως απορροφάται. Άρα μετρώντας την διαφορά της ποσότητας του φωτός, με και χωρίς τα προς μέτρηση μόρια μπορούμε να εκτιμήσουμε την ποσότητα τους. Αυτό είναι που κάνουμε χωρίς όργανο (στην ουσία αντί για φασματοφωτόμετρο χρησιμοποιούμε τα μάτια

μας) παρατηρώντας πόσο σκούρο είναι ένα διάλυμα χρωστικής. Σκούρο διάλυμα = πυκνό, ανοιχτόχρωμο = αραιό. Χρησιμοποιώντας μια σειρά πρότυπα διαλύματα π.χ. 1, 3, 5, 10 ppm (Οι συμβολισμοί ppm, ppb κλπ. χρησιμοποιούνται στην επιστήμη και στην τεχνολογία για να υποδηλώσουν περιεκτικότητες και αναλογίες της τάξης κυρίως του εκατομμυριοστού (ppm), δισεκατομμυριοστού (ppb) και τρισεκατομμυριοστού (ppt). Είναι αδιάστατοι αριθμοί γιατί είναι σχέσεις ομοίων ποσοτήτων) μπορούμε να συγκρίνουμε ένα άγνωστο διάλυμα και να πούμε ότι αυτό είναι μεταξύ 3 και 5 ppm εφόσον η χρωματική του ένταση είναι μεταξύ του 2ου και 3ου προτύπου. Δεν μπορούμε όμως να πούμε ότι είναι 3,2 ή 4,0 ή 4,5 ppm γιατί απλά δεν μπορούμε να το εκτιμήσουμε. Αυτό γίνεται με το φασματοφωτόμετρο, το οποίο για κάθε πρότυπο δίνει ως αποτέλεσμα έναν αριθμό (το ποσοστό του φωτός που πέρασε (διαπερατότητα % (T% από το transmission) ή το λογάριθμο της ποσότητας του φωτός που απορροφήθηκε (ABS από το absorbance))οπότε με απλούς μαθηματικούς υπολογισμούς μπορεί να εξαχθεί ακριβές αποτέλεσμα.

5.6 FTIR

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) (μετασχηματισμός Fourier υπέρυθρης φασματοσκοπίας) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για να αποκτηθεί ένα υπέρυθρο φάσμα απορρόφησης, εκπομπής, φωτοαγωγιμότητα ή σκέδαση Raman από ένα στερεό, υγρό ή αέριο.

Το Φαινόμενο Raman ανακαλύφθηκε το 1928, από τον Ινδό φυσικό Sir C. V. Raman (1888 - 1970). Κατά το φαινόμενο αυτό, παρατηρείται μερική μεταβολή συχνότητας και φάσης της διερχόμενης ακτινοβολίας (ανελαστική σκέδαση). Η σκέδαση αυτή είναι εντελώς διαφορετική από τη συνήθη ελαστική σκέδαση, περί τις χίλιες φορές ασθενέστερη και συνήθως παρατηρείται σε διευθύνσεις κάθετες προς την προσπίπτουσα δέσμη φωτός. Το φαινόμενο οφείλεται στο ότι ορισμένα από τα μόρια του υλικού απορροφούν ή προσφέρουν ενέργεια στα προσπίπτοντα φωτόνια, με αποτέλεσμα μετά από τη σκέδασή τους να εμφανίζονται αντίστοιχα με μικρότερη ή μεγαλύτερη συχνότητα.

Ο FTIR είναι πιο χρήσιμος για τον εντοπισμό χημικών ουσιών που είτε είναι οργανικές ή ανόργανες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ποσοτικοποίηση ορισμένων στοιχείων ενός άγνωστου μίγματος. Μπορεί να εφαρμοστεί στην ανάλυση των στερεών, υγρών και αερίων. Ο όρος Μετασχηματισμός Fourier υπέρυθρη φασματοσκοπία (FTIR) αναφέρεται σε μια αρκετά πρόσφατη εξέλιξη στον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα έχουν συλλεχθεί και μετατρέπεται από ένα σχέδιο παρέμβασης σε ένα φάσμα. Σήμερα η τεχνολογία μπορεί και δίνει την δυνατότητα ποιών γρήγορων και ευαίσθητων μηχανημάτων από τα παλαιότερα μέσα διασποράς.

Ένα FTIR φασματόμετρο συλλέγει ταυτόχρονα φασματικά δεδομένα σε μια ευρεία περιοχή του φάσματος. Αυτό παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα κατά τη διάρκεια μιας διασποράς που μετρά την ένταση από ένα στενό φάσμα των μικρών κύματος σε μια στιγμή. Ο όρος μετασχηματισμό Fourier υπέρυθρης φασματοσκοπίας προέρχεται από το γεγονός ότι ένας μετασχηματισμός Fourier (ένας μαθηματικός αλγόριθμος) είναι απαραίτητος για τη μετατροπή των αρχικών δεδομένων για το πραγματικό φάσμα.

Ο στόχος οποιασδήποτε φασματοσκοπικής απορρόφησης (FTIR, υπεριώδους-ορατού ("UV-VIS») φασματοσκοπία , κλπ.) είναι να μετρηθεί πόσο καλά ένα δείγμα απορροφά το φως σε κάθε μήκος κύματος. Ο πιο απλός τρόπος να γίνει αυτό, η "φασματοσκοπική διασποράς" τεχνική, είναι να λάμψει μια μονοχρωματική δέσμη φωτός σε ένα δείγμα.

Με την μέθοδο FTIR αντί να ρίξουμε μια μονοχρωματική ακτίνα φωτός στο δείγμα, λάμπει μια ακτίνα που περιέχει πολλές διαφορετικές συχνότητες του φωτός την ίδια χρονική στιγμή και πραγματοποιείτε η μέτρηση ποσό αυτής της δέσμης απορροφάτε από το δείγμα. Στη συνέχεια, η ακτίνα τροποποιείτε για να περιέχει ένα διαφορετικό συνδυασμό των συχνοτήτων, δίνοντας ένα δεύτερο σημείο δεδομένων. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές. Στη συνέχεια, ένας υπολογιστής παίρνει όλα αυτά τα δεδομένα και εργάζεται προς τα πίσω για να συμπεράνουμε ποια είναι η απορρόφηση σε κάθε μήκος κύματος.

Η δέσμη που περιγράφεται παραπάνω δημιουργείται, ξεκινώντας με μια ευρυζωνική πηγή φωτός. Το φως λάμπει σε μια συγκεκριμένη διαμόρφωση των κατόπτρων, που ονομάζεται συμβολόμετρο Michelson , που επιτρέπει σε

ορισμένα μήκη κύματος να περάσουν μέσα, αλλά μπλοκάρει άλλα (λόγω παρεμβολών κύμα). Η δέσμη έχει τροποποιηθεί για κάθε νέο σημείο δεδομένων με τη μετακίνηση ενός από τους καθρέφτες. Αυτό αλλάζει το σύνολο των μηκών κύματος που περνούν.

Όπως αναφέρθηκε, η επεξεργασία από ηλεκτρονικό υπολογιστή είναι απαραίτητη για να επεξεργαστούν τα ανεπεξέργαστα δεδομένα (απορρόφηση του φωτός για κάθε θέση του καθρέφτη) στο επιθυμητό αποτέλεσμα (την απορρόφηση του φωτός για κάθε μήκος κύματος). Η απαιτούμενη επεξεργασία αποδεικνύεται ότι είναι ένας κοινός αλγόριθμος που ονομάζεται μετασχηματισμός Fourier (εξ' ου και το όνομα, «μετασχηματισμός Fourier υπέρυθρης φασματοσκοπίας»).

5.7 Υπέρυθρες FTIR

Μακρό-υπέρυθρες FTIR (Far-infrared)

Τα πρώτα φασματοόμετρα FTIR αναπτύχθηκαν για το μακρό-υπέρυθρο φάσμα. Ο λόγος για αυτό έχει να κάνει με τη μηχανική αντοχή που απαιτείται για την καλή οπτική απόδοση, η οποία σχετίζεται με το μήκος κύματος του φωτός που χρησιμοποιείται. Για τα σχετικά μακρά μήκη κύματος των μακρό-υπέρυθρων (~ 10 μm), οι ανοχές είναι επαρκείς, ενώ για τα μήκη κύματος του ορυκτού αλατιού η περιοχή ανοχής πρέπει να είναι καλύτερη από 1 μm . Ένα τυπικό όργανο ήταν ο κύβος συμβολόμετρο που αναπτύχθηκε στο National Physical Laboratory (United Kingdom) και διατίθενται στο εμπόριο από Grubb Parsons. Χρησιμοποιούσε ένα κινητήρα ο οποίος οδηγούσε την κίνηση των καθρεφτών και κατέγραφε της απόκρισης του ανιχνευτή μετά από κάθε βήμα που ολοκληρωνόταν.

Μέσο-υπέρυθρες FTIR (Mid-infrared)

Με την έλευση των φθηνών μικροϋπολογιστών κατέστη δυνατόν να έχουμε έναν υπολογιστή αφιερωμένο στον έλεγχο του φασματομέτρου, τη συλλογή των στοιχείων, κάνοντας το μετασχηματισμό Fourier και την παρουσίαση του φάσματος. Αυτό έδωσε την ώθηση για την ανάπτυξη των φασματομέτρων FTIR για την περιοχή ορυκτού άλατος. Τα προβλήματα της κατασκευής ήταν

τα εξαιρετικά υψηλής ακρίβειας, οπτικά εξαρτήματα και μηχανικά και έπρεπε να λυθεί. Σήμερα, οι κινητοί καθρέφτες του συμβολόμετρο κινούνται με σταθερή ταχύτητα και η δειγματοληψία του συμβολόμετρο ενεργοποιείται με την εύρεση μηδενικής διέλευσης στις παρυφές ενός δευτερεύοντος συμβολόμετρο φωτόμενοι από ένα ήλιο-νέον λέιζερ. Αυτό παρέχει υψηλής ακρίβειας κυματάριθμο για το αποτέλεσμα του υπέρυθρου φάσματος και αποφεύγει σφάλματα βαθμονόμησης.

Εγγύς υπέρυθρες FTIR (Near-infrared)

Η εγγύς υπέρυθρη περιοχή εκτείνεται σε μήκος κύματος μεταξύ της περιοχής του ορυκτού άλατος και την έναρξη της περιοχής του ορατού, περίπου 750 nm. Απόηχοι των θεμελιωδών δονήσεων μπορούν να παρατηρηθούν στην περιοχή αυτή. Χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπως τον έλεγχο της διαδικασίας και την απεικόνιση χημικών.

Ο μετασχηματισμός Fourier υπέρυθρης φασματοσκοπίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις εφαρμογές, όπου ένα φασματόμετρο διασποράς είχε χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν. Αυτά περιλαμβάνουν:

- GC-IR (αέριος χρωματογράφος-φασματομετρία υπέρυθρου). Ένας αέριος χρωματογράφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το διαχωρισμό των συστατικών ενός μίγματος. Τα κλάσματα που περιέχουν μόνο συστατικά κατευθύνονται σε ένα FTIR φασματόμετρο, για να παράσχει το υπέρυθρο φάσμα του δείγματος. Η τεχνική αυτή είναι συμπληρωματική GC-MS (αέριος χρωματογράφος-φασματομετρία μάζας). Η GC-IR μέθοδος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον εντοπισμό ισομερών, που από τη φύση τους έχουν την ίδια μάζα. Το κλειδί για την επιτυχή χρήση του GC-IR είναι ότι τα ανεπεξέργαστα δεδομένα μπορούν να συλληφθούν σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, συνήθως λιγότερο από 1 δευτερόλεπτο. FTIR έχει εφαρμοστεί και στην ανάλυση της υγρής χρωματογραφίας κλασμάτων.
- TG-IR (thermogravimetry υπέρυθρη φασματοσκοπία) φάσματα IR των αερίων που εκλύονται κατά τη διάρκεια της θερμικής αποσύνθεσης λαμβάνονται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας.

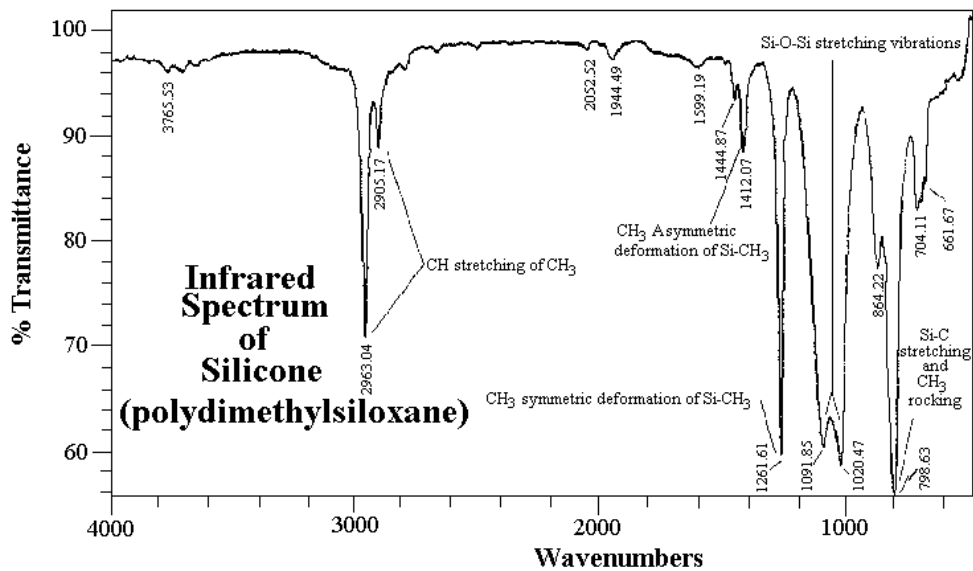
- Μικρό-δείγματα. Μικροσκοπικά δείγματα, όπως στην ιατροδικαστική εξέταση, μπορεί να εξεταστούν με τη βοήθεια της υπέρυθρης στο θάλαμο δείγματος. Μια εικόνα της επιφάνειας μπορεί να ληφθεί από τη σάρωση. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η χρήση του FTIR για τον χαρακτηρισμό καλλιτεχνικών υλικών σε έργα τέχνης ή μνημεία.
- Φάσματα εκπομπής. Αντί της καταγραφής του φάσματος του φωτός που περνάει από το δείγμα, το FTIR φασματοόμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση του φάσματος του φωτός που εκπέμπεται από το δείγμα. Οι εν λόγω εκπομπή θα μπορούσε να προκληθεί από διάφορες διαδικασίες, και οι πιο συνηθισμένες είναι φωταύγεια και σκέδαση Raman . Μικρή τροποποίηση απαιτείται για την απορρόφηση FTIR φασματοόμετρο για την καταγραφή φασμάτων εκπομπής και ως εκ τούτου πολλά εμπορικά φασματοόμετρα FTIR συνδυάζουν τόσο τρόπους απορρόφησης όσο και τρόπους της εκπομπής / Raman.
- Φάσματα φωτορεύματος. Η λειτουργία αυτή χρησιμοποιεί ένα πρότυπο FTIR φασματοόμετρο. Το δείγμα τοποθετείται αντί του ανιχνευτή FTIR, και του φωτορεύματος του, και χρησιμοποιείται για την καταγραφή των ανεπεξέργαστων δεδομένων, το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται στο φάσμα του δείγματος.

5.8 Ποιοτική ανάλυση και ποσοτική ανάλυση

Ποιοτική ανάλυση:

FTIR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό χημικών ουσιών από τα χρώματα , πολυμερή, επιστρώσεις, τα ναρκωτικά, και τους ρυπαντές. FTIR είναι ίσως το πιο ισχυρό εργαλείο για τον προσδιορισμό των τύπων των χημικών δεσμών (λειτουργικές ομάδες). Το μήκος κύματος του φωτός που απορροφάτε είναι χαρακτηριστικό του χημικού δεσμού. Με την ερμηνεία του υπέρυθρου φάσματος απορρόφησης, μπορούν να προσδιοριστούν οι χημικοί δεσμοί σε ένα μόριο. Τα FTIR φασμάτων των καθαρών ενώσεων είναι γενικά τόσο μοναδικά ώστε είναι σαν ένα μοριακό "αποτύπωμα". Ενώ οι οργανικές

ενώσεις έχουν πολύ πλούσια, λεπτομερή φάσματα, τα φάσματα των ανόργανων ενώσεων είναι συνήθως πολύ πιο απλά. Για τα περισσότερα κοινά υλικά, το φάσμα ενός άγνωστου δείγματος μπορεί να προσδιοριστεί σε σύγκριση με μια βιβλιοθήκη γνωστών ενώσεων. Έχουμε αρκετές υπέρυθρες φασματικές βιβλιοθήκες, συμπεριλαμβανομένων on-line βιβλιοθηκών των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Για τον προσδιορισμό των λιγότερο κοινών υλικών, το FTIR θα πρέπει να συνδυαστεί με πυρηνικό μαγνητικό συντονισμό, φασματομετρία μάζας, φασματοσκοπία εκπομπής, περίθλαση ακτίνων Χ, και ή άλλες τεχνικές.



Εικόνα 5. 60 Υπέρυθρο φάσμα σιλικόνης

Ποσοτική ανάλυση:

Επειδή η δύναμη της απορρόφησης είναι ανάλογη προς τη συγκέντρωση, το FTIR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μερικές ποσοτικές αναλύσεις. Συνήθως αυτά είναι μάλλον απλοί τύποι δοκιμών στο εύρος συγκεντρώσεων από μερικά ppm μέχρι το επίπεδο τοις εκατό.

5.9 Φυσικές Αρχές

Μοριακοί δεσμοί δονούνται σε διάφορες συχνότητες, ανάλογα με τα στοιχεία και το είδος των ομολόγων. Για κάθε δεδομένο δεσμό, υπάρχουν αρκετές ειδικές συχνότητες στις οποίες μπορεί να δονείται. Σύμφωνα με την κβαντική

μηχανική, αυτές οι συχνότητες αντιστοιχούν στην κατάσταση του εδάφους (η χαμηλότερη συχνότητα) και αρκετές διεγερμένες καταστάσεις (υψηλότερες συχνότητες). Ένας τρόπος για να προκαλέσει την αύξηση της συχνότητας με μοριακό δονήσεις είναι να διεγείρει τον δεσμό με την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός. Για κάθε δεδομένη μετάβαση μεταξύ δύο καταστάσεων, η ενέργεια του φωτός (που καθορίζεται από το μήκος κύματος) πρέπει να είναι ίση ακριβώς τη διαφορά στον τομέα της ενέργειας μεταξύ των δύο καταστάσεων [συνήθως την κατάσταση του εδάφους (E_0) και τη πρώτη διεγερμένη κατάσταση (E_1)].

Η ενέργεια που αντιστοιχεί σε αυτές τις μεταβάσεις μεταξύ των μοριακών δονήσεων είναι γενικά 10-10 θερμίδες / mole το οποίο αντιστοιχεί στο υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Διαφορά σε κατάσταση
Ενέργειας = **Ενέργεια του φωτός που απορροφάται**

$$E_1 - E_0 = hc / \lambda$$

Όπου

$$h = \text{Η σταθερά Planks}$$

$$c = \text{ταχύτητα του φωτός, και}$$

$$\lambda = \text{το μήκος κύματος του φωτός.}$$

Η σταθερά του Πλανκ, αναφερόμενη ως h , είναι μία φυσική σταθερά που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το μέγεθος των κβάντα. Παίζει κεντρικό ρόλο στη θεωρία της κβαντικής μηχανικής, και πήρε την ονομασία της από τον Μαξ Πλανκ, έναν από τους θεμελιωτές της κβαντικής θεωρίας. Εμφανίστηκε για πρώτη φορά στην εργασία του Πλανκ για τη μελέτη της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος. Η τιμή της είναι:

$$h = 6.626\ 069\ 3(11) \times 10^{-34} \text{ js}$$

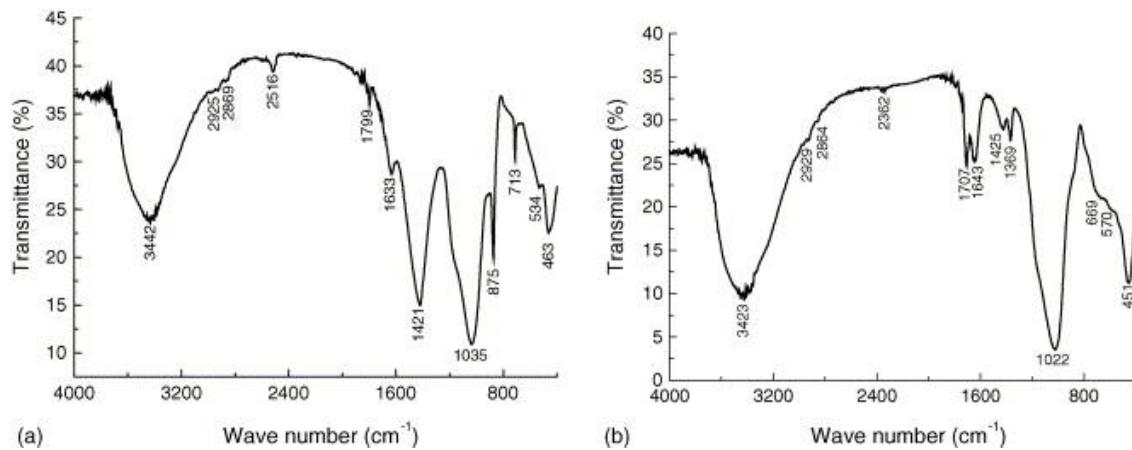
ή με ηλεκτρονιοβόλτ σαν μονάδα ενέργειας:

$$h = 4.135\ 667\ 43(35) \times 10^{-15} \text{ eVs}$$

Η σταθερά του Πλανκ έχει μονάδα ενέργεια πολλαπλασιαζόμενη επί μονάδα χρόνου, η οποία είναι και η μονάδα της δράσης. Μαζί με την ταχύτητα του φωτός, είναι οι δυο θεμελιώδεις φυσικές σταθερές.

5.10 FTIR μικροσκόπιο

Για τα μικρά δείγματα και δείγματα με επιφανειακές μολύνσεις, ορατές με γυμνό μάτι, ένα συνημμένο μικροσκόπιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση της ανάκλασης ή διάδοσης transmittance φασμάτων για τα πολύ μικρά σωματίδια.



