



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ

ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τεχνολογία και Μηχανική στο Βυζάντιο

ΒΟΥΡΑ ΣΥΜΕΛΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΚΑΤΣΙΑΜΠΟΥΡΑ ΙΩΑΝΝΑ

ΠΑΤΡΑ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ, 2023

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2023

Η παρούσα Εργασία καθώς και τα αποτελέσματά αυτής, αποτελούν συνιδιοκτησία του ΕΑΠ και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους, έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης, αναπαραγωγής και αναδιανομής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα της Εργασίας καθώς και το όνομα του ΕΑΠ όπου εκπονήθηκε.



Τεχνολογία και Μηχανική στο Βυζάντιο

ΒΟΥΡΑ ΣΥΜΕΛΑ

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Κατσιαμπούρα Ιωάννα

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής Σκορδούλης Κωνσταντίνος

ΠΑΤΡΑ, 2023

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κυρία Κατσιαμπούρα Ιωάννα για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε για τη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλους τους διδάσκοντες των θεματικών ενοτήτων του μεταπτυχιακού προγράμματος που παρακολούθησα για τη βοήθεια που μου προσέφεραν. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον κύριο Κωνσταντίνο Σκορδούλη για την εξαιρετική παρουσίαση των μαθημάτων του και το πάθος που έχει για το αντικείμενό του εμπνέοντας τους φοιτητές.

Τέλος ευχαριστώ τον σύζυγό μου και τον μικρούλι μου Παναγιώτη για την υπομονή και τη στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στο ΕΑΠ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευρετήριο εικόνων.....	8
Εισαγωγή.....	11
1. Μέτρηση του χρόνου Αστρονομικά Όργανα.....	12
1.1 Γνώμονας.....	12
1.2 Ηλιακά Ωρολόγια.....	13
1.2.α Σταθερά Ηλιακά Ωρολόγια.....	14
1.2.β Φορητά Ηλιακά Ωρολόγια.....	16
1.2.γ Βυζαντινά Φορητά Ηλιακά Ωρολόγια.....	16
1.2.γ.ι Επίπεδα Φορητά Ηλιακά Ωρολόγια «προς παν κλίμα».....	17
1.2.γ.ii Ρολόι των Φιλίππων.....	19
1.3.α Αστρολάβος.....	21
1.3.β Αστρολάβος της Brescia.....	24
2. Μηχανισμοί με γρανάζια.....	26
2.1 Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων.....	26
2.2 Το Βυζαντινό Ηλιακό Ρολόι/Ημερολόγιο.....	31
3. Αυτόματα.....	36
3.1 Το Υδραυλικό Ρολόι του Κτησίβιου.....	38
3.2 Αυτόματος Βωμός του Ήρωνα.....	39
3.3 Αυτόματος Νιπήρας του Φίλωνα.....	40
3.4 Αυτόματες Πύλες Ναού του Ήρωνα.....	41
3.5 Ανθρώπινες Αυτόματες Φιγούρες-Φιγούρες του Ήρωνα.....	42
3.6 Τα Αυτόματα του Βυζαντίου και της Ανατολής.....	42

4. Μουσικά Όργανα.....	46
4.1 Έγχορδα Όργανα.....	46
4.1.α Η Λύρα.....	47
4.1.β Η Βάρβιτος.....	48
4.1.γ Η Κιθάρα του Απόλλωνα.....	48
4.1.δ Άλλα είδη Κιθάρας.....	49
4.2 Πολύχορδα Όργανα.....	50
4.2.α Η Πηκτίς.....	50
4.2.β Το Τρίγωνον.....	50
4.2.γ Το Επιγόνειον και το Σιμίκιον.....	51
4.2.δ Η Πανδούρα.....	51
4.3 Πνευστά Όργανα.....	52
4.3.α Ο Αυλός.....	52
4.3.β Η Σύριγγξ.....	53
4.3.γ Ο Άσκαυλος.....	54
4.4 Κρουστά Όργανα.....	54
4.4.α Το Τύμπανον και το Ρόπτρον.....	54
4.4.β Τα Κύμβαλα.....	55
4.4.γ Τα Κρόταλα και το Κρουπέζιον.....	55
4.5. Τα Μουσικά Όργανα στο Βυζάντιο.....	55
4.6 Η Ύδραυλις.....	58
5. Οικοδομική Τεχνολογία.....	61
5.1 Αρχαία Οικοδομική Τεχνολογία.....	61
5.2 Ρωμαϊκή Οικοδομική Τεχνολογία.....	66

5.3 Βυζαντινή Οικοδομική Τεχνολογία.....	69
6. Πολεμική Τεχνολογία.....	74
6.1 Αρχαίοι Έλληνες.....	76
6.1.α Πολιορκητικοί Πύργοι.....	76
6.1.β Χελώναι- Τρυπάνιον.....	78
6.1.γ Κλίμακες.....	79
6.1.δ Γαστραφέτης, Οξυβόλα και Λιθοβόλα Όπλα	80
6.2 Ρωμαϊκή και Βυζαντινή Περίοδος.....	83
6.2.α Πολιορκητικοί Πύργοι.....	83
6.2.β Κλίμακες Σκάλες.....	85
6.2.γ Κριοί-Χελώναι.....	86
6.2.δ Οξυβόλα Όπλα.....	87
6.2.ε Λιθοβόλα Όπλα.....	90
6.2.ζ Υγρό Πυρ.....	93
Συμπεράσματα.....	95
Βιβλιογραφία.....	97