Εικόνα 5.2 Φάσμα διαπερατότητας

5.11 Επιστημονική εξέταση υλικών

Γιατί είναι η επιστημονική εξέταση της πολιτιστικής κληρονομιάς των υλικών σημαντική; Το ερώτημα μπορεί να απαντηθεί με πολλούς τρόπους, αλλά η πιο αληθινή απάντηση είναι μάλλον, γιατί είμαστε περίεργοι. Περίεργοι για το τι υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί σε σχέση με άλλους ή σε σχέση με ιστορικά γραπτά έγγραφα και πηγές. Περίεργοι, ως προς την επιλογή των συγκεκριμένων υλικών και με ποιο τρόπο χρησιμοποιούνταν. Χρησιμοποιούνταν όπως αναφέρονται στα ιστορικά έγγραφα ή εφεύρισκαν μια άλλη χρήση για αυτά; Χωρίς τον εντοπισμό των υλικών που χρησιμοποιούνται, είναι πολύ δύσκολο για να ξεκινήσει μια προληπτική παρέμβαση. Πόσο μάλλον να ξεκινήσει σε πλήρη αποκατάσταση ενός έργου τέχνης ή ενός μνημείου. Προηγούμενες παρεμβάσεις έχουν πραγματοποιηθεί

με καταστροφικά αποτελέσματα, λόγω της ακατάλληλης γνώση του μνημείου και των υλικών του. Αυτό μας φέρνει πίσω στην ταυτοποίηση των υλικών. Εάν οποιαδήποτε παρέμβαση πρέπει να εκτελεστεί, η ταυτοποίηση των υλικών που χρησιμοποιούνται είναι πρωταρχικής σημασίας. Η αναγνώριση των υλικών μπορεί να διεξάγεται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Οπτικά, μπορούμε να παρατηρήσουμε με τα μάτια μας τα υλικά που χρησιμοποιούνται και ιστορικά μπορούμε να κερδίσουμε όσο το δυνατόν περισσότερες γνώσεις σχετικά με την περίοδο, το έργο κλπ. και τα τεχνικά μέσα για όλα τα είδη των εξετάσεων υπάρχουν. Υπάρχουν τα μη επεμβατικά, μη καταστρεπτικά μέσα όπως τα πολύ-σάρωσης συστήματα απεικόνισης, φθορισμού, ακτινών Χ, και η φασματοσκοπία Raman, η οποία μπορεί να συλλέξει εικόνες και φάσματα, χωρίς να παρθούν επικίνδυνες ποσότητες δείγματος.

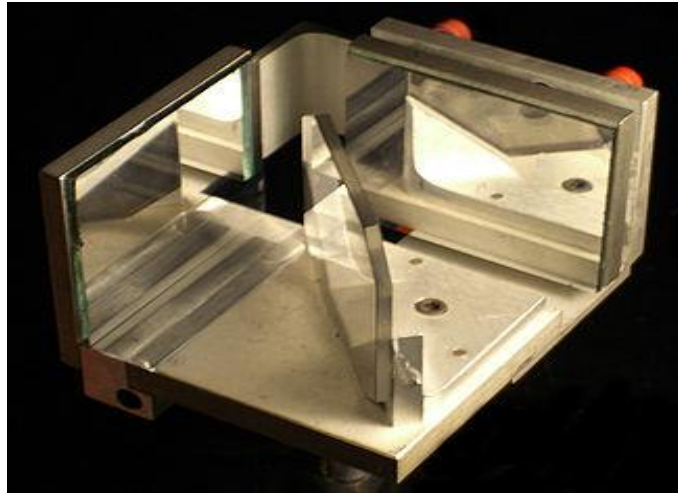
5.12 Φωτεινές πηγές

Υπάρχουν διάφορες επιλογές για μια πηγή φωτός, που μπορούν να παρέχουν ενέργεια ακτινοβολίας στην περιοχή των υπέρυθρων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Μια πηγή ψυχρού αέρα είναι η απλούστερη και φθηνότερη υπέρυθη πηγή που χρησιμοποιείται σε παλαιού τύπου μέσα. Τρέχει συνήθως σε θερμοκρασίες από 1100-1400 K. Αερόψυκτες πηγές δεν μπορούν να παρέχουν αρκετή ένταση υπέρυθρων για όλες τις εφαρμογές. Ο δεύτερος τύπος υπέρυθρης πηγής ακτινοβολίας είναι η πηγή Globar. Αποτελείται από μια ράβδο καρβιδίου του πυριτίου, η οποία θερμαίνει τυπικά σε θερμοκρασίες άνω των 1400 K. Η αύξηση της θερμοκρασίας σημαίνει ότι η πηγή Globar δίνει επίσης μακριά περισσότερο υπέρυθη ακτινοβολία από ότι του παλιού τύπου πηγής με ψυχόμενο αέρα. Η πηγή Globars είναι σήμερα η ποιο κοινή IR πηγή φωτός.

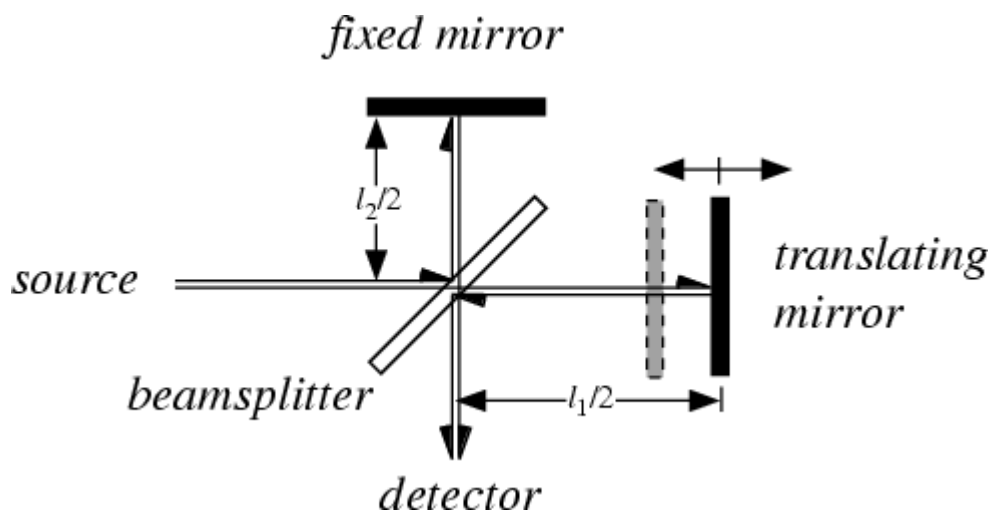
5.13 Συμβολόμετρο (INTERFEROMETER)

Ένας μετασχηματιστής Fourier υπέρυθρων (FTIR) φασματόμετρο έχει στην «καρδιά» του ένα συμβολόμετρο. Ο σκοπός ενός συμβολόμετρου, είναι να χωρίσει μια ακτίνα του φωτός σε δύο, και να κάνει μια από τις ακτίνες φωτός ταξιδεύουν σε διαφορετική απόσταση από τις άλλες. Το συμβολόμετρο

αποτελείται από δύο καθρέφτες που βρίσκονται σε ορθή γωνία μεταξύ τους και προσανατολισμένοι κάθετα, με έναν διαχωριστή ακτινοβολίας τοποθετείται στην κορυφή του τη σωστή γωνία και προσανατολισμένη σε 45° γωνία σε σχέση με τους δύο καθρέφτες. Ο διαχωριστής χωρίζει την ακτίνα σε δύο ίσα μέρη. Το ένα μέρος τις ακτίνες πάει μέσω του διαχωριστή στον καθρέφτη μετάφρασης (*translating mirror*) ενώ το άλλο στον σταθερό καθρέπτη (*fixed mirror*). Τόσο ο καθρέφτης μετάφρασης όσο και ο σταθερός ανακλάν την προσπίπτουσα δέσμη.



Εικόνα 5. 3 Συμβολόμετρο



Εικόνα 5. 3 Συμβολόμετρο-σχέδιο

Οι δύο δέσμες τότε συνάζονται και μεταδίδονται στον ανιχνευτή. Εάν η απόσταση των δύο καθρεφτών είναι ίδια από το διαχωριστή τότε η απόσταση που διανύεται από τα δύο μέρη τις ακτίνας είναι η ίδια.

5.14 Συλλέγοντας το φόντο (BACKGROUND)

Η πειραματική διάταξη στο PC μας επιτρέπει να συλλέγουν το παρασκήνιο, πριν ή μετά την συλλογή φάσματος του δείγματος. Δεν θα πρέπει να υπάρχει, στη θεωρία, διαφορά ως με ποια σειρά θα αφαιρέσουμε το φόντο από το φάσμα του δείγματος, αλλά στην πράξη, παρατηρούμε ότι κατά καιρούς υπάρχει.

5.15 Βαθμονόμηση του φασματογράφου

Ο σκοπός της βαθμονόμησης του φασματοφωτομέτρου είναι να δούμε αμέσως αν υπάρχει κάτι λάθος με τη συγκρότηση του οργάνου, με το υλικό ή με την ευθυγράμμιση του οργάνου. Βαθμονόμηση

γίνεται με την εύρεση μιας ή περισσότερων πολύ απότομων και έντονων ταινιών, που είναι πάντα οι ίδιες όταν συλλέγονται, στην ίδια ανάλυση, δίχως να έχει σημασία πόσος χρόνος(μήνα ή έτη) έχει περάσει μεταξύ της συλλογής των φασμάτων. Πολύ συχνά απλά κρύσταλλα χρησιμοποιούνται επειδή συχνά φαίνεται να έχουν ακριβώς αυτό πολύ απότομη ταινία, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βαθμονόμηση. Έχει χρησιμοποιηθεί HgO, αλλά είναι δηλητηριώδη. Επίσης έχει χρησιμοποιηθεί και θειάφι, αλλά κυρίως για Raman βαθμονόμησης.

5.16 Αντανάκλαση ATR Φασματοσκοπίας

Η γενική ιδέα της χρήσης της φασματοσκοπίας ATR είναι ότι καμία προετοιμασία του δείγματος δεν είναι απαραίτητη, το πραγματικό δείγμα είτε εξετάζονται άμεσα με το ATR κρύσταλλο, ή σωματίδια από το δείγμα απομακρύνονται από το αντικείμενο και στη συνέχεια εξετάζονται στο κρύσταλλο ATR. Καμιά ενσωμάτωση δεν είναι αναγκαία. Ο κρύσταλλος ATR ,

ωστόσο, χρειάζεται καλή επαφή προκειμένου να επιτευχθεί μια υψηλής ποιότητας φάσμα με ελάχιστο θόρυβο. Το δείγμα μπορεί να είναι σε υγρή μορφή αλλά και ως μορφή σκόνης. Επίσης, τα στερεά δείγματα μπορούν να εξεταστούν, για παράδειγμα χρώμα από ένα ξύλινο αντικείμενο, υπό τον όρο ότι η εξεταζόμενη περιοχή πρέπει να έχει μια επίπεδη περιοχή που μπορεί να κάνει την επαφή με τον ATR κρύσταλλο. Εφαρμόζεται πίεση στο στερεό δείγμα, προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη επαφή μεταξύ του στερεού δείγματος και τον ATR κρύσταλλο. Αυτό σημαίνει ότι το δείγμα πρέπει επίσης να είναι σε θέση να αντέξει την πίεση που του εφαρμόζεται. Κανονικά, ένα δείγμα από ξύλο, χαρτί, πέτρα, μέταλλα, πορσελάνη ή άλλα παρόμοια αντικείμενα πρέπει να είναι σε θέση να αντέξουν την πίεση. Επίσης, αν το δείγμα είναι μικρό, δηλαδή ένα κλάσμα αφαιρείται από μεγαλύτερο κομμάτι ενός έργου τέχνης ή ενός μνημείου, μικρές διαρθρωτικές ρωγμές θα είναι παρόντες σε μικρότερο ποσοστό και έτσι πάλι, μπορεί να μην είναι σε θέση να αντέξει την πίεση που εφαρμόζεται προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη επαφή με το κρύσταλλο και το τμήμα θα πρέπει είτε να γίνει επίπεδο ή να παραμορφωθεί.

5.17 IRPrestige-21, IRsolution

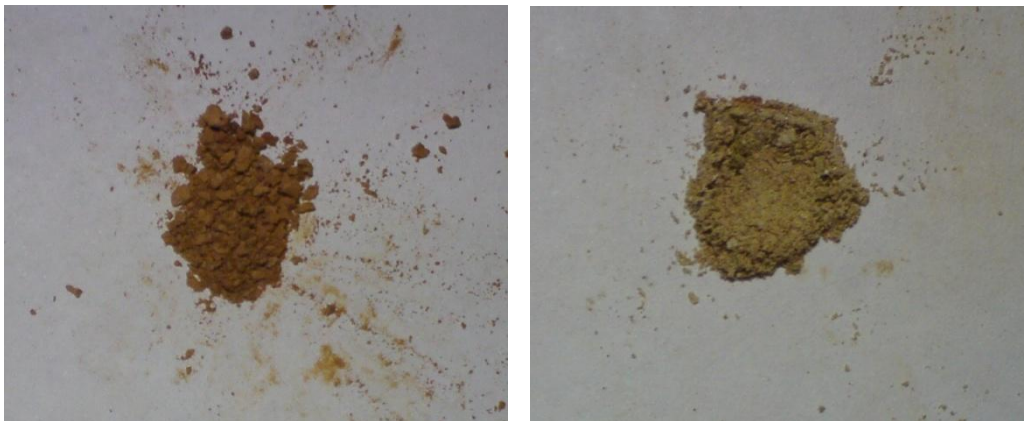
Το συμβολόμετρο (interferometer) IRPrestige-21 (εικόνα 5.4) είναι ένα από τα ποιό σημαντικά μέρη στην διαδικασία της φασματοφωτομετρίας. Για να γίνει εφικτή η συλλογή ακριβών στοιχείων θα πρέπει το συμβολόμετρο να είναι ικανό για σαρώσεις μεγάλης ευκρίνειας. Τόσο το συμβολόμετρο όσο και το λογισμικό που υπήρχαν στην διάθεση μας εκπληρούσαν αυτή την προϋπόθεση.

Μικρή ποσότητα δείγματος πάρθηκε από το μνημείο, ποσότητα η οποία δεν επηρεάζει και δεν καταστρέφει το μνημείο. Αυτό άλλωστε είναι και ένα από τα πλεονεκτήματα αυτής της διαδικασίας. Δεν χρειάζεται να γίνει καμία ιδιαίτερη διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων. Τα δείγματα προέρχονται από, μέρος του κονιάματος (εικόνα 5.5β) και από μέρος οπτόπλινθου (εικόνα 5.5α) του υδραγωγείου. Με την διαδικασία αυτή θα μπορέσουμε να επαληθεύσουμε, να κατανοήσουμε και να αποδείξουμε τα συστατικά ή μέρος αυτών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του ρωμαϊκού υδραγωγείου.



Εικόνα 5. 4 Συμβολόμετρο (interferometer) IRPrestige-21

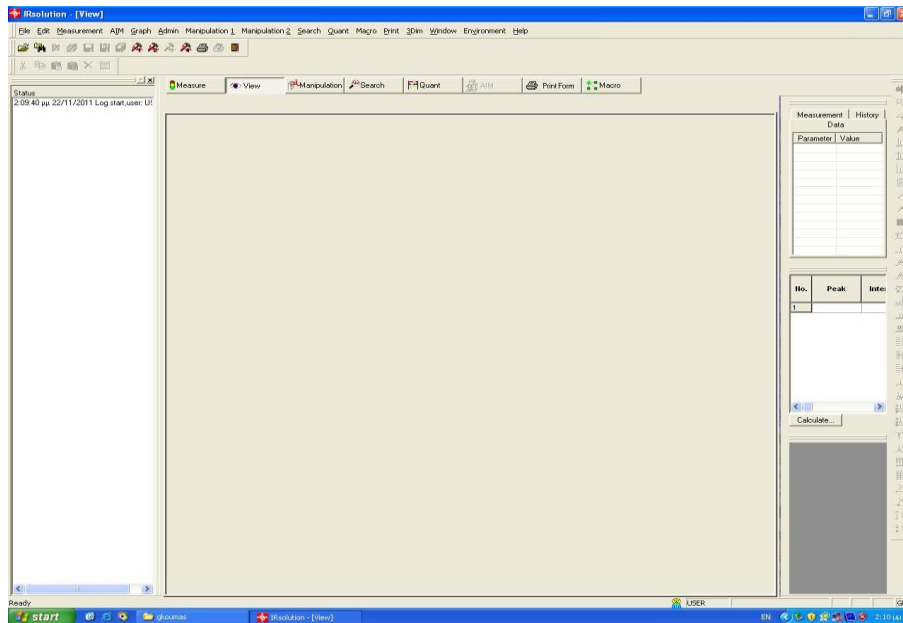
Έχοντας τα δείγματα σε μορφή κατάλληλη μπορούμε να αρχίσουμε την διαδικασία.



Εικόνα 5. 5 α) δείγμα οπτόπλινθου

β) δείγμα κονιάματος

Το πρώτο βήμα είναι να ανοίξουμε το λογισμικό (irsolution). Τότε θα εμφανιστεί η επιφάνεια εργασίας του λογισμικού (εικόνα 5.6). Η δυνατότητα να γίνετε το πείραμα στον υπολογιστή μας επιτρέπει να μπορούμε να συλλέξουμε το φάσμα του φόντου (background), δηλαδή του αέρα μέσα στο εργαστήριο, πριν ή και μετά την συλλογή του φάσματος του δείγματος. Στην θεωρία δεν θα πρέπει να υπάρχει καμία διαφορά στο, με ποιά σειρά επιλέγουμε να συλλέξουμε και να αφαιρέσουμε το φάσμα του φόντου από το φάσμα του δείγματος. Παρόλα αυτά επιλέγουμε να συλλέξουμε πρώτα το φόντο και μετά τα δείγματα.



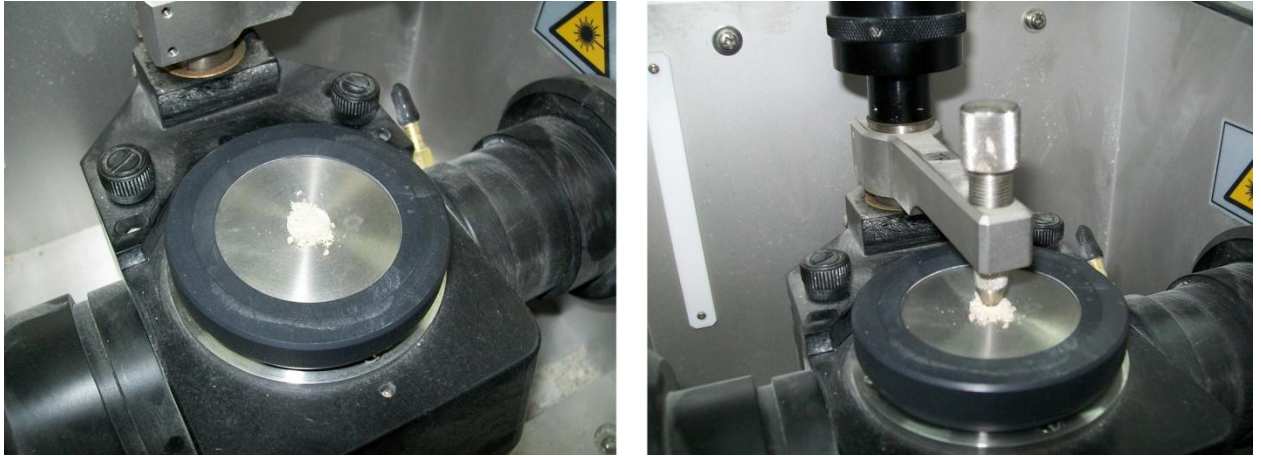
Εικόνα 5. 6 Επιφάνεια εργασίας του IRsolution



Εικόνα 5. 7 Φάσμα φόντου στην επιφάνεια εργασίας του λογισμικού

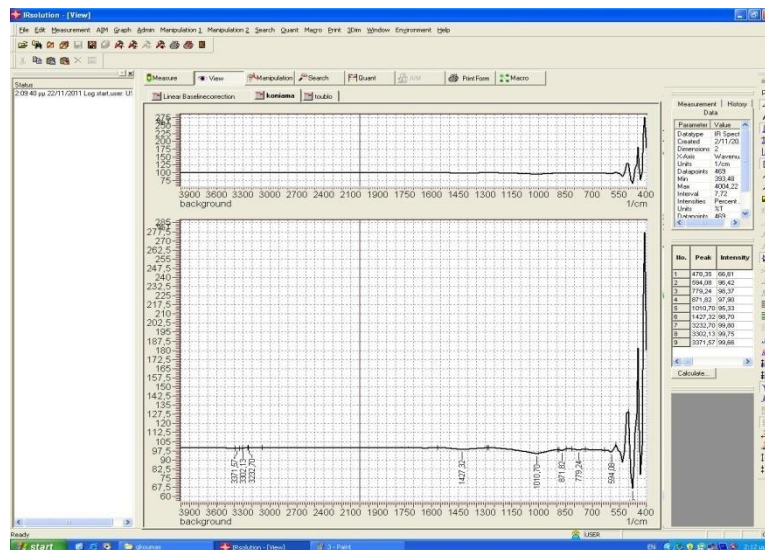
Επιλέγοντας την εντολή measurement μας εμφανίζει την δυνατότητα να της επιλογής μεταξύ του φόντου και του δείγματος. Πατώντας την επιλογή BKG αρχίζει η συλλογή στοιχείων του αέρα (background). Το αποτέλεσμα είναι το φάσμα στην εικόνα 5.7. Μετά την συλλογή των δεδομένων του φόντου,

τοποθετούμε το πρώτο δείγμα στο συμβολόμετρο. Το πρώτο δείγμα είναι από το κονίαμα και είναι σε μορφή σκόνης.



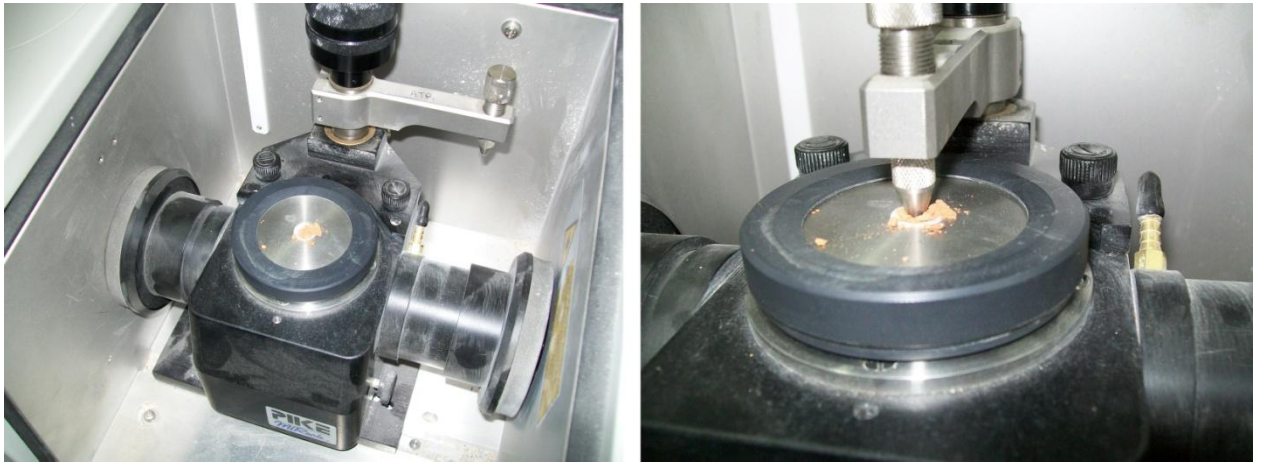
Εικόνα 5.8 Δείγμα κονιάματος πάνω στο συμβολόμετρο

Με την τοποθέτησή του δείγματος στο συμβολόμετρο (εικόνα 5.8) δίνουμε την εντολή στο λογισμικό να συλλέξει πληροφορίες και ταυτόχρονα να αφαιρέσει το φάσμα του φόντου από το φάσμα του δείγματος με αποτέλεσμα να έχουμε το τελικό φάσμα του κονιάματος (εικόνα 5.9)



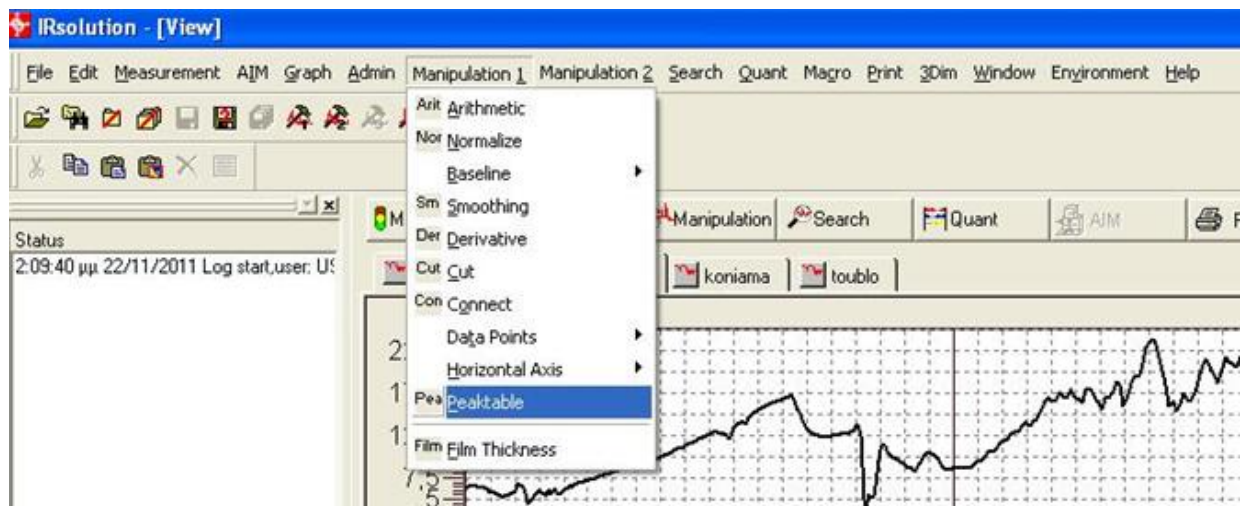
Εικόνα 5.9 Φάσμα κονιάματος στην επιφάνεια εργασίας του λογισμικού

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο τοποθετούμε το δείγμα από τον οπτόπλινθο (εικόνα 5.10).



Εικόνα 5. 10 Δείγμα οπτόπλινθου πάνω στο συμβολόμετρο

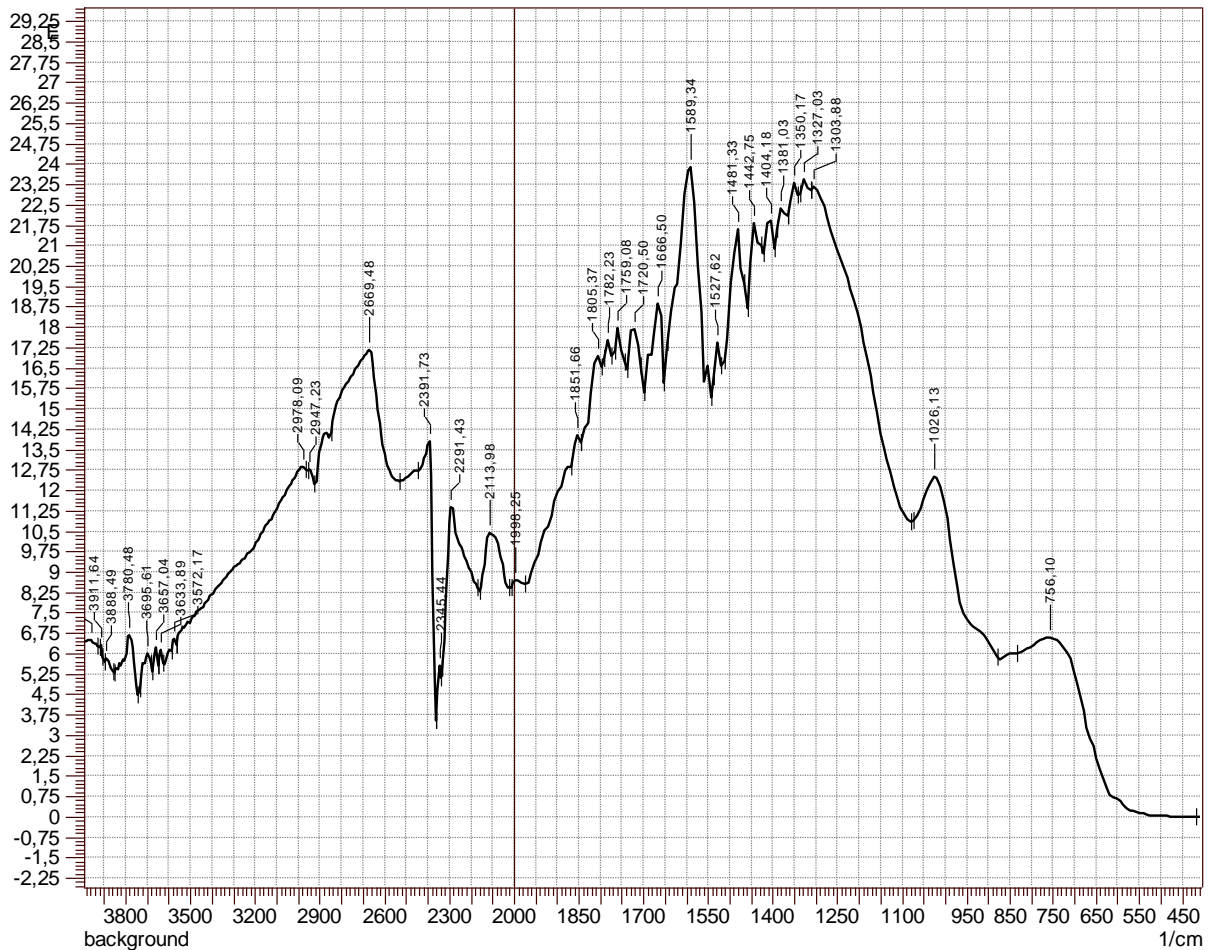
Σε αυτό το σημείο έχουμε τα διαγράμματα των δειγμάτων. Το επόμενο βήμα θα μας βοηθήσει να βρούμε τα υλικά και τα στοιχεία από τα οποία αποτελούνται τα δείγματα. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει να υπολογιστούν οι κορυφές των διαγραμμάτων. Επιλέγοντας την επιλογή manipulation 1 ανοίγει το menu of manipulation 1. Επιλέγουμε από το menu την εντολή reaktable (εικόνα 5.11).



Εικόνα 5. 11 Εντολή Peaktable

Επιλέγοντας την επιλογή reaktable το λογισμικό υπολογίζει το αριθμό της απορρόφησης ή της μετάδοσης των φωτονίων σε κάθε ένα στοιχείο. Το τελικό αποτέλεσμα θα αποτελείται από ένα διάγραμμα φάσματος με την ανάλυση

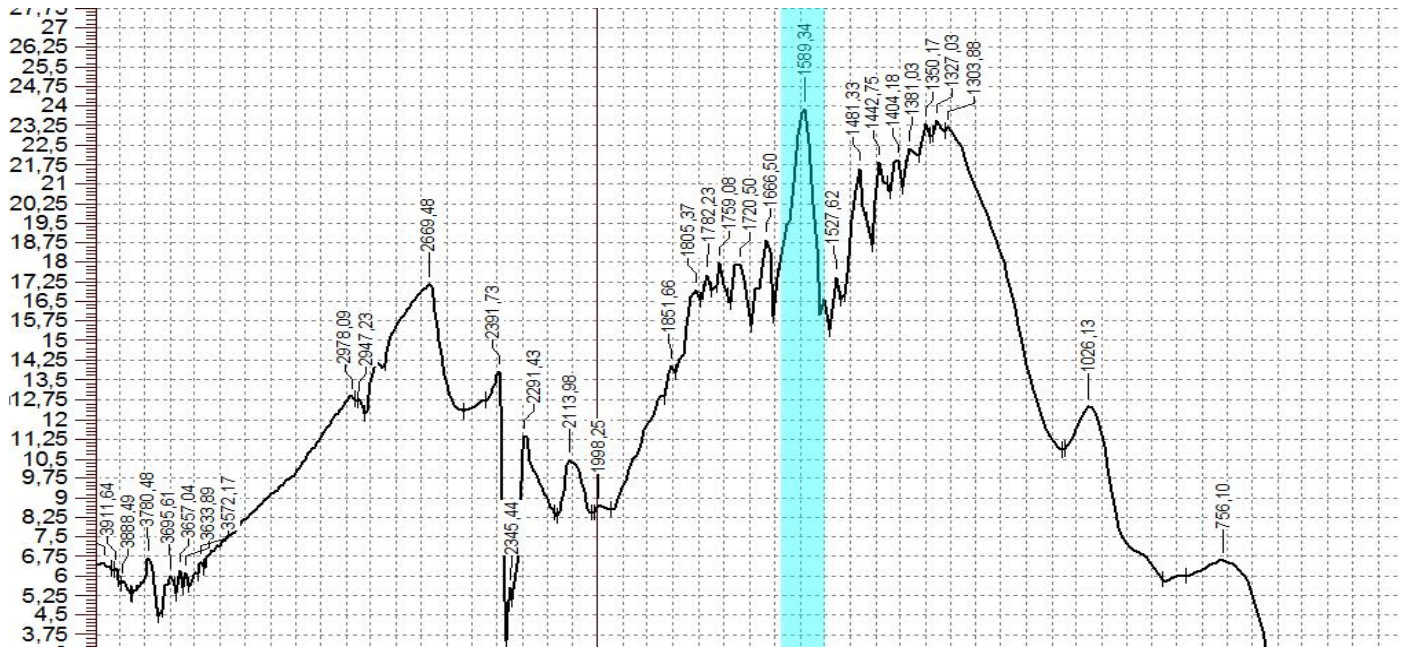
των στοιχείων του δείγματος. Παρακάτω εμφανίζονται τα διαγράμματα του φόντου (εικόνα 5.12), του δείγματος από το κονίαμα (εικόνα 5.14) και του δείγματος από τον οπτόπλινθο (εικόνα 5.15).



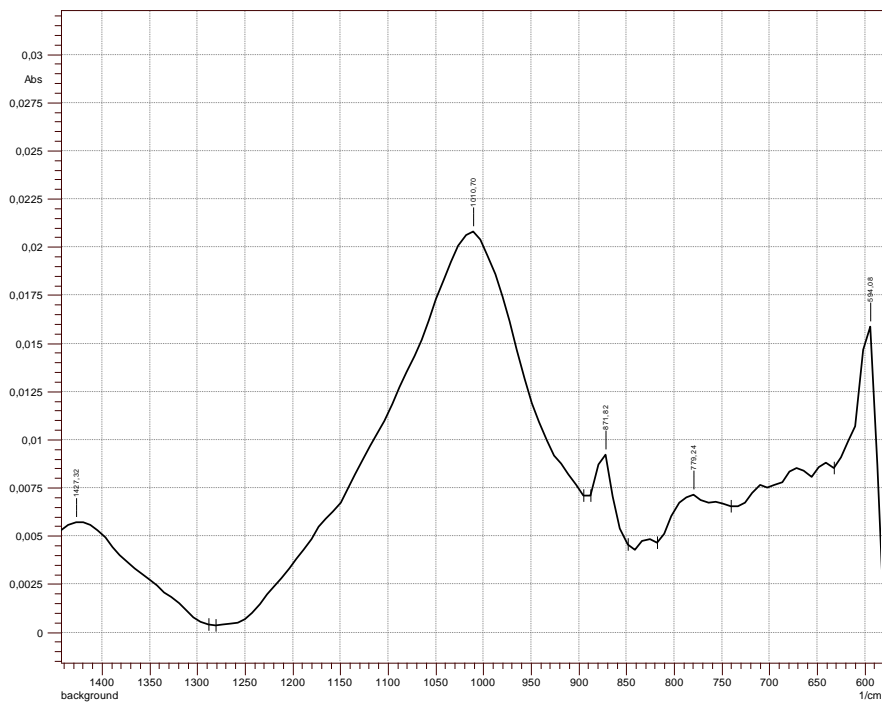
Εικόνα 5. 12 Φάσμα του φόντου

Όπως αναφερθήκαμε ποιά πάνω το μήκος κύματος του φωτός που απορροφάτε είναι χαρακτηριστικό του χημικού δεσμού. Με την ερμηνεία του υπέρυθρου φάσματος απορρόφησης, μπορούν να προσδιοριστούν οι χημικοί δεσμοί σε ένα μόριο. Τα FTIR φασμάτων των καθαρών ενώσεων είναι γενικά τόσο μοναδικά ώστε είναι σαν ένα μοριακό "αποτύπωμα". Ενώ οι οργανικές ενώσεις έχουν πολύ πλούσια, λεπτομερή φάσματα, τα φάσματα των ανόργανων ενώσεων είναι συνήθως πολύ πιο απλά. Για τα περισσότερα κοινά υλικά, το φάσμα ενός άγνωστου δείγματος μπορεί να προσδιοριστεί σε σύγκριση με μια βιβλιοθήκη γνωστών ενώσεων. Το συγκεκριμένο τμήμα του

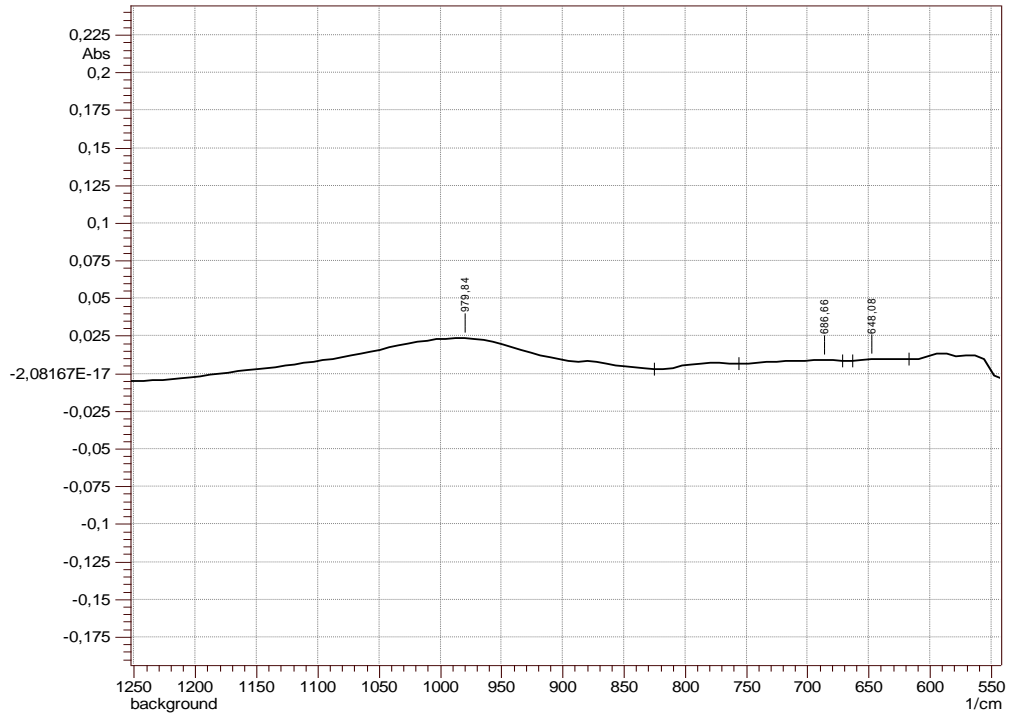
διαγράμματος (εικόνα 5.13) υποδηλώνει ότι στον αέρα υπάρχει νερό καθώς η τιμή $1589,34 \text{ cm}^{-1}$ αντιστοιχεί στο στοιχείο H_2O .



Εικόνα 5.13 Φάσμα του φόντου με ένδειξη νερού

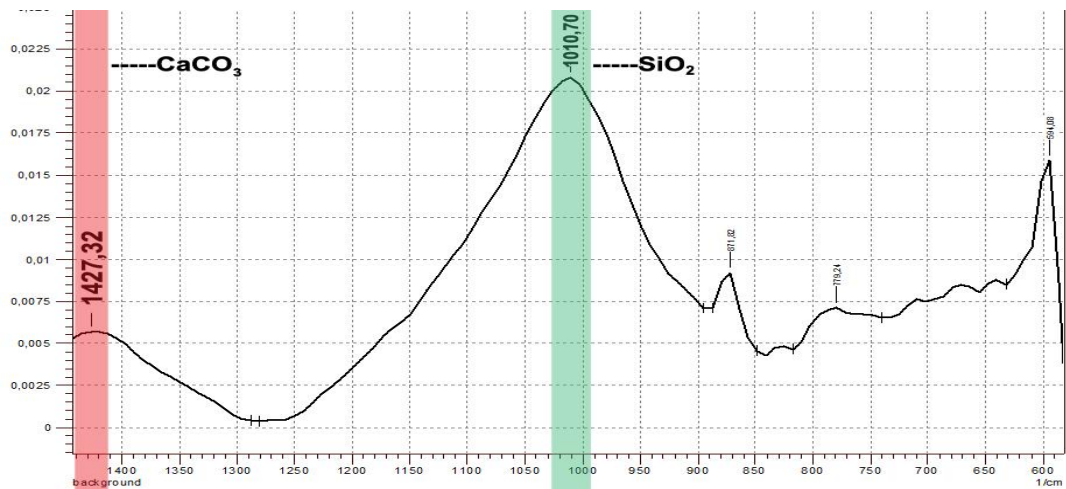


Εικόνα 5.14 Φάσμα του κονιάματος



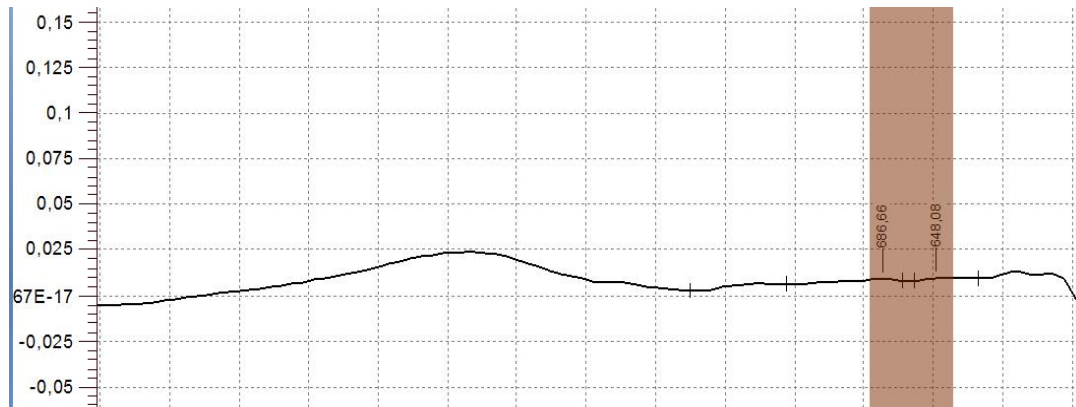
Εικόνα 5. 15 Φάσμα του οπτόπλινθου

Στο φάσμα του κονιάματος παρατηρούμε (εικόνα 5.16) ότι αποτελείται από ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) (αναφορά στο M.A.Legodi Minerala et al Engineering Minerals Engineering Volume 14, Issue 9, 2001, Pages 1107-1111) καθώς και διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) συστατικό της πυριτικής άμμου (αναφορά στο A.N.Mrash Kevich, J of Apphed spectroscopy Volume 75, Issue 2, 2008, Pages 730-739). Και τα δύο είναι συστατικά του δεύτερου τύπου ρωμαϊκού κονιάματος που αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 5. 16 Φάσμα κονιάματος με ενδείξεις ανθρακικού ασβεστίου και διοξειδίου του πυριτίου

Στο φάσμα του οπτόπλινθου παρατηρούμε (εικόνα 5.17) ότι υπάρχουν δείγματα διοξειδίου του κασσιτέρου (SnO_2) (αναφορά στο Anatoli Davydov, *Molecular spectroscopy of oxide catalyst surfaces*, 2003, Page 32), το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί από καιρό ως αδιαφανοποιητής και ως λευκή χρωστική σε κεραμικά σμάλτα. Η χρήση του ήταν ιδιαίτερα συχνή σε βερνικώσεις πήλινων και πλακιδίων τοίχου. Επίσης μπορούμε να δούμε δείγματα οξειδίου του χαλκού (CuO), (αναφορά στο Anatoli Davydov, *Molecular spectroscopy of oxide catalyst surfaces*, 2003, Page 32), το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί ως χρωστική ουσία σε κεραμικά και παράγει μπλε, κόκκινο και πράσινο (και μερικές φορές γκρι, ροζ ή μαύρο) χρώμα βερνικιού. Στην Ελλάδα ανευρίσκεται στα μεταλλεία του Λαυρίου, στην Άνδρο και τη Μήλο.



Εικόνα 5. 17 Φάσμα του οπτόπλινθου με ένδειξη διοξειδίου του κασσιτέρου

Όλη η μελέτη έγινε στο εργαστήριο του τμήματος Ανακαίνισης και Αποκατάστασης Κτιρίων (εικόνα 5.18).



Εικόνα 5. 18 Εργαστήριο του τμήματος Ανακαίνιση και Αποκατάσταση Κτιρίων

ΠΗΓΕΣ ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_spectroscopy#FTIR
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_transform_infrared_spectroscopy
3. http://el.wikipedia.org/wiki/Σκέδαση_Ράμαν
4. <http://el.wikipedia.org/wiki/Φασματοσκοπία>
5. http://el.wikipedia.org/wiki/Φασματοσκόπιο_απορρόφησης
6. <http://el.wikipedia.org/wiki/Φασματοφωτόμετρο>
7. <http://el.wikipedia.org/wiki/Ppm>
8. <http://www.wcaslab.com/tech/tbftir.htm>
9. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040603105001590>
10. [Anatoli Davydov, Molecular spectroscopy of oxide catalyst surfaces](#)
11. [M.A.Legodi Minerala et al Engineering Minerals Engineering Volume 14, Issue 9](#)
12. [A.N.Mrash Kevich, J of Apphed spectroscopy Volume 75, Issue 2](#)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

6.1 Εισαγωγικά

Η πολιτιστική κληρονομιά κάθε τόπου είναι το δαχτυλικό αποτύπωμα της ιστορίας του και της κουλτούρας του. Τα μνημεία είναι ένας από τους τρόπους εμφάνισης αυτής της κληρονομιάς και η συντήρησή τους, μέγιστης σημασίας. Η ιστορική συντήρηση είναι μια προσπάθεια διατήρησης και προστασίας κτιρίων, αντικειμένων, τοπίων και μνημείων ιστορικής σημασίας. Το γεγονός ότι μια ιστορική δομή επέζησε στο παρελθόν σημαίνει ότι θα επιβιώσει και στο μέλλον. Η αποκατάσταση μνημείων είναι ένας τρόπος να διατηρούμε την ιστορία μας και την αξία και ομορφιά ενός τόπου. Παλιά κτίρια και μνημεία είναι τα τεκμήρια διαβίωσης των βασιλέων και μονάρχων της ιστορίας. Με την αποκατάσταση των μνημείων μας δίνετε η δυνατότητα για τη διατήρηση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς.

Η συντήρηση και η αποκατάσταση ιστορικών κτιρίων είναι ένα μεγάλο σε έκταση και σημασία θέμα. Είναι γνωστό ότι οι επεμβάσεις και ο ανασχεδιασμός κτιρίων που είτε παρουσιάζουν βλάβες και χρειάζονται επισκευή είτε χρειάζονται ενίσχυση για κάποιο λόγο είναι σύνθετο και δύσκολο πρόβλημα. Εξωτερικές δράσεις όπως σεισμοί, ελλιπής συντήρηση των κατασκευών καθώς επίσης και η αλληλεπίδραση με ένα ολοένα επιθετικότερο περιβάλλον προκαλούν συχνά την απώλεια της συνάφειας των δομικών στοιχείων μεταξύ τους, ρηγματώσεις και προβλήματα ανθεκτικότητας σε διάρκεια. Επιπλέον επισκευές με χρήση τσιμέντου Portland, πολυμερών οργανικών υλικών ή με συνδυασμό αυτών αποδείχθηκαν συχνά ασύμβατες με τον υπάρχοντα φορέα με συνέπεια την επέκταση των βλαβών.