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1: Οι δύο υποκατηγορίες των φορητών ηλιακών ρολογιών σε σπασμένη μορφή ώστε να φαίνονται τα εξαρτήματά τους.....17

Πηγή: Wright T. Michael, «Greek and Roman Portable Sundials: An Ancient Essey in Approximation», Archive for History of Exact Sciences, Vol.55, No 2, (December 2000), p.177-187

ΕΙΚΟΝΑ 2: Φορητό ηλιακό ρολόι της Μέμφιδος. Κατασκευή Διονύσιος Κριάρης.....18.

Πηγή: Παπασπύρου Π. – Κριάρης Δ. -Στεργιάννη Ε., «Το Βυζαντινό Ωρολόγιο και Ημερολόγιο», Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών, Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση, Τεύχος Γ' academy.eng.auth.gr/index.php/gr/scientific_reviews/stoa_of_sciences/thematic_volumes/Hellenistic_astronomy_and_mechanics/c_issue

ΕΙΚΟΝΑ 3: Το ρολόι των Φιλίππων σε κατάσταση αποθήκευσης.....20

Πηγή: Γούναρης Γεώργιος, «Χάλκινο Φορητό Ηλιακό Ωρολόγιο από τους Φιλίππους», Αρχαιολογική Εφημερίς, (1978), 181-191

ΕΙΚΟΝΑ 4: Το ρολόι των Φιλίππων με αναπτυγμένους τους δακτυλίους και σε κατάσταση λειτουργίας.....21

Πηγή: Γούναρης Γεώργιος, «Χάλκινο Φορητό Ηλιακό Ωρολόγιο από τους Φιλίππους», Αρχαιολογική Εφημερίς, (1978), 181-191

ΕΙΚΟΝΑ 5: Αστρολάβος της Brescia.....25

Πηγή: <http://archive.noesis.edu.gr/repository/handle/11609/001-03160.html>

ΕΙΚΟΝΑ 6: Ομοίωμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων του ΑΠΘ, μπροστά όψη.....30

ΕΙΚΟΝΑ 7: Ομοίωμα του Μηχανισμού των Αντικυθήρων του ΑΠΘ, πίσω όψη.....31

Πηγή: (Για εικόνα 6 και 7) Αναστασίου Μαγδαληνή, Μηχανισμός των Αντικυθήρων: Αστρονομία και Τεχνολογία στην Αρχαία Ελλάδα, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ιούνιος 2014

ΕΙΚΟΝΑ 8: Βυζαντινό Ρολόι/Ημερολόγιο μπροστά όψη. Κατασκευή Διονύσιος Κριάρης.....36

EIKONA 9: Βυζαντινό Ρολόι/Ημερολόγιο πίσω όψη. Κατασκευή Διονύσιος Κριάρης...36

Πηγή: (Για εικόνα 8 και 9) Πηγή: Παπασπύρου Π. – Κριάρης Δ. -Στεργιάννη Ε., «Το Βυζαντινό Ωρολόγιο και Ημερολόγιο», Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών, Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση, Τεύχος Γ' academy.eng.auth.gr/index.php/gr/scientific_reviews/stoa_of_sciences/thematic_volumes/Hellenistic_astronomy_and_mechanics/c_issue

EIKONA 10: Αυτόματος Βωμός του Ήρωνα.....40

EIKONA 11: Αυτόματες Πύλες Ναού του Ήρωνα.....41

Πηγή: (Για εικόνες 10 και 11) Καλλιγερόπουλος Δημήτριος, «Οι Αλεξανδρινοί Μηχανικοί και Αυτοματοποιεί: Κτησίβιος, Φίλων, Ήρων», Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.95 (Ιούνιος 2005),48-53.

EIKONA 12: Η Λύρα48

Πηγή: <https://kotsanas.com/exh.php?exhibit=2102005>

EIKONA 13: Η Κιθάρα του Απόλλωνα.....49

Πηγή: <https://kotsanas.com/exh.php?exhibit=2102007>

EIKONA 14: Η Πυκτίς.....51

Πηγή: <https://kotsanas.com/exh.php?exhibit=2102012>

EIKONA 15: Το Τρίγωνον51

Πηγή: <https://kotsanas.com/exh.php?exhibit=2102013>

EIKONA 16: α) Αυλός β) Δίαυλος.....53

Πηγή: <https://kotsanas.com/exh.php?exhibit=2103001> και 2

EIKONA 17: Η Ύδραυλις.....61

Πηγή: Καρασμάνης Βασίλης, «Η αρχαία Ύδραυλις και η ανακατασκευή της», Αρχαιολογία και Τέχνες». αρ.95, (Ιούνιος 2005), 61-67.