Το αντικείμενο και οι αρχές της αποκατάστασης των ιστορικών κτιρίων παρουσιάζονται στον Χάρτη της Βενετίας (Venice Chapter 1964). Η ορθή επιλογή των υλικών και των μεθόδων αποκατάστασης είναι ιδιαίτερα δύσκολη εξ' αιτίας της ταχύτατης εξέλιξης της τεχνολογίας, της πληθώρας νέων υλικών που χρησιμοποιούνται στις επισκευές καθώς και ότι ο Χάρτης της Βενετίας αφήνει πολλά περιθώρια επιλογών. Γενικά θεωρείται ότι ο καλύτερος τρόπος για την επίτευξη της ζητούμενης συμβατότητας και ανθεκτικότητας είναι η χρήση «παραδοσιακών» υλικών και αναστρέψιμων μεθόδων επέμβασης.

Σε κάθε περίπτωση αποκατάστασης είναι απαραίτητη η ακριβής εκτίμηση των παλιών υλικών και των παραγόντων που συνετέλεσαν στην αλλοίωσή τους. Επιπλέον ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται σε ορισμένες παραμέτρους

των παλιών υλικών όταν αυτά αποφασιστούν να χρησιμοποιηθούν εκ νέου στην επισκευή του κτιρίου.

6.2 Κριτήρια και αρχές

6.2 α) Χάρτης Βενετίας

Άρθρο 1. 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.

Άρθρο 2. Η συντήρηση και η αποκατάσταση των μνημείων, αποτελεί έναν επιστημονικό κλάδο ο οποίος πρέπει να αποτείνεται στη συνεργασία όλων των επιστημών και όλων των τεχνών που μπορούν να συνεισφέρουν στη μελέτη και τη διάσωση της μνημειακής κληρονομιάς.

Στόχος

Άρθρο 3. Η συντήρηση και η αποκατάσταση των μνημείων αποσκοπούν να τα διασώσουν τόσο σαν έργα τέχνης όσο και σαν ιστορικές μαρτυρίες .

Συντήρηση

Άρθρο 4. Η συντήρηση των μνημείων έχει σαν πρωταρχική απαίτηση τη συνεχή και μόνιμη φροντίδα για την διατήρησή τους.

Άρθρο 5. Η συντήρηση των μνημείων ευνοείται πάντοτε από την καταλληλότητα τους να χρησιμοποιηθούν για κάποιο σκοπό ωφέλιμο στην κοινωνία. Μια τέτοια χρησιμοποίηση είναι βέβαια επιθυμητή, αλλά δεν πρέπει να αλλάζουν την διάρθρωση ή την διακόσμηση των κτιρίων. Οι διαρρυθμίσεις που επιβάλλει η αλλαγή της λειτουργίας τους (από νέες χρήσεις) πρέπει να αντιμετωπίζονται και ενδεχομένως να επιτρέπονται μέσα σ' αυτά τα όρια.

Άρθρο 6. Η συντήρηση ενός μνημείου συνεπάγεται την διατήρησή του άμεσου περιβάλλοντος του, στην κλίμακα του. Αν το παραδοσιακό πλαίσιο δεν έχει εξαφανισθεί, έχουμε καθήκον να το διατηρήσουμε αλλά και ταυτόχρονα να αποκλείσουμε κάθε άλλη προσθήκη, κάθε κατεδάφιση και

κάθε αλλαγή που θα μπορούσε να αλλάξει τις σχέσεις των όγκων και των χρωμάτων.

Άρθρο 7. Το μνημείο είναι αναπόσπαστο από την ιστορική στιγμή που αντιπροσωπεύει και από τον χώρο που είναι τοποθετημένο. Επομένως η μετακίνηση του όλου ή τμήματος ενός μνημείου μπορεί να γίνει παραδεκτή μόνο αν επιβάλλεται από την ανάγκη διασώσεως του, ή δικαιολογείται από λόγους μεγάλης εθνικής ή διεθνούς σημασίας.

Άρθρο 8. Τα γλυπτικά, ζωγραφικά ή διακοσμητικά στοιχεία που είναι αναπόσπαστα δεμένα με το μνημείο, δεν μπορούν να διαχωριστούν παρά μόνο αν το μέτρο αυτό είναι η μοναδική διέξοδος για να εξασφαλιστεί η διάσωση τους.

Αποκατάσταση και Αναστύλωση

Άρθρο 9. Η διαδικασία της αποκαταστάσεως είναι μια επέμβαση υψηλής εξειδίκευσης που επιβάλλεται να γίνεται καθ' εξαίρεση. Έχει σαν στόχο να διατηρήσει και να αποκαλύψει τις ιστορικές και αισθητικές αξίες του μνημείου και βασίζεται στον σεβασμό προς την αρχική του υπόσταση και τα αυθεντικά του στοιχεία. Σταματάει στο σημείο που αρχίζουν να υπάρχουν υποθέσεις. Πέρα από αυτό το σημείο, οποιαδήποτε εργασία που ενδεχομένως θα θεωρηθεί απαραίτητη για τεχνικούς ή αισθητικούς λόγους, θα πρέπει να διαχωρίζεται από την αρχική αρχιτεκτονική σύνθεση και να φέρνει την σφραγίδα της εποχής μας. Σε όλες τις περιπτώσεις η αρχαιολογική μελέτη θα προηγείται της αποκατάστασης και θα την ακολουθεί.

Άρθρο 10. Όταν οι παραδοσιακές τεχνικές αποδεικνύονται ανεπαρκείς, η στερέωση ενός μνημείου μπορεί να εξασφαλιστεί με την προσφυγή σε όλες σε όλες τις σύγχρονες τεχνικές συντηρήσεως και κατασκευές, που η αποτελεσματικότητα θα έχει αποδειχθεί από τα επιστημονικά δεδομένα και τις οποίες θα εγγυάται η πείρα της εφαρμογής τους.

Άρθρο 11. Οι αξιόλογες προσθήκες όλων των εποχών στη σημερινή υπόσταση ενός μνημείου πρέπει να γίνουν σεβαστές, γιατί σκοπός της αποκαταστάσεως του δεν είναι η ενότητα του αρχικού του ρυθμού. Όταν ένα

κτίριο φέρνει υπερκείμενες φάσεις διαφόρων εποχών, η επαναφορά στην αρχική του κατάσταση δεν δικαιολογείται παρά μόνο κατ' εξαίρεση. Αν, δηλαδή, τα στοιχεία που θα αφαιρεθούν έχουν πολύ μικρή σημασία και η σύνθεση που θα αποκαλυφθεί είναι μεγάλης ιστορικής, αρχαιολογικής ή αισθητικής αξίας κι ακόμη αν η κατάσταση της διατηρήσεως του μνημείου κριθεί αρκετά ικανοποιητική. Η κρίση σχετικά με την αξιολόγηση των μεταγενέστερων στοιχείων και η απόφαση για την απάλειψή τους, δεν θα πρέπει να εξαρτώνται μόνο από το άτομο που ανέλαβε την μελέτη του έργου.

Άρθρο 12. Τα στοιχεία που προορίζονται να αντικαταστήσουν τμήματα του μνημείου που έχουν καταστραφεί, πρέπει να ενσωματώνονται αρμονικά στο σύνολο, αλλά και να διακρίνονται από τα αυθεντικά μέρη, έτσι ώστε να μην πλαστογραφούνται τα καλλιτεχνικά και ιστορικά τεκμήρια του κτιρίου.

Άρθρο 13. Οι προσθήκες δεν μπορεί να γίνουν ανεκτές παρά μόνο αν σέβονται όλα τα ενδιαφέροντα μέρη του κτιρίου, το παραδοσιακό του πλαίσιο, την ισορροπία της συνθέσεως του και τις σχέσεις του με τον περιβάλλοντα χώρο.

Μνημειακά Σύνολα

Άρθρο 14. Τα μνημειακά σύνολα πρέπει να γίνουν αντικείμενο ειδικών φροντίδων για να σωθεί η ακεραιότητά τους και να εξασφαλισθεί η εξυγίανσή τους, η διαρρύθμισή και η αξιοποίησή τους. Οι εργασίες για την συντήρηση και την αποκατάστασή τους, πρέπει να εμπνέονται από τις αρχές που διατυπώνονται στα προηγούμενα άρθρα.

Ανασκαφές

Άρθρο 15. Οι ανασκαφές πρέπει να γίνονται σύμφωνα με τους επιστημονικούς κανόνες και καθώς ορίζουν οι "συστάσεις για τους διεθνείς όρους που πρέπει να εφαρμόζονται στις αρχαιολογικές ανασκαφές" τις οποίες υιοθέτησε η UNESCO το 1956. Επιβάλλεται να γίνεται διευθέτηση των ερειπίων και να λαμβάνονται τα αναγκαία μέτρα για την συντήρηση και την μόνιμη προστασία των αρχιτεκτονικών στοιχείων και των ευρημάτων. Εξάλλου, θα είναι ευπρόσδεκτη κάθε πρωτοβουλία που θα διευκολύνει την κατανόηση του μνημείου χωρίς να παραμορφώνει την σημασία του. Ωστόσο, κάθε εργασία ανακατασκευής θα πρέπει να αποκλείεται εκ των προτέρων. Μόνο η αναστήλωση μπορεί να αντιμετωπισθεί, δηλαδή η ανασύνθεση μελών

που σώθηκαν αλλά έχουν μετακινηθεί. Οι συμπληρώσεις όμως θα είναι πάντα αναγνωρίσιμες και θα αντιπροσωπεύουν το ελάχιστο που απαιτείται για να εξασφαλιστούν οι συνθήκες συντηρήσεως του μνημείου και να αποκατασταθεί η μορφολογική του συνέχεια.

Τεκμηρίωση και δημοσιεύσεις

Άρθρο 16. Οι εργασίες συντηρήσεως, αποκαταστάσεως και ανασκαφής θα πρέπει να βασίζονται σε εξακριβωμένη τεκμηρίωση, δηλαδή σε αναλυτικές και κριτικές εκθέσεις, εικονογραφημένες με σχέδια και φωτογραφίες. Όλες οι φάσεις των εργασιών για την απάλειψη νεώτερων στοιχείων, την στερέωση, την ανασύνθεση και την ένταξη νέων (στοιχείων), καθώς και όλα τα τεχνικά και μορφολογικά στοιχεία που θα εξακριβώνονται κατά την διάρκεια των εργασιών, θα πρέπει να καταγράφονται λεπτομερειακά. Αυτή η τεκμηρίωση θα κατατίθεται στα αρχεία ενός δημοσίου ιδρύματος και θα είναι προσιτή στους ερευνητές. Προτείνεται η δημοσίευσή τους.

6.2 β) Κριτήρια και αρχές των επεμβάσεων

Οι σημαντικότερες απαιτήσεις για τον καθορισμό της βέλτιστης τεχνικής επέμβασης είναι:

- Σαφή γνώση των υλικών και της μορφολογίας του φέροντα οργανισμού του μνημείου.
- Αποτύπωση της παθολογίας και περιγραφή του τύπου και της έκτασης των βλαβών.
- Προσδιορισμός και τεκμηρίωση των αιτιών πρόκλησης της υφιστάμενης παθολογίας και των βλαβών του μνημείου.
- Εκτίμηση της υφιστάμενης αντοχής του φέροντα οργανισμού με επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές,
- Σαφή γνώση των διαφόρων τεχνικών επισκευής και ενίσχυσης.

Τα κριτήρια και οι αρχές επεμβάσεων που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή των κατάλληλων τεχνικών συμβάλουν καθοριστικά στην αποτελεσματικότητα του τελικού σχήματος επέμβασης. Τα κριτήρια αυτά είναι:

- Σεβασμός στο πρωτότυπο
- Αντιστρεψιμότητα προτεινόμενων επεμβάσεων
- Συμβατότητα προτεινόμενων και υφιστάμενων υλικών
- Διαχρονικότητα νέων επεμβάσεων
- Οικονομικό κόστος επέμβασης και συντήρησης
- Χρόνος αποπεράτωσης
- Κοινωνικό και ψυχολογικό κόστος των ενοίκων και του κοινωνικού συνόλου

- Επαρκής και ευσταθής υποσύλωση κατά την διάρκεια των εργασιών επέμβασης

Συνήθης εργασία κατά την αποκατάσταση λιθοδομής είναι η αφαίρεση των σαθρών κονιαμάτων και η εφαρμογή νέων. Οι δυσκολίες που αντιμετωπίζονται στην εκτίμηση της ποιότητας των παλιών κονιαμάτων είναι ποικίλες και διαφορετικές σε κάθε περίπτωση. Μετά τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των παλιών κονιαμάτων αναζητούνται οι ιδιότητες των κονιαμάτων αποκατάστασης.

Τα χαρακτηριστικά του κονιάματος αποκατάστασης πρέπει να είναι:

- Εύκολη εργασιμότητα
- Σύντομη και αξιόπιστη πήξη τόσο σε υγρό όσο και σε ξηρό περιβάλλον
- Χαμηλή ξήρανση κατά την διάρκεια της πήξης
- Μηχανικά και θερμικά χαρακτηριστικά και πορώδες παρόμοια των αντίστοιχων των στοιχείων της τοιχοποιίας
- Μειωμένη περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα

Το τελικό σχήμα επέμβασης σε ένα μνημείο περιλαμβάνει συνήθως ταυτόχρονα πολλαπλούς στόχους. Για την επισκευή και ενίσχυση του φέροντος οργανισμού έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές που εφαρμόζονται διεθνώς και στον ελλαδικό χώρο. Η επιλογή μιας ή συνδυασμός τεχνικών είναι αποτέλεσμα αρκετών παραμέτρων.

Σε ότι αφορά τα υλικά επισκευής επισημαίνουμε ότι το τσιμέντο και κονιάματα με βάση πολυμερή οργανικά υλικά δεν δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε διαλυτά άλατα και της μικρής συμβατότητας αυτών των υλικών με τα αρχικά συστατικά του ιστορικού μνημείου. Από την άλλη, νέα υλικά αποκατάστασης, τα οποία έχουν επιλεγεί χωρίς προηγούμενη μελέτη συμπεριφέρονται επίσης ακατάλληλα όταν εφαρμόζονται σε ιστορικά μνημεία λόγω των διαφορετικών φυσικών χαρακτηριστικών και του διαφορετικού τρόπου παραγωγής των πρώτων υλών τους, τον τρόπο ανάμιξης και το μέγεθος των κόκκων των κονιαμάτων.

Επομένως είναι απαραίτητη η χρήση υλικών ή μίγματα υλικών τα οποία να είναι συμβατά με τα αρχικά υλικά του κτιρίου αποκατάστασης.

6.3 Πρόταση αποκατάστασης

Συνθετικό στάδιο

A. Πρόταση αποκατάστασης (επεμβάσεις, μέθοδοι αποκατάστασης)

B. Πρόταση μελέτη συμβατότητας.

Η πρόταση για την αποκατάσταση του συγκεκριμένου μνημείου γίνεται στο πλαίσιο της πτυχιακής μας εργασίας με θέμα το λιθόκτιστο τμήμα του Ρωμαϊκού υδραγωγείου Πάτρας. Στόχο έχει τη γνώση των δομικών οικοδομικών και αισθητικών προβλημάτων του μνημείου και την ανεύρεση λύσεων ώστε να διατηρηθούν οι μορφολογικές και κατασκευαστικές του ιδιαιτερότητες και να ξαναποκτήσει αίγλη που του αρμόζει. Λόγω της ανυπαρξίας Με την ένταξη της παραπάνω χρήσης στο μνημείο θα γίνει προσπάθεια να συνδυαστεί ο σεβασμός προς το περιβάλλον και την παράδοση με τη σύγχρονη αισθητική και τεχνοτροπία.

Στόχος της αποκατάστασης του μνημείου είναι η επανένταξή του στο οικιστικό σύνολο της περιοχής, η οποία είναι μια περιοχή κατοικίας, με μια χρήση απόλυτα συμβατή και μια δραστηριότητα που είναι αναγκαία όχι μόνο για τη γειτονιά που βρίσκεται το μνημείο, αλλά και την ευρύτερη περιοχή της Πάτρας.

Η πρόταση βασίστηκε στους παράγοντες της θέσης και της μορφολογίας. Η πρόταση επέμβασης στηρίχθηκε στις αρχές του Χάρτη της Βενετίας (1964).

Σύμφωνα με τον χάρτη και ειδικότερα στο άρθρο 9, ορίζεται ότι η διαδικασία της αποκατάστασης είναι μια επέμβαση που έχει στόχο και να αποκαλύψει τις αισθητικές αξίες του μνημείου και βασίζεται στον σεβασμό προς την αρχική του υπόσταση και τα αυθεντικά του στοιχεία. Θεωρεί ότι οποιαδήποτε εργασία, που ενδεχομένως θεωρηθεί απαραίτητη, θα πρέπει να διαχωρίζεται

από την αρχική αρχιτεκτονική σύνθεση και να φέρνει την σφραγίδα της εποχής μας.

Δεδομένου ότι το εν λόγω μνημείο στερείται αρκετών κατασκευαστικών του χαρακτηριστικών, μας δίνεται η δυνατότητα να επέμβουμε σε μεγαλύτερο βαθμό με περιορισμούς. Προτείνεται η επέμβαση να ακολουθήσει την αρχή της διατήρησης και συντήρησης του μέγιστου δυνατού του κελύφους, που βοηθά στην αναγνώριση της αρχιτεκτονικής μορφής της προηγούμενης φάσης.

Οι επεμβάσεις στο μνημείο για την αποκατάσταση πρέπει να είναι τέτοιες που να μην αλλοιώνουν την αυθεντικότητα της μορφής της κατασκευής. Οι όποιες επεμβάσεις και ανακατασκευές θα γίνονται με τα ίδια υλικά (πέτρα, οπτόπλινθοι κτλ).

6.3.1 Συμβατά υλικά επεμβάσεων

Κατά την διάρκεια της αποκατάστασης των μνημείων προκύπτει η ανάγκη είτε να επαναληφθούν οι παλιές κατασκευαστικές μέθοδοι είτε να συμπληρωθεί το υφιστάμενο «παραδοσιακό» υλικό. Τα παραδοσιακά υλικά, την εποχή που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν κοινά και βρίσκονταν με σχετική ευκολία γιατί προέρχονταν από τις κοντινές προς το μνημείο περιοχές ή λατομεία. Σήμερα όπου η παραγωγή των παραπάνω υλικών έχει σταματήσει, η σύγχρονη τεχνολογία δεν έχει ενεργοποιηθεί για να καλύψει το παραπάνω κενό της αγοράς.

Είναι αποδεκτό ότι συμβατότητα δεν σημαίνει απαραίτητα υλικά με τα ίδια χημικά συστατικά αλλά με παρόμοιες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες. Μέχρι τώρα ο προσδιορισμός της συμβατότητας των υλικών στηριζόταν σε πειραματικά αποτελέσματα σε συνθήκες εργαστηρίου οι οποίες διαφέρουν σημαντικά από τις πραγματικές. Τα υλικά εξετάζονται με την χρήση μεθόδων που χρησιμοποιούνται για δοκιμές σκυροδέματος και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αυθεντικά υλικά.

Γενικά, όσον αφορά τα υλικά επισκευής πρέπει να τονιστεί ότι το τσιμέντο και κονιάματα με βάση πολυμερή οργανικά υλικά δεν δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε διαλυτά άλατα και της μικρής συμβατότητας αυτών των υλικών με τα αρχικά συστατικά του ιστορικού κτιρίου. Από την άλλη, νέα υλικά αποκατάστασης, τα οποία έχουν επιλεγεί χωρίς προηγούμενη μελέτη συμπεριφέρονται επίσης ακατάλληλα όταν εφαρμόζονται σε ιστορικά κτίρια λόγω των διαφορετικών φυσικών χαρακτηριστικών και του διαφορετικού τρόπου παραγωγής των πρώτων υλών τους, τον τρόπο ανάμιξης και το μέγεθος των κόκκων των κονιαμάτων. Επομένως είναι απαραίτητη η χρήση υλικών ή μίγματα υλικών τα οποία να είναι συμβατά με τα αρχικά υλικά του μνημείου αποκατάστασης.

Τα υλικά που απαιτούνται είναι:

- λιθοσώματα (λίθοι, ωμόπλινθοι, οπτόπλινθοι, που χρησιμοποιούνται στις ανακατασκευές ή συμπληρώσεις)

- κονιάματα

- Οι πλίνθοι παράγονται σε βιοτεχνίες ή βιομηχανίες κυρίως βάσει των μορφολογικών στοιχείων και της χρωματικής απόχρωσης.

- Τα κονιάματα παρασκευάζονται επί τόπου στο εργοτάξιο που στήνεται στο έργο βάσει των αναλογιών αναμίγματος που έχουν προκύψει από το σχεδιασμό του κονιάματος.

Το πρόβλημα λοιπόν, σχεδιασμού υλικών επέμβασης επικεντρώνεται στα κονιάματα.

6.3.2 Φέρων οργανισμός-Τοιχοποιία

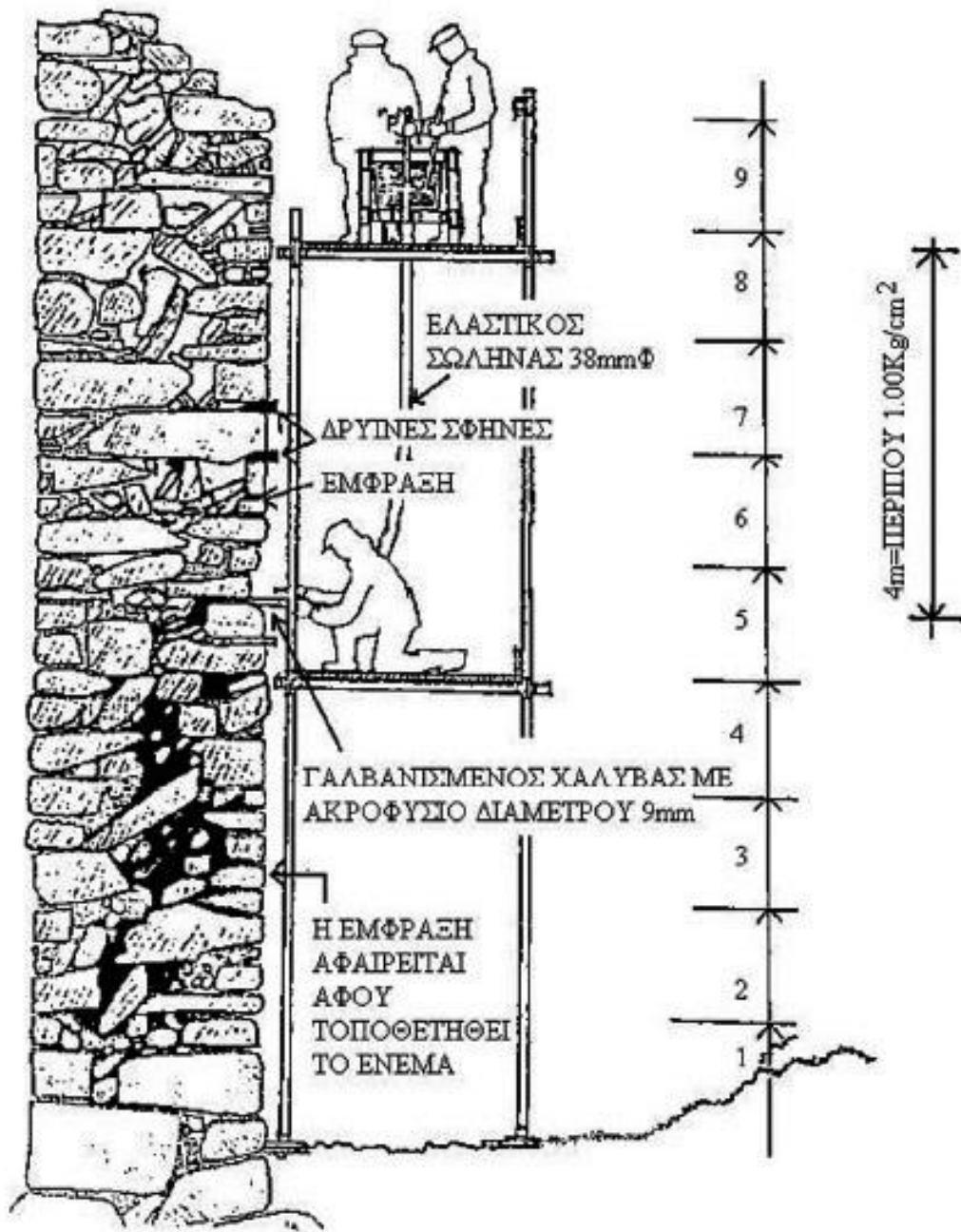
Τοιχοποιία

Τα τμήματα της τοιχοποιίας που έχουν καταρρεύσει θα πρέπει να ανακατασκευάζονται, με μορφή όμοια των παλαιών. Θα πρέπει να αποφεύγονται επεμβάσεις που αλλοιώνουν τη μορφή και τη στατική λειτουργία του μνημείου, όπως μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος ή υποστρώματα εντός της τοιχοποιίας. Ανάλογα με το είδος και το εύρος των

ζημιών, η συνοχή των τοίχων από λιθοδομή και η εξασφάλιση της στατικής τους επάρκειας θα πρέπει να αποκαθίσταται με βαθύ αρμολόγημα, χρήση ανοξειδωτων συνδέσμων στις ρωγμές, τοπικές συμπληρώσεις των φθαρμένων λίθων και του αρμολογήματος, και τοπικά ή γενικά ενέματα με κονίαμα συμβατό με το αρχικό. Σε ό,τι αφορά την επιφάνεια του υλικού δομής, αν χρειάζεται καθαρισμό από ασβεστώματα ή βιολογική ανάπτυξη, αυτός θα πρέπει να γίνεται με ήπια υδροβολή.

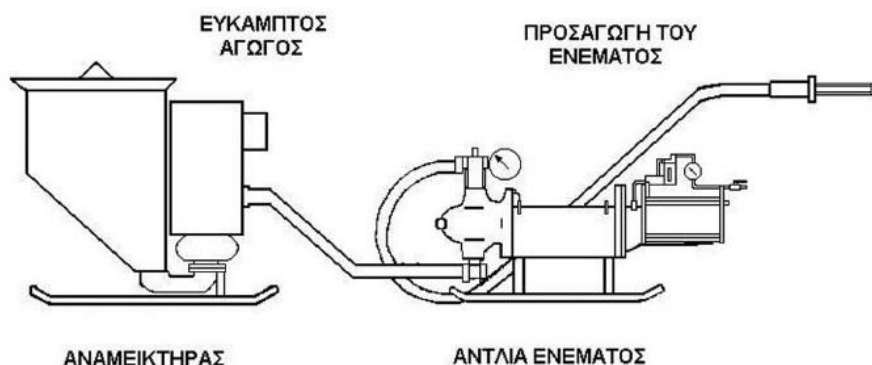
Οι στατικές επεμβάσεις που προτείνονται είναι οι εξής:

- Αποκατάσταση και ανακατασκευή των τμημάτων της φέρουσας τοιχοποιίας που έχουν καταρρεύσει μέχρι του ανώτερου ύψους αυτής.
- Στερεοποίηση της περιμετρικής φέρουσας τοιχοποιίας
- Οι μέτριες ρωγμές θα αποκατασταθούν με τη μέθοδο της συρραφής με κλειδιά. Γίνεται καθαρισμός της τοιχοποιίας στο σημείο της ρωγμής και στη συνέχεια το άνοιγμα συμπληρώνεται με υλικά όμοια με αυτά της τοιχοποιίας για τη απόλυτη συνεργασία με την παλιά τοιχοποιία (ομοιογένεια). Η διαδικασία αυτή γίνεται έτσι ώστε να γεφυρωθούν τα χείλη της ρωγμής. Με αυτή τη μέθοδο δεν εισάγονται ξένα υλικά στην τοιχοποιία, έτσι δεν επηρεάζεται η μορφολογία του κτιρίου.
- Επισκευή και ενίσχυση της λιθοδομής με υδραυλικά ενέματα. Τα ενέματα αποκαθιστούν τη συνέχεια μεταξύ των κατεστραμμένων τμημάτων της λιθοδομής και ομοιογενοποιούν την μάζα της τοιχοποιίας καθώς διοχετεύουν στο εσωτερικό της, με μηχανικό τρόπο, ένα ρευστό υλικό που γεμίζει τα κενά και τις ρωγμές και δίνει αντοχή και συνάφεια. Τα ενέματα διατηρούν τον τρόπο δόμησης χωρίς να αλλοιώνουν την εξωτερική μορφή, τη γεωμετρία ή τη στατικότητα και διατηρούν τις ιστορικές πληροφορίες. Τα υδραυλικά ενέματα πλεονεκτούν σε σχέση με τα πολυμερή γιατί τα χαρακτηριστικά τους είναι παρόμοια με αυτά των υλικών των λιθοδομών και έχουν ικανοποιητική συνάφεια (εικόνες 6.1, 6.2).



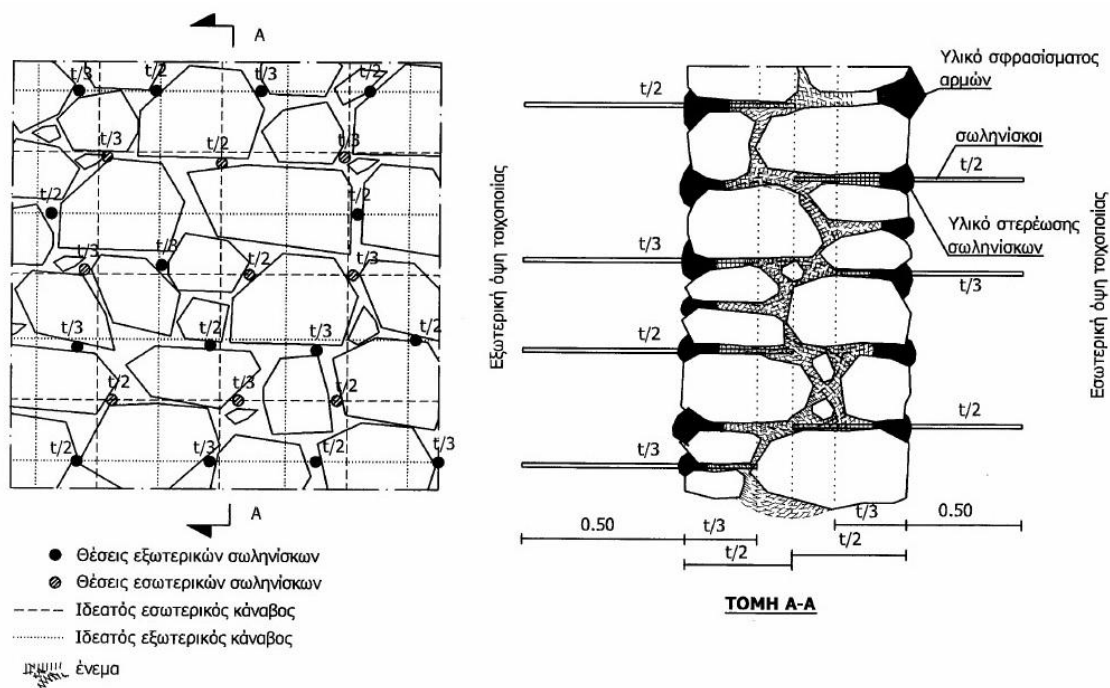
ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΑΝΑ 0,50m
ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ 1,2,3,4 ΤΟ ΕΝΕΜΑ ΕΧΕΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΘΕΙ

Εικόνα 6. 1 Τοποθέτηση ενεμάτων



γενική διάταξη εγκατάστασews για ενέματα

Εικόνα 6. 2 Υδραυλικά ενέματα



Σχήμα 1: Διάταξη σωληνίσκων ενέματος

Σχήμα 6.3 : Διάταξης σωληνίσκων ενέματος

Βαθύ αρμολόγημα με μικρούς λίθους που σφηνώνονται στους αρμούς (σε περιπτώσεις αρμών μεγάλου εύρους) και περισσότερα από ένα στρώματα πατητό αρμολόγημα. Αυτή η μέθοδος αντικαθιστά τη συνάφεια των λίθων σε μεγάλο βάθος.

- Ενίσχυση παρειάς λιθοδομής με οπλισμένο επίχρισμα προς αποφυγή τριχοειδών ρωγμών. Η κατασκευή μανδύα ενίσχυσης αποκλείστηκε γιατί παρ' όλη την ευκολία που προσφέρει η λύση αυτή, δεν παύει να εξαφανίζει κάθε ιστορικό στοιχείο με την ολική κάλυψη της λιθοδομής. Επίσης μειώνεται η δυνατότητα αναπνοής της τοιχοποιίας καθώς και η διάρκεια ζωής του μνημείου.

Μέλημά μας είναι η επίλυση των στατικών και δομικών προβλημάτων του υπάρχοντος μνημείου.

Τεχνικές επεμβάσεων

Οι τεχνικές επεμβάσεων μπορούν να χωριστούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το ποσοστό ενσωμάτωσής τους στο μνημείο και την ευκολία ή δυσκολία αφαίρεσής τους από αυτό (βαθμός αναστρεψιμότητας). Επομένως, ήπιες επεμβάσεις χαρακτηρίζονται εκείνες που δεν ενσωματώνονται σε μεγάλο ποσοστό στον υφιστάμενο φορέα και μπορούν εύκολα να αφαιρεθούν. Δραστικές χαρακτηρίζονται οι επεμβάσεις με υψηλό ποσοστό ενσωμάτωσης στον υφιστάμενο φορέα και η αφαίρεσή τους είναι δύσκολη ή αδύνατη.

Οι πλέον διαδεδομένες τεχνικές επισκευής και ενίσχυσης αναλύονται στην συνέχεια (Δημοσθένους & Στυλιανίδης 2000):

- **Θεμελίωση**

Με τη διαδικασία του “ξεμπαζώματος” διαμορφώνουμε πληρέστερη εικόνα για την κατάσταση των θεμελίων και για την περαιτέρω ενίσχυσή τους.

- **Βαθύ αρμολόγημα**

Η συγκεκριμένη μέθοδος συνιστάται για λιθοδομές μικρού πάχους (< 0.004 m) ή πλινθοδομές που παρουσιάζουν ρηγματώσεις μέχρι 0,1 m. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου εξαρτάται από τον βαθμό αποκατάστασης του υπάρχοντος κονιάματος χαμηλής αντοχής από το νέο κονίαμα υψηλής αντοχής. Γενικά έχουμε τοπική αύξηση της αντοχής του τοίχου.

- **Ενέσεις σε ρωγμές**

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται όπου το εύρος των ρωγμών της τοιχοποιίας δεν υπερβαίνει τα 0,01 m ενώ μπορεί να εφαρμοστεί και σε τοιχοποιίες μεγαλύτερου πάχους. Η τεχνική αυτή οδηγεί σε αποκατάσταση της αρχικής αντοχής της τοιχοποιίας ενώ βασικά της μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος λόγω διάθεσης σχετικού εξοπλισμού και σχολαστική εργασία.

Στην περίπτωση όπου επιδιώκουμε με το ένεμα που εισάγεται στην μάζα της τοιχοποιίας, την πλήρωση όχι μόνο των ενδεχόμενων ρωγμών αλλά και όλων των κενών στο εσωτερικό της τότε πρόκειται για την τεχνική της ομογενοποίησης της μάζας. Η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα αποδοτική στην περίπτωση αργολιδομών με μεγάλο ποσοστό κονιάματος χαμηλής ποιότητας καθώς και στην περίπτωση τρίστρωτων τοιχοποιιών.

- **Συρραφή μεγάλων ρωγμών**

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις μεγάλων ρωγμών καθώς και ρωγμές μεγάλου εύρους ή μήκους που εκτείνονται οριζόντια, κατακόρυφα ή διαγώνια στην επιφάνεια του τοίχου. Με την τεχνική αυτή αυξάνεται η διατμητική αντοχή της τοιχοποιίας ενώ προκαλείται γενικά αλλοίωση της εξωτερικής όψης του τοίχου.

- **Συρραφή αποκολλημένων τοίχων**

Εφαρμόζεται όπου υπάρχει ρωγμή αποκόλλησης ή μερική κατάρρευση στην θέση ένωσης γωνιακών ή εσωτερικών τοίχων. Με την συγκεκριμένη τεχνική ανακτάται και εν μέρει αυξάνεται τοπικά η αντοχή του τοίχου στην ανακατασκευαζόμενη περιοχή.

Σύμφωνα με την πρόταση φεκ. Αριθμ. Πρωτ.: ΥΠΠΟΤ/_ΑΑΜ/1183/87028

1. Να γίνουν μόνο οι αναγκαίες εργασίες. Τα άμεσα σωστικά μέτρα να αντιμετωπίσουν τα τυχόν προβλήματα που θα προκύψουν κατά τη διάρκεια των έργων. Τα ενέματα, τα κονιάματα (μετά από σχολαστικό καθαρισμό) και

οι περιδέσεις να στερεώσουν κατ' αρχήν το μνημείο, ώστε να αποφευχθούν τα βλήτρα και οι συρραφές, που ίσως μπουν μετά την προσέγγιση του μνημείου, αν τεκμηριωθούν στατικά.

2. Οι πληρώσεις των κενών στη βάση των πεσσών, αντί να στηριχθούν με λίθινο τοίχο εδραζόμενο σε βάση μπετόν αρμέ, να γίνουν με λιθόδεμα κατά το ρωμαϊκό τρόπο: πέτρες ανάλογου μεγέθους, συμβατό υλικό πλήρωσης (η οπτοπλινθοδομή να ανακατασκευαστεί μελλοντικά). Για την έδραση της συμπλήρωσης του πυρήνα, να αποκαλυφθεί ανασκαφικά το λιθόδεμα των πεσσών. Η επαφή να γίνει με πλαστική μεμβράνη ή υαλόπλεγμα.

Να διαχωριστεί η νέα κατασκευή με έλασμα μολύβδου.

3. Η άρση της ετοιμορροπίας του σωζόμενου τόξου να γίνει με θολότυπο (αντί σημειακών στηρίξεων). Να ακολουθήσει πλήρωση της ρωγμής με ένεμα.

Προδιαγραφές των νέων κονιαμάτων επέμβασης

Οι κυριότερες προδιαγραφές των νέων δομικών κονιαμάτων τέθηκαν με γνώμονα την προσομοίωση των αρχικών και την επίτευξη συμβατότητας με τα υπάρχοντα δομικά υλικά του μνημείου ούτως ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι αισθητικά και τεχνικά το επιθυμητό.

Επιπλέον, λήφθηκε υπόψη μία βασική αρχή που αφορά στη συντήρηση παλαιάς τοιχοποιίας, σύμφωνα με την οποία ένα νέο κονίαμα επέμβασης δεν πρέπει να ξεπερνά κατά πολύ την αντοχή των υλικών της διαβρωμένης τοιχοποιίας στην οποία εφαρμόζεται. Σε μία δομή η οποία αντιμετωπίζει προβλήματα φθοράς και διάβρωσης είναι προτιμότερο να αστοχήσει το νέο εφαρμοζόμενο κονίαμα και όχι η περιβάλλουσα αρχική τοιχοποιία.

Οι προδιαγραφές των νέων προτεινόμενων κονιαμάτων είναι οι εξής:

- Χρωματική ομοιότητα και ομοιότητα των συστατικών τους πρώτων υλών ως προς την ορυκτολογία και τα φυσικά χαρακτηριστικά τους (κοκκομετρία) με τα πρωταρχικά κονιάματα του μνημείου.
- Βελτίωση των τεχνικών χαρακτηριστικών των κονιαμάτων (πχ. αντοχής)

για τις θέσεις στο μνημείο όπου απαιτείται προκειμένου να αντιμετωπιστούν έντονα στατικά προβλήματα (πχ. αψίδα), με την προσθήκη δύο τύπων υδρασβέστου (μίας ρωμαϊκής σκόνης υδρασβέστου και μίας ελληνικής πλήρως ενυδατωμένης) και σε δύο περιπτώσεις μικρής προσθήκης τσιμέντου πόρτλαντ.

- Επίτευξη συνάφειας των νέων κονιαμάτων με τα υπόλοιπα υπάρχοντα δομικά υλικά του μνημείου.

6.3.3 Τεχνικές



η τεχνολογία των εποξειδικών ρητινών



Πλατεία Βικτωρίας
104 34, Αθήνα, →
τηλ.: 210-8259981
fax: 210-8259983
web: www.syntech.gr
e-mail: syntech@syntech.gr

IAR CALX ROMANA

Φυσική υδραυλική άσβεστος για φέρουσες τοιχοποιίες σε κτίρια μνημειακού χαρακτήρα

Φυσική υδραυλική άσβεστος για ενέματα, για επιστρώσεις, για αρμολόγημα, για επιχρίσματα. Χρησιμοποιείται για την συντήρηση και την αποκατάσταση ιστορικών κτισμάτων. Η IAR CALX ROMANA αποτελείται από πυριτικό ασβέστιο C_2S ($2CaO \cdot SiO_2$) και μονοασβεστούχο αργίλιο $CA(CaO \cdot Al_2O_2)$.

Παράγεται από ασβεστολιθική μάργα η οποία ψήνεται σε θερμοκρασίες κάτω των $1100^\circ C$, σε παραδοσιακούς φούρνους συνεχούς καύσεως με υψικάμινο, στους οποίους χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη ο άνθρακας.

Από την διαδικασία αυτή παράγεται ένα υδραυλικό συνδετικό υλικό. Το χρώμα του είναι φουντουκί – ροζ ανοιχτό και, επειδή πρόκειται για ένα προϊόν εντελώς φυσικό, ποικίλλει από παρτίδα σε παρτίδα, καθότι εξαρτάται από το χρώμα της αρχικής μάργας.

Χαρακτηριστικά

- Δεν περιέχει τσιμέντο.
- Είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε υδροδιαλυτά άλατα.
- Περιέχει φυσική πουζολάνη.
- Ο τύπος που χρησιμοποιείται για την δημιουργία ενεμάτων είναι εξαιρετικά λεπτόκοκκος, ώστε να διεισδύει σε μικρορωγμές ($80\% < 60$ microns).
- Δεν προσβάλλεται από θειικά άλατα και από ύδατα πλούσια σε ανθρακικό ανυδρίτη.
- Είναι εξιδρωτική.
- Δεν δημιουργεί θύλακες αυξημένης ακαμψίας όπου εφαρμόζεται.
- Δεν προκαλεί την δημιουργία διογκωτικών αλάτων Ετριγγίτη και Θαυμασίτη.
- Έχει ικανότητα πλήρωσης των κενών: μεγαλύτερη του 60% έναντι της ίδιας ποσότητας τσιμεντενέματος.
- Χρόνος σκλήρυνσης: αρχικός περίπου 4 ώρες και τελικός περίπου 4 ημέρες στους $20^\circ C$.

Τύποι προϊόντων

Τύπος **I** : για ενέματα, δίχως κανένα πρόσθετο.

Τύπος **IA**: για την παραγωγή ενεμάτων, περιέχει φυσικό υπερρυστοποιητή για την μείωση της αναλογίας του νερού και την βελτίωση της διείσδυσης. Επίσης, βοηθά ώστε να ελέγχει την συστολή.

Τύπος **M**: για κονιάματα σε φέρουσες τοιχοποιίες και για επιχρίσματα.



Τεχνικά χαρακτηριστικά των ενεμάτων

- Αντοχή σε θλίψη στις 28 ημέρες 2,5 MPa
- Αντοχή σε θλίψη στις 90 ημέρες 3,5 MPa
- Αντοχή σε θλίψη στους 12 μήνες 7,0 MPa
- Μέτρο ελαστικότητας στους 12 μήνες 5.000 MPa
- Ειδικό βάρος 1,0 kgr/dm³
- Χρόνος σκλήρυνσης : αρχικός 4 ώρες, πλήρης 4 ημέρες στους 20°C.
- Χρόνος εκκένωσης του κώνου του Marsh ενός λίτρου ενέματος < 40 sec.
- Απουσία bleeding.
- Finezza (λεπτότης): ειδική επιφάνεια ασβέστου για ενέσεις > 10.000 Blaine
- Finezza (λεπτότης): ειδική επιφάνεια ασβέστου για κονιάματα > 7.500 Blaine

Χημική ανάλυση και στατιστικά στοιχεία

- Απώλεια στην φωτιά 25,67%
- CaO 45,00%
- SiO₂ 22,20%
- Al₂O₃ 3,90%
- Fe₂O₃ 1,75%
- MgO 0,55%

Εφαρμογές

- Ενέματα: προσθέτετε καθαρό νερό μέχρις ότου επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός ρευστότητας. Ανακατέψτε με χαμηλή ταχύτητα και αφήστε το μείγμα για δέκα περίπου λεπτά να ηρεμήσει πριν από την ένεση που θα πρέπει να γίνει με χαμηλή πίεση. Μην προσθέσετε οτιδήποτε άλλο, ιδιαίτερα υδραυλικά τσιμεντοειδή συνδετικά. Μην προχωρήσετε στην εφαρμογή του ενέματος αν υπάρχει πιθανότητα να πέσει η θερμοκρασία κάτω από τους 5°C.
Προτεινόμενη σύνθεση:
0,660 kgr Calx Romana
0,340 kgr Νερό
1 kgr Ενέματος
- Συνδετικά κονιάματα, αρμολογήματα και επιχρίσματα: εφαρμόστε τα ακολουθώντας κατά γράμμα τους κανόνες της οικοδομικής.

Εντοπισμένες ακαμψίες

Οι εντοπισμένες ακαμψίες προκαλούνται από υλικά των οποίων το μέτρο ελαστικότητας είναι πολύ μεγαλύτερο από το αντίστοιχο της τοιχοποιίας. Η **Calx Romana** έχει μέτρο ελαστικότητας 2.200 GPa (το μέτρο ελαστικότητας στις 28 ημέρες είναι 2.200 GPa αλλά στους 12 μήνες, που κυρίως μας ενδιαφέρει, είναι 5.000MPa) (ίδιο με εκείνο που έχουν τα ιστορικά κονιάματα), ενώ το αντίστοιχο των τσιμεντενεμάτων είναι κατά μέσο όρο υψηλότερο των 10 GPa, τέτοιο που να προκαλεί επικίνδυνες συγκεντρώσεις δυνάμεων.

Αναπνοή των επιχρισμάτων

Τα επιχρίσματα που κατασκευάζονται με την **IAR CALX ROMANA** είναι λίαν εξιδρωτικά:

αν

- μ είναι ο συντελεστής αντοχής στην διάχυση του ατμού = 11 (αδιαστατικό)
- s είναι το πάχος σε μέτρα επιχρίσματος
- Sd είναι η διάχυση του ατμού σε σχέση με το ισοδύναμο στρώμα αέρος του ίδιου πάχους (σε αντίστοιχα μέτρα)

τότε:

$$Sd = s \times \mu$$

- Αν υποθέσουμε μια υψηλή τιμή του πάχους του επιχρίσματος, ίση με 4cm, τότε:
 $Sd = 0,04 \times 11 = 0,44 \text{ m} \ll 4\text{m}$ (τιμή που θεωρείται οριακή για την εξίδρωση).

Το ψήσιμο των μαργών κατά την παραγωγή φυσικής υδραυλικής ασβέστου

Ως φυσική υδραυλική ασβέστος νοείται μία υδραυλική ασβέστος που παράγεται από το ψήσιμο ασβεστόλιθων από μάργα σε χαμηλή θερμοκρασία, με την χρήση μη ρυπογόνων καυσίμων υλών όπως είναι το ξύλο ή το κάρβουνο.

Κατά το ψήσιμο παράγονται πυριτικά, αργιλικά και σιδηρούχα άλατα του ασβεστίου, τα οποία σκληρύνοντας λόγω ενυδάτωσης, σύμφωνα με την κλασσική αντίδραση των υδραυλικών συνδετικών υλικών και όχι λόγω ενανθράκωσης, όπως συμβαίνει με τα αερικά συνδετικά υλικά.

Η μάργα είναι ένα ιζηματώδες πέτρωμα από μεικτό ασβεστόλιθο και αργιούχες ουσίες, οι οποίες προσδίδουν τον υδραυλικό χαρακτήρα στα συνδετικά υλικά. Συνεπώς, αποτελείται από CaCO_3 (ανθρακικό ασβέστιο), SiO_2 (διοξειδίο του πυριτίου), Al_2O_3 (οξειδίο του αργιλίου), Fe_2O_3 (οξειδίο του σιδήρου). Αν η θερμοκρασία ψήσιματος της μάργας φθάσει περίπου στους 1500°C τότε παράγεται το τσιμέντο.

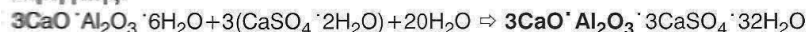
Ο σχηματισμός των διογκωτικών αλάτων

Τα βασικά συστατικά της φυσικής υδραυλικής ασβέστου, μονοασβεστούχο αργίλιο $\text{CA}(\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$ και πυριτικό ασβέστιο $\text{C}_2\text{S} (2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$ είναι τέτοια ώστε δεν προκαλούν τον σχηματισμό διογκωτικών αλάτων, εν αντιθέσει με τα προϊόντα που παράγονται από clinker τσιμέντου, δηλαδή τα τσιμέντα Portland ή οι «πολύ υδραυλικές ασβέστοι ή πλαστικές ασβέστοι» οι οποίες εμπεριέχοντας $\text{C}_3\text{A} (3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$, στην αντίδραση με το ένυδρο θειικό ασβέστιο (γύψο) $\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ δημιουργούν ένα λίαν διογκωτικό άλας τον Ετριγγίτη $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$, που είναι πρωταρχικό αίτιο αποσάθρωσης των συνδετικών κονιαμάτων και των επιχρισμάτων, σύμφωνα με τις ακόλουθες αντιδράσεις:

Το τριασβεστούχο αργίλιο ενυδατώνεται στον τύπο $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Η ένωση του θειικού οξέος με το υδροξείδιο του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$ παράγει τριυδρικό θειικό ασβέστιο $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ που είναι αφ' εαυτού διογκωτικό.

Το τριυδρικό θειικό ασβέστιο αντιδρά υπό την παρουσία ύδατος με το ενυδατωμένο τρις ασβεστούχο αργίλιο και παράγει ενυδατωμένο τριθειούχο αργίλιο του ασβεστίου, που λέγεται κολλοειδής Ετριγγίτης:





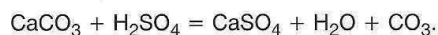
Τα μαύρα στοιχεία είναι πράγματι C_3A που δεν σχηματίζεται στην υδραυλική άσβεστο, καθότι δημιουργείται το CA .

Ο Ετριγγίτης είναι ένα πολύ διογκωτικό άλας (περίπου μέχρι 3 φορές ο όγκος των αντιδρώντων ουσιών) και συνεπώς προκαλεί κατάρρευση στα επιχρίσματα και στα συνδετικά κονιάματα.

Επίσης, η φυσική υδραυλική άσβεστος δεν περιέχει μονοασβεστούχο θειϊκή άσβεστο $CS(CaO \cdot SiO_2)$, που σε μία αντίδραση με τα θειϊκά άλατα ανάλογη με την προηγούμενη παράγει το διογκωτικό άλας Θαυμασίτη.

$CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O + CaSO_4 \cdot 2H_2O + CaCO_3 + 12H_2O = CaO \cdot SiO_2 \cdot CaCO_3 \cdot CaSO_2 \cdot 15H_2O$, άλας που δημιουργείται μετά από τον Ετριγγίτη, έστω και αν μπορεί να δημιουργηθεί συγχρόνως και είναι μεν λιγότερο διογκωτικό αλλά οπωσδήποτε καταστροφικό. Τα μαύρα στοιχεία είναι CS που δεν σχηματίζεται στις υδραυλικές ασβέστους στις οποίες δημιουργείται C_2S .

Η παρουσία θειϊκού ασβεστίου που προκαλεί την καταστροφική αντίδραση οφείλεται αφενός μεν στην χρήση αρχικά αυτής της ένωσης, αφετέρου δε στην επακόλουθη δημιουργία της, συνεπεία της αντίδρασης με την υγρασία του αέρος του θειϊκού ανυδρίτη SO_3 και τον σχηματισμό του θειϊκού οξέος $H_2SO_4(SO_3 + H_2O = H_2SO_4)$, και την επακόλουθη αντίδραση με το ανθρακικό ασβέστιο που υπάρχει στα ιστορικά συνδετικά υλικά και είναι προϊόν ενανθράκωσης της αερικής ασβέστου, σύμφωνα με την αντίδραση:



Ο θειϊκός ανυδρίτης υπάρχει στον αέρα ως προϊόν οξειδωσης του θειώδους ανυδρίτη SO_2 ή του θειώδους οξέος H_2SO_3 , συνεπεία της καύσεως από αυτοεφελκισμό, για θέρμανση ή λόγω παραγωγής ενέργειας.

Επίσης, η υγρασία της θάλασσας ευνοεί τις διαδικασίες διαχωρισμού.

Περαιτέρω αξιολόγηση σχετικά με την χρήση της φυσικής υδραυλικής ασβέστου – σύγκριση με την αερική άσβεστο.

Άλλα σημαντικά κίνητρα για την χρήση της **Calx Romana** είναι τα ακόλουθα:

- οι αερικές άσβεστοι κατά την αντίδραση ενανθράκωσης παράγουν νερό σε αναλογία περίπου 25% του βάρους τους, όπως μπορεί κανείς να συμπεράνει από την ανάλυση των ατομικών βαρών των προϊόντων της αντίδρασης:
 $Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$
- οι αερικές άσβεστοι έχουν πολύ μεγαλύτερους χρόνους σκλήρυνσης, ιδιαίτερα αν χρησιμοποιηθούν σε φέροντα στοιχεία όπου η χαμηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικό ανυδρίτη του αέρος επιβραδύνει την διαδικασία της ενανθράκωσης. Για να ολοκληρωθεί η διαδικασία απαιτούνται ακόμα και χιλιετίες. Οι άσβεστοι των αρχαίων αιγυπτίων δεν έχουν ακόμα ολοκληρώσει την σκλήρυνσή τους, έστω και αν αυτή έχει γίνει σχεδόν στο σύνολό της.
- οι αερικές άσβεστοι δεν έχουν επαρκείς μηχανικές αντοχές.
- η βραδεία σκλήρυνση των υδραυλικών ασβέστων επιτρέπει την προσαρμογή της κατασκευής στην μάζα του ενέματος.
- η χαμηλή ανάπτυξη θερμότητας των υδραυλικών ασβέστων κατά την φάση της σκλήρυνσης. Η ταχεία ανάπτυξη θερμότητας, όπως στην περίπτωση των τοιμεντών ευθύνεται για τον σχηματισμό ρωγμών.

Το πουζολανικό φαινόμενο της φυσικής υδραυλικής ασβέστου IAR Calx Romana

Η **Calx Romana** περιέχει σαν πρόσθετο φυσική πουζολάνη, με σκοπό την σταθεροποίηση της ελεύθερης ασβέστου που υπάρχει πάντοτε στα υδραυλικά συνδετικά υλικά και κατά συνέπεια και στα τσιμέντα. Η ύπαρξη ελεύθερης ασβέστου είναι καταστροφική αφενός μεν λόγω απουσίας της αντίδρασης σκλήρυνσης, αφετέρου δε λόγω της υψηλής διαλυτότητας. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει λόγω σχηματισμού αδιάλυτων ενώσεων.

Ας σημειωθεί ότι η πουζολάνη είναι μία άργιλος που έχει ψηθεί από το ηφαίστιο.

Τα φυσικά πρόσθετα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την φυσική υδραυλική άσβεστο IAR Calx Romana

Η **Calx Romana** μπορεί να αναμειχθεί με ακρυλική ρητίνη που δεν περιέχει διαλύτες, αντιστρέψιμη στο νερό. Το προϊόν αυτό έχει σκοπό να αυξάνει την ικανότητα πρόσφυσης της **Calx Romana**, να αυξάνει την πλαστικότητα, να επιμηκύνει τον χρόνο πήξης, να μειώνει την υδραυλική συρρίκνωση και κατά συνέπεια να αποτρέπει και την δημιουργία ρωγμών. Η **Calx Romana**, όταν χρησιμοποιείται για ενέματα, μπορεί να αναμειχθεί με ρευστοποιητές και με φυσικά προϊόντα ελέγχου της συστολής για να διευκολύνει την διεύδυση και να μειώνει την ποσότητα νερού του μείγματος.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Ενίσχυση κτιρίων μνημειακού χαρακτήρα με ενέσεις φυσικής υδραυλικής άσβεστου IAR Calx Romana

Ενίσχυση σε θλίψη και διάτμηση κτιρίων με φορέα από λιθοδομές ή οπτοπλινθοδομές μέσω ενέσεων φυσικής υδραυλικής ασβέστου.

Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Αντοχή σε θλίψη και κάμψη, μέτρο ελαστικότητας και πυκνότητα τυπικά της φυσικής υδραυλικής ασβέστου.
- Χαμηλή περιεκτικότητα σε υδροδιαλυτά άλατα.
- Κατάλληλο δείκτη υδραυλικότητας.
- Πουζολανική δράση ώστε να σταθεροποιείται η ελεύθερη άσβεστος, μετατρέποντάς την σε σταθερή ένωση.
- Κοκκομετρία που να εξασφαλίζει επαρκή διεύδυση στο πορώδες των υλικών και επαρκή σύνδεση των μικρορωγμών.
- Αργή ωρίμανση, ώστε να αποφεύγεται η εμφάνιση τοπικών τάσεων κατά την φάση της σκλήρυνσης και απότομων θερμικών μεταβολών.
- Πρέπει να επιτρέπει την φυσική αναπνοή των τοιχοποιιών.
- Πρέπει να μην επιτρέπει την δημιουργία ακαμψιών και κατά συνέπεια συγκεντρώσεων φορτίων στην κατασκευή.
- Πρέπει να εξασφαλίζει την ομογενοποίηση του φορέα αλλά με τρόπο ανάλογο με τα αρχικά χαρακτηριστικά της ενισχυόμενης κατασκευής.



Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίδεται στο μηχάνημα με το οποίο γίνονται οι ενέσεις, που θα πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ανάμειξη του ενέματος και προώθησή του στο ακροφύσιο με το ίδιο μηχάνημα.
- Προώθηση του ενέματος στο ακροφύσιο με κοχλία.
- Αυτόματη ανακύκλωση του ενέματος που να ελέγχεται από την πίεση εξόδου.
- Να προσφέρει συνεχή ανάδευση του υλικού τόσο στην φάση της παρασκευής του, όσο και κατά την ανακύκλωση.

(Σημειώνεται ότι τα ενέσιμα υδραυλικά συνδετικά χάνουν πολύ γρήγορα τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά εφόσον δεν αναδεύονται συνεχώς).

Σε περίπτωση που κριθεί σκόπιμο, η δύναμη πρόσφυσης του ενέματος μπορεί να βελτιωθεί με την προσθήκη συνθετικών συνδετικών, αναστρέψιμων στο νερό. Ανάλογα μπορεί να αυξηθεί η ρευστότητα και να μειωθεί η συστολή του υλικού με την χρήση φυσικών υλικών.

Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν πριν την επέμβαση ενίσχυσης

Δοκιμή με την χρήση απλού επίπεδου γρύλου.

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται ως εξής:

- εφαρμοσθείσα τάση για την αποκατάσταση των συνθηκών όπως ήταν πριν την τομή (τιμή εργασίας διαφράγματος της τοιχοποιίας) $\sigma_1 = 0,25 \text{ N/mm}^2$

Δοκιμή με την χρήση διπλού επίπεδου γρύλου.

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται ως εξής:

- μέση τιμή μέτρου ελαστικότητας της τοιχοποιίας $E = 1248,79 \text{ N/mm}^2$
- τάση εξόδου από την γραμμική ελαστική περιοχή, αφομοιώσιμη με την τιμή αντοχής, επί τόπου, της τοιχοποιίας $\sigma_2 = 0,6 \text{ N/mm}^2$

Η σύγκριση των δύο δοκιμών αποδεικνύει ότι ο συντελεστής ασφαλείας που συνάγεται από τον λόγο σ_2/σ_1 ισούται με $0,36 / 0,25 = 1,44$. Σημειώνεται ότι η Διάταξη της 20^{ης}/11/87 επιβάλλει η τιμή αυτή να ισούται με 5 και τονίζεται ότι η τιμή αυτή επετεύχθη απουσία τυχαίων υπερφορτίσεων.

Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν μετά την επέμβαση ενίσχυσης

Δοκιμή με την χρήση διπλού επίπεδου γρύλου.

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται ως εξής:

- μέση τιμή μέτρου ελαστικότητας της τοιχοποιίας $E = 3993,09 \text{ N/mm}^2$
- τάση εξόδου από την γραμμική ελαστική περιοχή, αφομοιώσιμη με την τιμή αντοχής, επί τόπου, της τοιχοποιίας $\sigma_2 = 0,71 \text{ N/mm}^2$

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων δοκιμών πριν και μετά την επέμβαση ενίσχυσης, αποδεικνύει ότι ο νέος συντελεστής ασφαλείας ισούται με $0,71 / 0,25 = 2,84$ ήτοι πρακτικά διπλασιάστηκε, ενώ το μέτρο ελαστικότητας υπερτριπλασιάστηκε.

Αυτή η τελευταία παράμετρος έχει μεγάλη σημασία, διότι περνάει από μία τιμή απολύτως απαράδεκτη σε μία τυπική τιμή τοιχοποιίας που παρουσιάζει προσιτή ελαστική συμπεριφορά.

Δοκιμές με υπερήχους

Αυτός ο τύπος δοκιμών παρέχει ενδείξεις σχετικά με την συμπεριφορά της εξωτερικής παρειάς των τοιχοποιιών, διότι αποκαλύπτει την ταχύτητα με την οποία τα υπερηχητικά κύματα διαχέονται στο επίπεδο της ίδιας της τοιχοποιίας. Δεδομένου ότι υπάρχουν πάρα πολλοί τύποι τοιχοποιιών, οι δοκιμές αυτές δεν παρέχουν αναγνώσιμες τιμές με την απόλυτη έννοια, αλλά χρησιμοποιούνται για να αποδειχθεί, συγκριτικά, η βελτίωση που επιφέρουν οι επεμβάσεις ενίσχυσης: πράγματι η ταχύτητα μετάδοσης των υπερηχητικών κυμάτων είναι ενδεικτική του πόσο συμπαγής είναι η τοιχοποιία. Διότι, σε υψηλότερες ταχύτητες αντιστοιχεί μικρότερη παρουσία κενών στο μέσο από το οποίο περνούν τα κύματα.

Στην περίπτωση των δοκιμών που εξετάζουμε, σε όλες τις περιοχές που ελέγχθηκαν, οι ταχύτητες που προκύπτουν μετά την επέμβαση ενίσχυσης είναι περίπου διπλάσιες εκείνων που προέκυψαν πριν την επέμβαση.

Αυτό αποδεικνύει αδιαμφισβήτητα ότι η επέμβαση ενίσχυσης με ενέσεις, αύξησε την συμπίκνωση της τοιχοποιίας.

Επιπλέον, οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των ταχυτήτων μετάδοσης των υπερηχητικών κυμάτων χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων από τις ηχητικές δοκιμές.

Ηχητικές δοκιμές

Οι ηχητικές δοκιμές μας παρέχουν χρήσιμες ενδείξεις σχετικά με την συμπεριφορά της τοιχοποιίας σε όλο το πάχος της.

Ιδιαίτερα αποκαλύπτεται ο τρόπος με τον οποίο μία δόνηση μεταδίδεται, διαπερνώντας τα κενά και τα πλήρη και αντανακλάται στην επιφάνεια.

Οι δοκιμές αυτές μας επιτρέπουν να εκτιμήσουμε τον βαθμό ασυνέχειας της τοιχοποιίας και την απόσταση από την επιφάνειά της κάθε κοιλότητας.

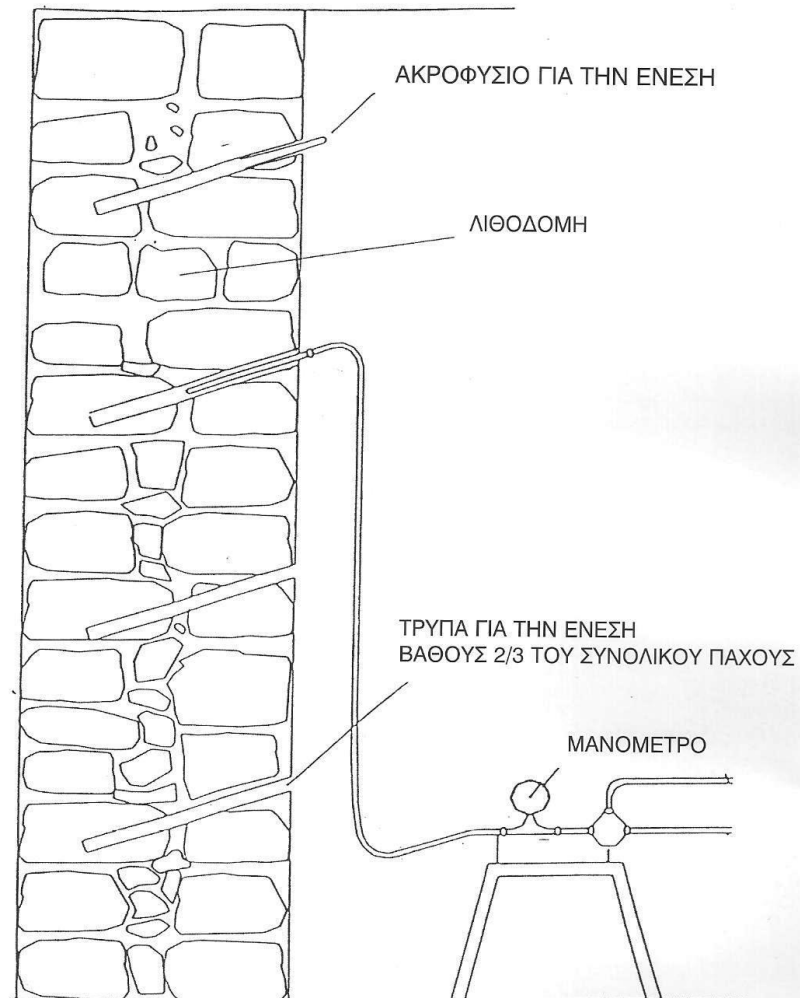
Σχετικά με τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν πριν την επέμβαση ενίσχυσης σε ορισμένες περιπτώσεις δεν υπήρξε πρακτικά ανάκλαση της δόνησης. Αυτό αποδεικνύει ότι οι κοιλότητες ήταν τόσο πυκνές ώστε μείωναν πλήρως την απόκριση.

Σε άλλες περιπτώσεις η πρώτη διακοπή της συνέχειας διαπιστώθηκε σε βάθος 10-20cm, δηλαδή ακόμη στο επίπεδο του εξωτερικού πετάσματος.

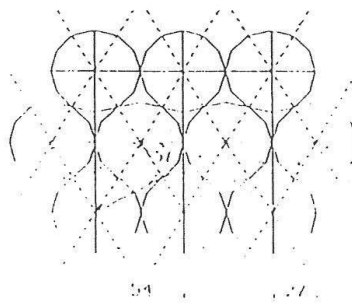
Σχετικά με τις δοκιμές που έλαβαν χώρα μετά την επέμβαση ενίσχυσης, το βάθος στο οποίο διαπιστώθηκε η πρώτη ασυνέχεια είναι αισθητά αυξημένο με τιμές μέχρι 50-90cm. Αυτό σημαίνει ότι η παρέμβαση ενίσχυσης επηρέασε το σύνολο του πάχους της τοιχοποιίας.

Θεωρούμε ότι το αποτέλεσμα αυτό είναι πλήρως ικανοποιητικό.

ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΝΕΣΕΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ **CALX ROMANA** ΣΕ ΛΙΘΟΔΟΜΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟ ΤΩΝ ΠΑΛΑΙΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥΣ



ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΕΝΩΝ 10%



ΙΔΑΝΙΚΟΣ ΚΑΝΑΒΟΣ ΓΙΑ ΕΝΕΣΗ - 4 ΑΚΡΟΦΥΣΙΑ/m²

ΠΗΓΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

http://www.iar-restauri.it/carboniar/carboniarcapen5_1.php

<http://www.zougla.gr/page.ashx?pid=2&aid=291223&cid=4>

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δανιήλ Αθ. Ορφανουδάκης: Μελέτη αποκατάστασης μνημείων και συνόλων Γ' ΕΚΔΟΣΗ 2001

ΜΙΧΑΗΛ Ε. ΝΟΜΙΚΟΣ : ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΗ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΩΝ, Τμήμα Αρχιτεκτόνων Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη 2004

Μέθοδοι και υλικά αποκατάστασης και ενίσχυσης διατηρητέων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία Μίλων Α. Δημοσθένους Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Κύριος Ερευνητής του ΙΤΣΑΚ

Συμβατά Υλικά και Μέθοδοι Συντήρησης και Αποκατάστασης Ιστορικών Κτιρίων Χ.Δ. Θεοδωρίδης Μηχανικός Μεταλλείων – Μεταλλουργός Μηχανικός, Τεχνική Υποστήριξη BASF C.C. Ελλάς Α.Ε.

Κονιάματα επεμβάσεων στον αρχαιολογικό χώρο του μνημειώδους συγκροτήματος Villa dei Quintili, Via Appia Antica, Ρώμη.
Mortars used for intervention in the archeological site of Villa dei Quintili, Via Apia Antica, Archeological Park of Rome **Θεόδωρος ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΣ, Ευτυχία ΡΕΠΟΥΣΚΟΥ, Παυλίνα ΡΟΤΟΝΤΟ**

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΪΑΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ
Διδακτορική διατριβή του ΚΡΕΒΑΪΚΑ ΘΕΟΦΑΝΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΠΑΤΡΑ
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2005

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ ΣΕ ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣΕΙΣ
Εισηγήτρια: Ιωάννα Παπαγιάννη Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Εκτύπωση Σελίδας

ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΜΝΗΜΕΙΟΥ

▪ **Όνομασία Μνημείου**

Αρχαιολογικός χώρος στην περιοχή Ρωμαϊκού Υδραγωγείου Πάτρας

▪ **Νομός / Δήμος / Διαμέρισμα / Οικισμός**

Αχαΐας / Πατρέων / Πατρέων / Πάτραι

▪ **Θέση**

Περιοχή Αρόης και Ασυρμάτου, μεταξύ των οδών Αρτέμιδος και Π. Παυλοπούλου

▪ **Τύπος Κήρυξης**

αρχαιολογικός χώρος

▪ **Είδος Μνημείου**

Συστήματα Ύδρευσης, Αρχαιολογικές Θέσεις, Συστήματα Ύδρευσης, Αρχαιολογικές Θέσεις

▪ **Χρονική Περίοδος**

Ρωμαϊκή

▪ **Αρχαία/Ιστορική Ονομασία**

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

▪ **Φορέας Προστασίας**

ΣΤ' ΕΠΚΑ

▪ **Έδρα Φορέα Προστασίας**

Πάτρα

▪ **Σημειώσεις σχετικά με την Προστασία**▪ **Καθεστώς Ιδιοκτησίας**

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

▪ **Παρατηρήσεις**▪ **Τελευταία Ενημέρωση**

24-06-2003

ΚΗΡΥΞΕΙΣ

▪ **Αριθμός Υπουργικής Απόφασης, Αριθμός ΦΕΚ**

ΥΑ ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Α1/Φ43/7190/342/13-3-1996, ΦΕΚ 236/Β/9-4-1996

ΥΑ ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Α1/Φ43/7190/342/13-3-1996, ΦΕΚ 537/Β/5-7-1996

* **Αριθμός Υπουργικής Απόφασης - Αριθμός ΦΕΚ**

ΥΑ ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Α1/Φ43/7190/342/13-3-1996 - ΦΕΚ 236/Β/9-4-1996

* **Τίτλος ΦΕΚ**

Κήρυξη περιοχής Ρωμαϊκού Υδραγωγείου της πόλης της Πάτρας, ως αρχ/κού χώρου (περιοχή Αρσης και Ασυρμάτου).

* **Κείμενο**

"Χαρακτηρίζουμε ως αρχαιολογικό χώρο την περιοχή που οριοθετείται στο συνημμένο απόσπασμα φ.χ. ΓΥΣ 1.5000 μεταξύ των σημείων Α, Β, Γ, Δ, Ε, Ζ, Η, Θ, Ι, Κ, Α για λόγους προστασίας των αποκαλυφθέντων εντός αυτής τμημάτων του οικοδομήματος του ρωμαϊκού υδραγωγείου της πόλης της Πάτρας που σώζεται μεταξύ των οδών Αρτέμιδος και Παύλου Παυλοπούλου.

Η εν λόγω περιοχή ορίζεται από τα σημεία Α, Β, Γ, Δ, Ε, Ζ, Η, Θ, Ι, Κ-Α που αντιστοιχεί στον ακόλουθο πίνακα συντεταγμένων:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ

Κέντρον ΦΧ Φύλλο χάρτη
1:100.000 1:5000

φ=38 15 φ=-1 45

ΣΗΜΕΙΟ Χ Ψ Αριθμός Φύλλου

A 19348 -318 6225/5
B 19270 -225
Γ 19175 -235
Δ 19082 -280
E 19918 -332
Z 19690 -510
H 19767 -595
Θ 19952 -445
I 19155 -380
K 19225 -365

Κ ΚΝ 5351/1932.

* **Χάρτες*** **Παρατηρήσεις*** **Τελευταία Ενημέρωση**

23-04-2008

Αρχαιολογικοί Χώροι και Μνημεία που αντιστοιχούν στο ΦΕΚ

Όνομασία	Νομός	Δήμος	Διαμέρισμα	Οικισμός	Θέση	Είδος Μνημείου
<u>Αρχαιολογικός χώρος στην περιοχή Ρωμαϊκού Υδραγωγείου Πάτρας</u>	Αχαΐας	Πατρέων	Πατρέων	Πάτρα	Περιοχή Αρσης και Ασυρμάτου, μεταξύ των οδών Αρτέμιδος και Π. Παυλοπούλου	Συστήματα Ύδρευσης Αρχαιολογικές Θέσεις

▪ **Αριθμός Υπουργικής Απόφασης - Αριθμός ΦΕΚ**

ΥΑ ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Α1/Φ43/7190/342/13-3-1996 - ΦΕΚ 537/Β/5-7-1996

▪ **Τίτλος ΦΕΚ**

Διορθώσεις σφαλμάτων στην απόφαση Υπουργού Πολιτισμού " Κήρυξη Ρωμαϊκού Υδραγωγείου Πάτρας ως αρχαιολογικού χώρου " περιοχή Αρόης και Ασυρμάτου.

▪ **Κείμενο**

Διόρθωση Σφάλματος

Στην απόφαση Υπουργού Πολιτισμού " Κήρυξη Ρωμαϊκού Υδραγωγείου Πάτρας ως αρχαιολογικού χώρου " περιοχή Αρόης και Ασυρμάτου, που δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ 236/τ. Β'9.4.96 γίνονται οι εξής διορθώσεις σφαλμάτων.

α. Τίτλος Υ. Απόφασης

1. Αντί του " περιοχή Άρσης " στο ορθό " περιοχή Αρόης "

β: Στον πίνακα συντεταγμένων

Αντί των εσφαλμένων,

Σημεία Ε, χ = 19918

Ζ, χ : 19.690

Η, χ = 19767, Θ, χ = 19.952

στο ορθό

Ε, χ = 18.918

Ζ, χ = 18.690

Η, χ = 18.767

Θ, χ = 18.952

(Από το Υπουργείο Πολιτισμού)

▪ **Χάρτες**

▪ **Παρατηρήσεις**

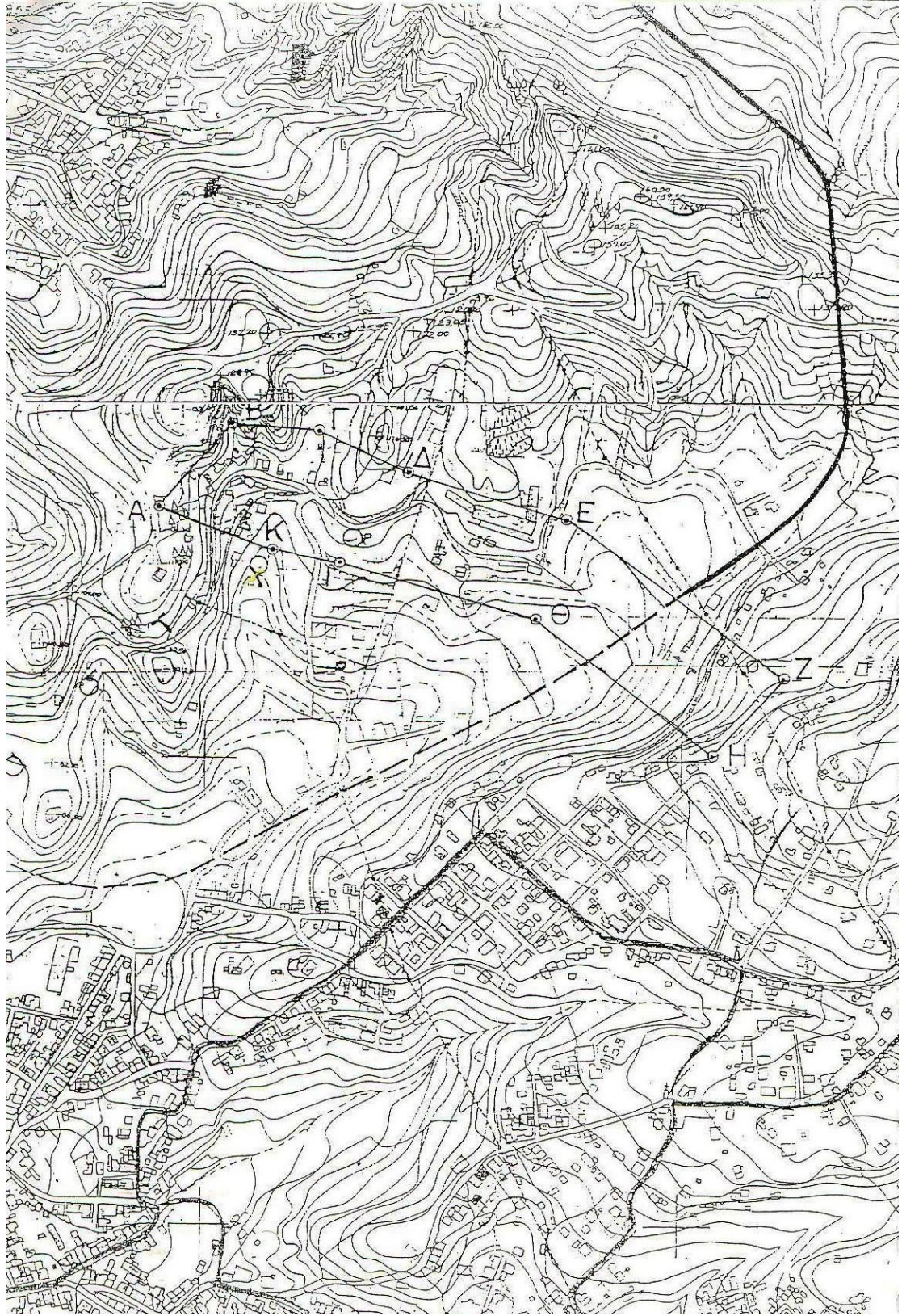
Η Διόρθωση Σφάλματος έχει ενσωματωθεί στο κείμενο κήρυξης του ΦΕΚ 236/Β/9-4-1996.

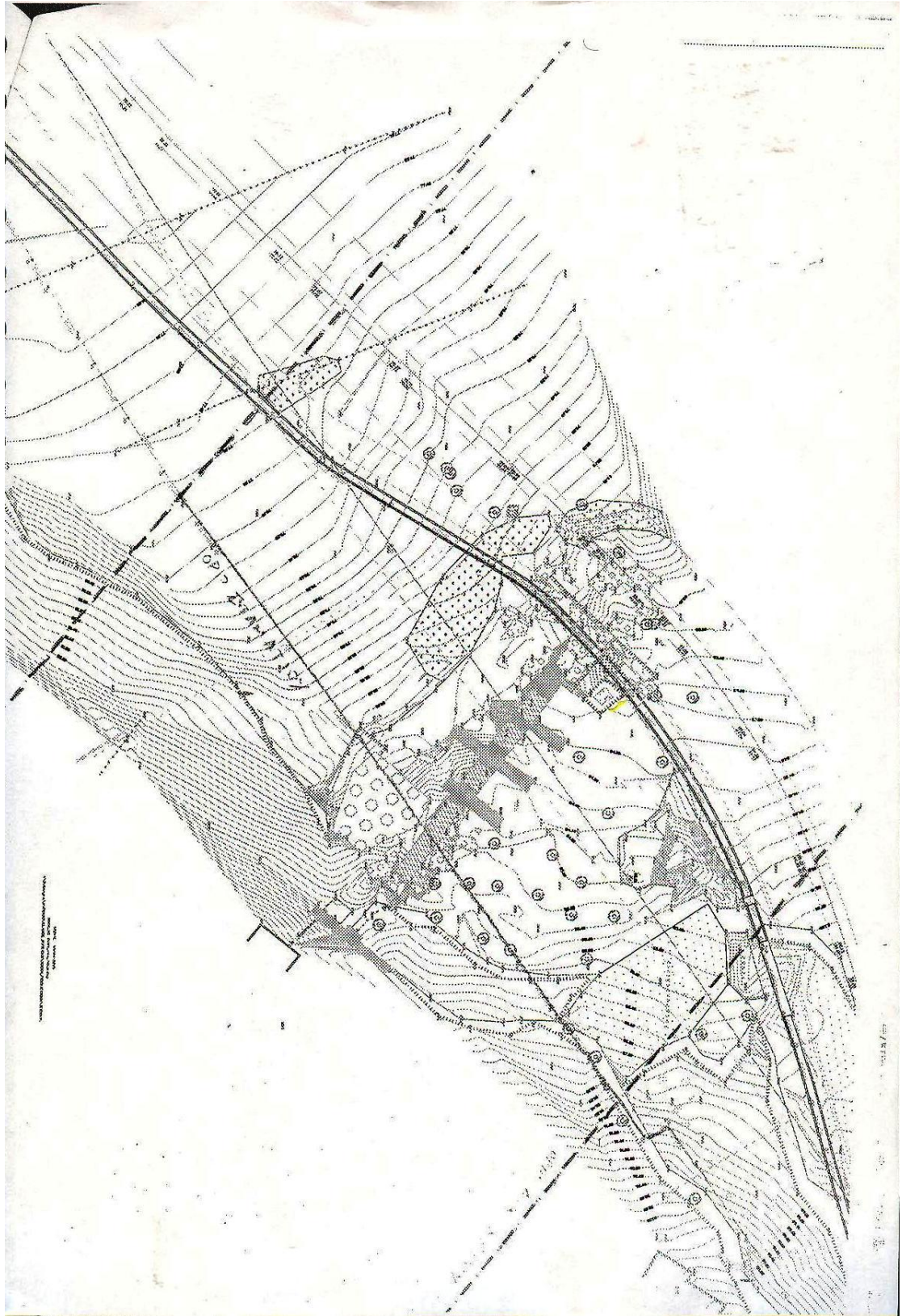
▪ **Τελευταία Ενημέρωση**

21-05-2008

Αρχαιολογικοί Χώροι και Μνημεία που αντιστοιχούν στο ΦΕΚ

Όνομασία	Νομός	Δήμος	Διαμέρισμα	Οικισμός	Θέση	Είδος Μνημείου
Αρχαιολογικός χώρος στην περιοχή Ρωμαϊκού Υδραγωγείου Πάτρας	Αχαΐας	Πατρέων	Πατρέων	Πάτραι	Περιοχή Αρόης και Ασυρμάτου, μεταξύ των οδών Αρτέμιδος και Π. Παυλοπούλου	Συστήματα Ύδρευσης Αρχαιολογικές Θέσεις





2356

ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ (ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ)

Αριθ. ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Α1/Φ43/7190/342 (2)

Κήρυξη περιοχής Ρωμαϊκού Υδραγωγείου Πάτρας, ως αρχ/κού χώρου (περιοχή Άρσης και Ασυρμάτου).

Ο ΥΠΟΥΡΓΟΣ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ

Έχοντας υπόψη:

1. Τις διατάξεις του Ν. 1558/85 (ΦΕΚ 137/Α/26.7.85) «Κυβέρνηση και Κυβερνητικά Όργανα».

2. Την ΥΠΠΟ/ΓΝΟΣ/49610/28.11.90 (ΦΕΚ 743/Β/29.11.90) «Εξαίρεση από τον περιορισμό των τριών υπογραφών».

3. Τις διατάξεις του Κ.Ν. 5351/32 «Περί Αρχαιοτήτων».

4. Τις διατάξεις του Ν. 1127/81, (ΦΕΚ 32/Α/81) «Περί κυρώσεως της εις Λονδίνο, την 8η Μαΐου 1969 υπογραφείσης Ευρωπαϊκής Συμβάσεως δια την προστασίαν της αρχαιολογικής κληρονομιάς».

5. Την ομόφωνη γνωμοδότηση του Τοπικού Συμβουλίου Μνημείων Ν.Δ. Ελλάδος, όπως διατυπώθηκε στην αρ. 1.24/1.96 Συνεδρία του, αποφασίζουμε:

Χαρακτηρίζουμε ως αρχαιολογικό χώρο την περιοχή που οριοθετείται στο συνημμένο απόσπασμα φ.χ. Γ.Υ.Σ. 1:5000 μεταξύ των σημείων Α, Β, Γ, Δ, Ε, Ζ, Η, Θ, Ι, Κ-Α για λόγους προστασίας των αποκαλυφθέντων, εντός αυτής, τμημάτων του οικοδομήματος του ρωμαϊκού υδραγωγείου της Πόλης της Πάτρας που σώζεται μεταξύ των οδών Αρτέμιδος και Παύλου Παυλοπούλου.

Η εν λόγω περιοχή ορίζεται από τα σημεία Α, Β, Γ, Δ, Ε, Ζ, Η, Θ, Ι, Κ-Α που αντιστοιχεί στον ακόλουθο πίνακα συντεταγμένων:

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝκέντρον Φ.Χ.
1:100.000
φ = 38° 15'Φύλλο χάρτη
1:5.000
φ = -1° 45'

ΣΗΜΕΙΟ	χ	ψ	Αριθμός Φύλλου
Α	19.348	- 318	6225 ⁶
Β	19.270	- 225	»
Γ	19.175	- 235	»
Δ	19.082	- 280	»
Ε	19.918	- 332	»
Ζ	19.690	- 510	»
Η	19.767	- 595	»
Θ	19.952	- 445	»
Ι	19.155	- 380	»
Κ	19.225	- 365	»

Από τις διατάξεις της παρούσας απόφασης δεν προκαλείται δαπάνη σε βάρος του κρατικού προϋπολογισμού.

Η παρούσα απόφαση να δημοσιευθεί στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως.

Αθήνα, 13 Μαρτίου 1996

Ο ΥΠΟΥΡΓΟΣ
ΣΤΑΥΡΟΣ ΜΠΕΝΟΣ

5756

ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ (ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ)

7. Το γεγονός ότι από τις διατάξεις της απόφασης αυτής δεν προκαλείται δαπάνη σε βάρος του προϋπολογισμού του αναπτυξιακού συνδέσμου ΑΓΡΑΦΩΝ, αποφασίζουμε:

Επικυρώνουμε την αριθμ. 1/96 απόφαση του Διοικητικού Συμβουλίου του αναπτυξιακού συνδέσμου ΑΓΡΑΦΩΝ με την οποία διαπιστώνεται η αυτοδικαία κατάργησή του, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο σκεπτικό της παρούσας.

Η παρούσα να δημοσιευθεί στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως.

Καρότσα, 13 Ιουνίου 1996

Με εντολή Γεν. Γραμ. Περιφέρειας Θεσσαλίας
Ο Αναπλ. Περιφ. Διευθυντής
ΕΜΜΑΝ. ΑΝΤΙΜΗΣΑΡΗΣ

Αρ.β. 9539

(11)

Σύσταση ιδίου Νομικού Προσώπου στην Κοινότητα Νέου Σουλίου Ν. Σερρών με το όνομα «ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΟΙΚΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΗΛΙΚΙΩΜΕΝΩΝ (ΚΑΠΗ)».

Η ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΠΕΡΙΦ. Δ/ΝΤΗ Ν. ΣΕΡΡΩΝ

Έχοντας υπόψη:

1. Τις διατάξεις του άρθρου 203 του Π.Δ/τος 410/95 (ΔΚΚ).

2. Τις διατάξεις του άρθρου 28Α του Ν. 1568/1985 που προστέθηκαν με το άρθρο 27 του Ν. 2081/1992.

3. Την αριθ. 939/3.5.1996 απόφαση του Γεν. Γραμματέα Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας περιορισμού Αναπληρωτή του Περιφ. Δ/ντή.

4. Την αριθ. 42/1996 απόφαση του Κοινοτικού Συμβουλίου Νέου Σουλίου περί συστάσεως ιδίου Νομικού Προσώπου με το όνομα «ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΟΙΚΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΗΛΙΚΙΩΜΕΝΩΝ (ΚΑΠΗ)», αποφασίζουμε:

1. Συστήνουμε στην Κοινότητα Νέου Σουλίου του Νομού Σερρών ίδιο Νομικό Πρόσωπο με το όνομα «ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΟΙΚΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΗΛΙΚΙΩΜΕΝΩΝ (ΚΑΠΗ)- ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΟΥ ΣΟΥΛΙΟΥ».

2. Σκοπός του Νομικού Προσώπου, που συνίσταται στην παροχή εξωδωμιακής προστασίας ηλικιωμένων είναι:

α) Η παροχή σε ηλικιωμένα άτομα της περιοχής της Κοινότητας Νέου Σουλίου ιατρικής φροντίδας, φαρμακευτικής περιθαλψής, φυσιοθεραπείας και εργοαποασχόλησης.

β) Η δημιουργία ενός τύπου συνάντησης όπου οι ηλικιωμένοι θα μπορούν να βρουν φύση συντροφιά και ηθική υποστήριξη.

γ) Η προσφορά στους ηλικιωμένους οργανωμένης ψυχαγωγίας (εκδρομές, επακίψεις σε μουσεία, αρχαιολογικούς χώρους, προβάλλει ταινιών, μουσική, συνταξίσεις).

δ) Η παροχή βοήθειας σε ηλικιωμένους στο σπίτι, κατά περίπτωση ζεστών γευμάτων, δυσκολίες στα ψώνια, αγώγισμα κ.λπ.

ε) Ασχολήση των ηλικιωμένων σε ομάδες αυτενεργείας με ποικίλες δραστηριότητες.

3. Πόροι του Νομικού Προσώπου είναι:

α) Επιχορήγηση ή κάθε άλλη παροχή του κράτους, είτε απευθείας προς ταύτο, είτε μέσω κοινότητας Νέου Σουλίου.

β) Ετήσια επιχορήγηση της Κοινότητας εκ δραστηριών

500.000, που μπορεί να αυξάνεται ανάλογα με τις ανάγκες του Νομικού Προσώπου.

γ) Κάθε είδους συνδρομές, εισφορές, δωρεές, κληρονομίες και κληροδοσίες.

δ) Έσοδα από τη συμβολική συμμετοχή των μελών που έχουν ανάγκη προστασίας.

ε) Εισοπράξεις από το αντίτιμο ειδών ή υπηρεσιών που παρέχονται από το Νομικό Πρόσωπο.

στ) Πρόσοδα από δική του περιουσία και

ζ) Κάθε άλλη νόμιμη πρόσοδος.

4. Το Νομικό Πρόσωπο εκπροσωπείται στα δικαστήρια και σε κάθε άλλη αρχή από τον Πρόεδρο του Διοικητικού Συμβουλίου και όταν αυτός απουσιάζει ή καλύπτεται από τον Αντιπρόεδρο.

5. Από τις διατάξεις αυτής της απόφασης προκαλείται δαπάνη σε βάρος του προϋπολογισμού της Κοινότητας Νέου Σουλίου ύψους 500.000 δραχ. για το έτος 1996 και για κάθε ένα από τα επόμενα οικονομικά έτη.

Για την κάλυψη της ανωτέρω δαπάνης έχει εγγραφεί πίστωση ποσού 500.000 δραχ. στον ισχύοντα προϋπολογισμό της Κοινότητας Νέου Σουλίου με ΚΑ 212/3 και ένδειξη «Ετήσια οικονομική επιχορήγηση ΚΑΠΗ».

Η παρούσα να δημοσιευθεί στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως.

Σέρρες, 6 Ιουνίου 1996

Με εντολή Γεν. Γραμ. Περιφ. Διτ. Μακεδονίας
Η Διευθύντρια Εκπαιδευτικού
ΝΙΚΗ ΑΝΤΩΝΙΑΔΟΥ

ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

(12)

Στην απόφαση Υπουργού Πολιτισμού «Κήρυξη Ρωμαϊκού Υδρογωγείου Πάτρας ως αρχαιολογικού χώρου». Περιοχή Αράης και Ακουμάτου, που δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ 236/τ.Β'/9.4.96 γίνονται οι εξής διορθώσεις σφαλμάτων:

α. Τίτλος Υ. Απόφασης

1. Αντί του περιλήψιμου «Αράης» στο ορθό «περιοχής Αράης»

β. Στον πίνακα συντεταγμένων

Αντί των εσφαλμένων,

Σημεία Ε,χ = 19918

Ζ,χ = 19.690

Η,χ = 19767, Θ, χ = 19.952

στο ορθό

Ε,χ = 18.918

Ζ,χ = 18.690

Η,χ = 18.757

Θ,χ = 18.952

(Από το Υπουργείο Πολιτισμού)

(13)

Στην ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Α1/Φ06/46291/2437/26.9.94 υπουργική απόφαση που δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ 891/τ.Β'/30.11.94, γίνονται οι ακόλουθες διορθώσεις στον πίνακα συντεταγμένων των σημείων των ορίων της θεομοβηπιμένης ζώνης Α Προστασίας Αρχαιολογικού χώρου Αγ. Γεωργίου Σκόλας Κεφαλονιάς.

ΖΩΝΗ Α

**ΑΝΑΦΟΡΑ
ΤΗΣ
ΜΕΝΤΖΙΝΗ ΜΑΡΙΑΕΝΑΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ
ΥΠΑΛΛΗΛΟΥ ΣΤΟ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ**

ΣΤ' ΕΦΟΡΕΙΑ ΠΡΟΪΣΤ. & ΚΛΑΣ. ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ

Τεχ. Δ/ση : Αλ. Υψηλάντου 197
261 10 Πάτρα
Τηλέφωνα : 2610276207, 2610275070
FAX : 2610624051

ΘΕΜΑ: Σχετικά με την Προστασία και την Αποκατάσταση του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου Πάτρας στα πλαίσια του έργου «Μικρή Περιμετρική Οδός Πατρών», ΧΛΘ. 1+520 έως 1+580 (περ.1+550)

Πάτρα, 21 - 10 - 2008

Αριθ. Πρωτ.

ΣΤ' ΕΦΟΡΕΙΑ ΠΡΟΪΣΤΟΡΙΚΩΝ & ΚΛΑΣ. ΣΤΕΚΩΝ	Π.Υ.Π.Τ. ΤΡ.
ΑΡΙΘ. ΠΡΩΤ.	9869
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	22-10-08

ΠΡΟΣ: Προϊσταμένη ΣΤ'ΕΠΚΑ
κ.Ζωή Ασλαματζίδου

Στην Τεχνική Έκθεση της Οριστικής Μελέτης Οδοποιίας της μικρής Περιμετρικής Οδού Πατρών (08/2005) που περιλαμβάνει την τροποποίηση στην περιοχή του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου (ΧΛΜ. 1+357,28 - ΧΛΜ. 1+860,00) παράγραφος 3.3 (Οριζοντιογραφία) αναφέρεται ότι: «Η μικρή Περιμετρική αποκλίνει από την αρχική χάραξη κινούμενη προς τα δεξιά, ώστε να αποφύγει τους πεσσούς του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου. Κινείται δεξιότερα του πεσσού Θ και απαιτεί τη μεταφορά των αποκολλημένων τμημάτων. Η ερυθρά της οδού υποβιβάζεται τόσο ώστε να κινείται πλησίον του φυσικού εδάφους και να απαιτεί τις ελάχιστες ανασκαφές.»

Πράγματι και από το συνοδευόν την Οριστική Μελέτη σχέδιο 3.1 (Μηκτομή - Διάγραμμα επικλίσεων) η απόκλιση των υψομέτρων της ερυθράς από τα υψόμετρα του εδάφους είναι της τάξεως +0.41 έως -0.43 μ.

Στην ίδια Τεχνική Έκθεση, παράγραφος 3.5 (Διατομές) αναφέρεται ότι «...προστέθηκαν νέες διατομές... ώστε να απεικονιστεί σαφέστερα η σχετική θέση της οδού με τον αρχαιολογικό χώρο». Στο σχέδιο 5.2 (Διατομές) της Οριστικής Μελέτης, αντίγραφο του οποίου εστάλη στη ΣΤ' Ε.Π.Κ.Α, οι διατομές Ω'7R, ΚΟ1 και 36, που αντιστοιχούν στην περιοχή του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου δεν απεικονίζουν σαφώς τη θέση της οδού με τον αρχαιολογικό χώρο.

Θεωρείται λοιπόν σκόπιμο καταρχάς να διευκρινιστεί από τους αρμόδιους μελετητές -κατασκευαστές του έργου, ποιος φορέας θα αναλάβει τη μεταφορά των αποκολλημένων τμημάτων και με ποιο τρόπο, ώστε να διασφαλιστεί η ακεραιότητα των αρχαίων αυτών λειψάνων.

Επίσης είναι επιθυμητό να δοθούν στην Υπηρεσία μας λεπτομερέστερα σχέδια των διατομών στις κρίσιμες θέσεις, όπου να απεικονίζεται με ευκρίνεια η θέση της οδού ως προς τους γειτνιάζοντες πεσσούς και τα έργα πιθανής αντιστήριξης του εδάφους

έδρασή τους, καθώς η κλίση της διατομής της οδού εκεί, επιφέρει διαφοροποίηση του υψόμετρου της επιφανείας της στα κατόντη σε σχέση με αυτό της ερυθράς.

Πρέπει να επισημανθεί, ότι κατά την επίσκεψή μου στην περιοχή διαπιστώσα την πιθανότητα της επέκτασης των βάσεων των πεσσών του Υδραγωγείου κατά το πλάτος της μικρής Περιμετρικής (μη ορατό τμήμα του Υδραγωγείου - συνέχεια του ορατού προς ΒΔ). Προτείνεται λοιπόν να γίνει ανασκαφική έρευνα, εντοπισμός και αποκάλυψη, αποτύπωση και φωτογραφική τεκμηρίωση των τυχόν υπαρχόντων λειψάνων, καθώς και να ληφθούν όλα τα κατάλληλα μέτρα τόσο για τη διατήρησή τους, όσο και για την προστασία τους κατά τη διέλευση της οδού (πιθανά με κατάχωση).

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω δια του παρόντος, ανησυχία για την υπάρχουσα αβεβαιότητα της απόκρισης του υφιστάμενου μνημείου κατά τη διάρκεια της φάσης κατασκευής, αλλά κυρίως λειτουργίας του έργου.

Η κατάσταση διατήρησης του μνημείου, όπως προκύπτει από μια πρώτη μακροσκοπική προκαταρκτική εξέταση παρουσιάζεται σαν στατικά επισφαλής ιδίως σε ορισμένα τμήματά του. Εκτός από τα γενικευμένα προβλήματα συντήρησης που εμφανίζει, διαπιστώνονται έντονες ρωγμές -ενίοτε διαμπερείς- αποκολλήσεις και επισφαλείς στηρίξεις των πεσσών λόγω διάβρωσης -απομείωσης της μάζας -έδρασης του πόδα τους.

Για παράδειγμα ο πεσός Η παρουσιάζει αποκόλληση στο νότιο τμήμα του στην περιοχή άνω της γένεσης του τόξου (εικ.1), οριζόντια ρωγμή που διατρέχει το άνω βόρειο τμήμα του και προβληματική έδραση, που λόγω του μειωμένου μοχλοβραχίονα των δυνάμεων ευστάθειας, μια πιθανή οριζόντια δράση μπορεί να προκαλέσει την ανατροπή του, ή μία κατολιώθηση των πρανών του να επιφέρει την καταστροφή του (εικ.2). Ο βόρειος πεσός της ιστάμενης καμάρας (Ε), παρουσιάζει κατακόρυφες ρωγμές που εκτείνονται σχεδόν σε όλο το ύψος του (εικ.3), ενώ διαμπερές ρωγμή αποκολλά την καμάρα από τον πεσό αυτόν (εικ.4,5). Ο νότιος πεσός της ιστάμενης καμάρας (Δ) παρουσιάζει κι αυτός καθ' ύψος ρωγμές τόσο στη βόρεια (εικ.6), όσο και στη νότια όψη του (εικ.7), ενώ προβληματική είναι και η έδρασή του στο δυτικό του τμήμα (εικ.8).

Η σύνταξη μιας μελέτης δομητικής αποκατάστασης του μνημείου είναι μια επίπονη, χρονοβόρα και διεπιστημονική εργασία, η οποία οφείλει ενδεικτικά να περιλαμβάνει φωτογραμμετρική αποτύπωση, διάγνωση της παθολογίας με ποιοτικές και ποσοτικές προσεγγίσεις, αναγνώριση των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων της τοιχοποιίας, μόρφωση αριθμητικού μοντέλου για την εύρεση των πιθανών σημείων αστοχίας κ.λ.π.

Σαν πρώτα επείγοντα όμως μέτρα για την προστασία του μνημείου προτείνονται τοπικές στερεώσεις των αποκολλημένων τμημάτων, προσωρινές υποστυλώσεις στην περιοχή της καμάρας (αφού έχει καταργηθεί η μεταφορά των φορτίων της -κυρίως ίδιων βάρους- στον παρακείμενο πεσό) -πιθανά με μορφή αψιδότουπου, αντιστηρίξεις και κυρίως ενίσχυση του δυτικού πόδα των πεσσών.

Στη μελέτη Οδοποιίας της μικρής Περιμετρικής Οδού Πατρών δεν προβλέπονται μέτρα ενόργανης παρακολούθησης του μνημείου, τόσο στη φάση κατασκευής ή ακόμα και λειτουργίας του έργου.

Προτείνεται λοιπόν η ύπαρξη συστήματος παρακολούθησης και ενόργανης καταγραφής (monitoring) κατά τη φάση κατασκευής, αλλά κυρίως κατά την αρχική τουλάχιστον περίοδο λειτουργίας της μικρής Περιμετρικής. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει, τόσο την εγκατάσταση δικτύου ρηγματόμετρων επί των τοίχων του Υδραγωγείου, όσο και οργάνων μέτρησης των δονήσεων (δονησιομετρικοί έλεγχοι),

υποβολή εκθέσεων της ενόργανης παρακολούθησης, καθορισμός ορίων επιφυλακής και συναγερμού για τη λήψη άμεσα μέτρων κ.λ.π.

Μαριλένα Μεντζίνη
Πολιτικός μηχανικός, δρ. Ε.Μ.Π.

M. Menzini

Συνημμένα

1. Αποσπασμα της Οριζοντιογραφίας της Οριστικής Μελέτης Οδοποιίας της μικρής Περιμετρικής Οδού Πατρών, που παρουσιάζεται η σχέση του μνημείου με την οδό
2. Σειρά εικόνων με την Παθολογία του μνημείου

Zougla.gr



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
ΚΑΙ ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ
ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΪΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΚΛΑΣΙΚΩΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ,
ΜΝΗΜΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΡΧΑΙΟΓΝΩΣΤΙΚΗΣ
ΕΡΕΥΝΑΣ

Ταχ. Διεύθυνση: Μπουραπουλίνης 20-22
 Ταχ. Κώδικας: 106 82, Αθήνα
 Πληροφορίες: Μ. Αίτια
 Τηλ.: 210 8201266
 Fax : 210 8201260

Αθήνα, 11 - 10- 2010

Αρ. Πρωτ.:
 ΥΠΠΟΤ/ΓΔΑΠΚ/ΑΡΧ/Α1/Φ44/83591/4103

ΚΟΙΝ.: 1. Γραφείο Υπουργού
 2. Γραφείο Γεν. Γραμματέως ΥΠΠΟΤ
 Θέματα Συγχρηματοδοτούμενων
 Προγραμμάτων
 3. Γεν. Δ/νση Αρχαιοτήτων και
 Πολιτιστικής Κληρονομιάς
 4. ΣΤ' ΕΠΚΑ
 5. Υπηρεσία Διαχείρισης
 Προγράμματος «Δυτική Ελλάδα
 Πελοπόννησος - Ιόνιοι Νήσοι»

ΘΕΜΑ: Έγκριση εκτέλεσης εργασιών υποέργου 2 'Αρχαιολογικές Ανασκαφές' του έργου «Κατασκευή Μικρής Περιμετρικής Πατρών» απολογιστικά και με επιστολία από τη ΣΤ' ΕΠΚΑ

Έχοντας υπόψη:

1. Τις διατάξεις

- α) του Ν.3028/02 «Περί Προστασίας των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς» (ΦΕΚ 153/Α/28.6.2002)
 - β) του Π.Δ. 263/87 «Όργανα που αποφασίζουν ή γνωμοδοτούν και ειδικές ρυθμίσεις σε θέματα έργων που εκτελούνται από το ΥΠΠΟ» (ΦΕΚ 127/Α/9.7.1987), όπως τροποποιημένο και συμπληρωμένο ισχύει σήμερα
 - γ) του Ν.1958/91, άρθρο 81 «Τρόπος εκτέλεσης αρχαιολογικών έργων» (ΦΕΚ 122/Α/5.8.1991), με το οποίο διαφοροποιούνται ή συμπληρώνονται οι διατάξεις των Ν.1418/84 , 716/77, του Π.Δ. 609/85 κ.λ.π., που ρυθμίζουν θέματα σχετικά με την μελέτη και την εκτέλεση αρχαιολογικών εν γένει έργων
 - δ) του Π.Δ. 99/92 «Μελέτη και εκτέλεση αρχαιολογικών εν γένει έργων» (ΦΕΚ 46/Α/24.3.1992), όπως τροποποιημένο και συμπληρωμένο ισχύει σήμερα.
 - ε) του υπ' αρ. 186/2009 (ΦΕΚ 213/Α/07.10.09) Προεδρικού Διατάγματος «Συγχώνευση των Υπουργείων Πολιτισμού και Τουριστικής Ανάπτυξης»
 - στ) του Π.Δ. 63/2005 (ΦΕΚ 98/Α/22-4-2005) «Κωδικοποίηση της Νομοθεσίας για την Κυβέρνηση και τα Κυβερνητικά Όργανα»
 - ζ) του υπ' αρ. 187/2009 (ΦΕΚ 214/Α/07.10.09) Προεδρικού Διατάγματος «Διορισμός Υπουργών και Υφυπουργών»
 - η) του Π.Δ. 191/2003 «Περί Οργανισμού του ΥΠΠΟ.» (ΦΕΚ 146/Α/13.6.2003)
2. Την υπ' αριθ. 85310/3639/13-07-10 Απόφαση ένταξης Πράξης «Κατασκευή Μικρής Περιμετρικής Πατρών» με κωδικό MIS 292398 στο Ε.Π. Δυτικής Ελλάδος - Πελοποννήσου - Ιονίων Νήσων 2007 - 2013.
3. Το υπ' αριθ. Φ666/Ζ-03/6989/04-08-10 έγγραφο της ΣΤ' ΕΠΚΑ

Αποφαιζουμε

Εγκρίνουμε την εκτέλεση των εργασιών του υποέργου 2 «Αρχαιολογικές Ανασκαφές» του έργου «Κατασκευή Μικρής Περιμετρικής Πατρών» απολογιστικά και με αυτεπιστασία από τη ΣΤ΄ ΕΠΚΑ.

Οι εργασίες που θα εκτελεστούν αφορούν στα εξής :

1. Καθαρισμός και ανασκαφή του τμήματος του Ρωμαϊκού Υδραγωγείου, το οποίο αποκαλύφθηκε κατά τις εργασίες εκσκαφής στο απαλλοτριωθέν τμήμα για τη διέλευση της Μικρής Περιμετρικής.
2. Φωτογράφιση και σχεδιαστική αποτύπωση κατόψεων, όψεων και τομών του μνημείου σε κλίμακα 1:20.
3. Για την εκτέλεση των παραπάνω εργασιών, την προμήθεια των αναγκαίων υλικών και κάθε άλλη ενέργεια στο πλαίσιο της αυτεπιστασίας και μέχρι την ολοκλήρωση του έργου, εγκρίνεται συνολική δαπάνη ποσού 146.215,51€ από τον κωδικό ΣΑ 2010 Ε Π00180001 μέσω της ΣΑ : ΕΠ0018.
4. Η εκτέλεση του υποέργου έχει ημερομηνία λήξης την 31^η Δεκεμβρίου 2013.
5. Με την περαίωση των εργασιών να εκδοθεί σχετική βεβαίωση περαίωσης, αφού συνταχθεί η προβλεπόμενη από το άρθρο 9, παρ. 5 του Π.Δ. 99/92 έκθεση απολογισμού του έργου από τους επιβλέποντες. Τα στοιχεία αυτά να κοινοποιηθούν και στην αρμόδια Διαχειριστική Αρχή.

Εσωτ. Διανομή:

- 1) ΓΔΑΠΚ
- 2) ΔΠΚΑ - Α1

Ο ΥΠΟΥΡΓΟΣ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
ΚΑΙ ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ
ΠΑΥΛΟΣ ΓΕΡΟΥΔΑΝΟΣ

ΑΚΡΙΒΕΣ ΑΝΤΙΓΡΑΦΟ
Ο Προϊστάμενος της Γραμματείας



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΣΗ ΑΝΑΣΤΗΛΑΞΕΩΣ
ΜΟΥΣΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Αθήνα, 3 Οκτωβρίου 2011

**Δ/ΝΣΗ ΑΝΑΣΤΗΛΩΣΕΩΣ
ΑΡΧΑΙΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ**

Αριθμ. Πρωτ.:
ΥΠΠΟΤ/ΔΑΑΜ/1183/87028

Ταχ. Δ/ση : Πλ. Καρύτση 12
Ταχ. Κώδικας : 105 61 – Αθήνα
Πληροφορίες : Σ. Σπυροπούλου
Τηλέφωνο : 210.32.26.203
FAX : 210.32.42.509

ΚΟΙΝ.: Πίνακας αποδεκτών

ΘΕΜΑ: Έγκριση μελέτης (α' φάση) άμεσων σωστικών μέτρων για τη στερέωση, προστασία και αποκατάσταση του ρωμαϊκού υδραγωγείου της Πάτρας, στην κοιλάδα της Αρόης.

ΑΠΟΦΑΣΗ

Έχοντας υπ' όψιν:

1. Τις διατάξεις του Π.Δ. 63/2005 "Κωδικοποίηση της Νομοθεσίας για την Κυβέρνηση και τα Κυβερνητικά Όργανα" (ΦΕΚ 98/Α/22-4-2005)
2. Το Π.Δ. 186/2009 «Συγχώνευση των Υπουργείων Πολιτισμού και Τουριστικής Ανάπτυξης» (ΦΕΚ 213/Α/7.10.2009)
3. Το Π.Δ. 187/2009 «Διορισμός Υπουργών και Υφυπουργών» (ΦΕΚ 214/Α/7.10.2009)
4. Τον Ν. 3028/02 «Για την προστασία των Αρχαιοτήτων και εν γένει της Πολιτιστικής Κληρονομιάς» (ΦΕΚ 153/Α/28-6-2002) και τον Ν. 216/43 «Περί Οργανώσεως της Υπηρεσίας Αναστήλωσεως των Αρχαίων και Ιστορικών Μνημείων του Κράτους», όπως έχει διατηρηθεί σε ισχύ μέχρι σήμερα (ΦΕΚ 161/Α/1.6.1943)
5. Τις διατάξεις του Π.Δ. 263/87 «Όργανα που αποφασίζουν ή γνωμοδοτούν και ειδικές ρυθμίσεις έργων που εκτελούνται από το ΥΠΠΟ», όπως τροποποιήθηκε και ισχύει σήμερα (ΦΕΚ 127/Α/9.7.1987)
6. Την ΥΠΠΟ/ΓΝΟΣ/49610/28.11.90 ΚΥΑ «Εξάιρεση από τον περιορισμό των τριών υπογραφών» (ΦΕΚ 743/Β'/29.11.2011)
7. Τις διατάξεις του Π.Δ. 191/03 «Οργανισμός Υπουργείου Πολιτισμού» (ΦΕΚ 146/Α'/13-6-2003).
8. Την εισήγηση των αρμόδιων εισηγητών της ΔΑΑΜ και της ΔΠΚΑ
9. Την ομόφωνη γνωμοδότηση του ΚΑΣ, όπως προκύπτει από την αριθ. 27/02-08-2011 Πράξη του.

ΑΠΟΦΑΣΙΖΟΥΜΕ

Την έγκριση της μελέτης (α' φάση) άμεσων σωστικών μέτρων για τη στερέωση, προστασία και αποκατάσταση του ρωμαϊκού υδραγωγείου της Πάτρας, στην κοιλάδα της Αρόης, με τις ακόλουθες παρατηρήσεις:

1. Να γίνουν μόνο οι αναγκαίες εργασίες. Τα άμεσα σωστικά μέτρα να αντιμετωπίσουν τα τυχόν προβλήματα που θα προκύψουν κατά τη διάρκεια των έργων. Τα ενέματα, τα κονιάματα (μετά από σχολαστικό καθαρισμό) και οι περιδέσεις να στερεώσουν κατ' αρχήν το μνημείο, ώστε να αποφευχθούν τα βλήτρα και οι συρραφές, που ίσως μπουν μετά την προσέγγιση του μνημείου, αν τεκμηριωθούν στατικά.
2. Οι πληρώσεις των κενών στη βάση των πεσσών, αντί να στηριχθούν με λίθινο τοίχο εδραζόμενο σε βάση μπετόν αρμέ, να γίνουν με λιθόδεμα κατά το ρωμαϊκό τρόπο: πέτρες ανάλογου μεγέθους, συμβατό υλικό πλήρωσης (η οπτοπλινθοδομή να ανακατασκευαστεί μελλοντικά). Για την έδραση της συμπλήρωσης του πυρήνα, να αποκαλυφθεί ανασκαφικά το λιθόδεμα των πεσσών. Η επαφή να γίνει με πλαστική μεμβράνη ή υαλόπλεγμα. Να διαχωριστεί η νέα κατασκευή με έλασμα μολύβδου.
3. Η άρση της ετοιμορροπίας του σωζόμενου τόξου να γίνει με θολότυπο (αντί σημειακών στηρίξεων). Να ακολουθήσει πλήρωση της ρωγμής με ένεμα.

Εσωτερική Διανομή

1. ΔΑΑΜ
2. Τμήμα III
3. Σ. Σποροπούλου
4. Μ.Βασενχόβεν

**Ο ΥΠΟΥΡΓΟΣ
ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ**

ΠΑΥΛΟΣ ΓΕΡΟΥΔΑΝΟΣ

Πίνακας αποδεκτών

1. Γραφείο Υπουργού
2. Γραφείο Γεν. Γραμματέως
3. Γενική Διεύθυνση Αναστήλωσης Μουσείων και Τεχνικών Έργων
4. Γενική Δ/ση Αρχαιοτήτων και Πολιτιστικής Κληρονομιάς
5. ΔΠΚΑ, Τμήμα Αρχ/κών Χώρων & Αρχαιολογικής Έρευνας
6. ΣΤ' ΕΠΚΑ
7. 6^ο ΕΒΑ
8. Γραμματεία του ΚΑΣ

Ακριβές Αντίγραφο
Ο Προϊστάμενος της Γραμματείας