EIKONA 18: Φωτορεαλιστική Απόδοση Στέγης.....65

Πηγή: Τανούλας Τάσος, «Η οικοδομική τέχνη των αρχαίων ελληνικών ναών», Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.95 (Ιούνιος 2005), 12-20

EIKONA 19: Πολύσπαστο.....66

Πηγή: <https://science.fandom.com/el/wiki/Πολύσπαστο>

EIKONA 20: Ελέπολις του Επίμαχου.....78

Πηγή: <https://kotsanas.com/exh.php?exhibit=1401004>

EIKONA 21: Πιθανός μηχανισμός διάδοσης της κίνησης της Ελέπολις.....78

Πηγή: Rossi Cesare – Russo Flavio – Russo Ferruccio, (Ed.) Ceccarelli Marco, Ancient Engineers’ Inventions, History of Mechanism and Machine Science, Vol. 8 Naples: Springer 2009

EIKONA 22: Το τρύπανο του Διάδη.....79

Πηγή: <https://kotsanas.com/exh.php?exhibit=1401006>

EIKONA 23: Η Σαμβύκη του Δαμίου από την Κολοφώνα.....80

Πηγή: <https://kotsanas.com/exh.php?exhibit=1401005>

EIKONA 24: Γαστραφέτης.....81

Πηγή: <https://kotsanas.com/exh.php?exhibit=1402001>

EIKONA 25: Όναγρος.....91

Πηγή: <https://m.facebook.com/AncientGreekTechnology/photos/όναγρος-ο-άγριος-γάιδαρος-ή-απλά-ο-γάιδαρος-όναγρος-επίσης-ένα-είδος-καταπέλτη-τ/244788262863259/>

EIKONA 26: Λιθοβόλο με αντίβαρο.....93

Πηγή: <https://scienceoxford.com>upload>2016/03>

EIKONA 27: Επίθεση σιφωνάτορα σε εχθρικά τείχη. Βατικανός ελληνικός κωδικός 1605 του 11ου αιώνα που περιλαμβάνει τα *Πολιορκητικά* του Ήρωνος του Βυζάντιου, φ.185.....94

Πηγή: Κόλλιας Ταξιάρχης, «Τεχνολογία και Πόλεμος στο Βυζάντιο», Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.96, (Σεπτέμβριος 2005), 18-24.

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την Τεχνολογία και τη Μηχανική στο Βυζάντιο. Έχουν επιλεχθεί έξι βασικοί τομείς ώστε η προσέγγιση να είναι όσο το δυνατό σφαιρικότερη περιλαμβάνοντας, την τεχνολογία που αφορά τα επιστημονικά όργανα, αυτήν που χρησιμοποιήθηκε για τη βελτίωση των συνθηκών της καθημερινής ζωής, καθώς και την τεχνολογία που σχετίζεται με την ψυχαγωγία, η οποία είναι απαραίτητη στην ανθρώπινη ύπαρξη. Παρουσιάζονται και αναλύονται για κάθε τομέα χωριστά τα βασικότερα τεχνολογικά επιτεύγματα και η εξέλιξή τους από την Αρχαιότητα στο Βυζάντιο. Σε κάθε κεφάλαιο που αφορά ένα ξεχωριστό πεδίο, εξετάζονται τα σημαντικότερα και αντιπροσωπευτικότερα όργανά του, με αφετηρία την Αρχαιότητα και δη τα Ελληνιστικά χρόνια και πέρας τη Βυζαντινή εποχή. Παρακολουθείται η μετάβαση και η εξέλιξη της Τεχνολογίας και της Μηχανικής μέσω των εφευρέσεων και των βελτιώσεων σε αυτές, της κάθε χρονικής περιόδου, καθώς η Βυζαντινή Τεχνολογία ακολουθεί την Ελληνιστική και Ελληνορωμαϊκή παράδοση.

Για τη διεξαγωγή της εργασίας χρησιμοποιήθηκε η ιστοριογραφική μέθοδος, με χρήση πρωτογενών πηγών και πρόσφατης (με ελάχιστες εξαιρέσεις) δευτερογενούς βιβλιογραφίας. Η δομή της κινείται πάνω στον άξονα του χρόνου παρουσιάζοντας κάθε χρονική περίοδο ξεχωριστά.

Το πρώτο κεφάλαιο ασχολείται με τη μέτρηση του χρόνου και τα Αστρονομικά Όργανα. Στο δεύτερο κεφάλαιο εκτίθενται οι Μηχανισμοί με Γρανάζια. Στο τρίτο κεφάλαιο ακολουθούν τα Αυτόματα Όργανα. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η Μουσική Τεχνολογία και τα κυριότερα Μουσικά Όργανα. Το πέμπτο κεφάλαιο αναδεικνύει την Οικοδομική Τεχνολογία και τέλος η Πολεμική Τεχνολογία είναι το θέμα του έκτου και τελευταίου κεφαλαίου. Η εργασία ολοκληρώνεται με τα Συμπεράσματα που διεξάγονται με βάση την ανάλυση που έχει προηγηθεί.

1. Μέτρηση του χρόνου-Αστρονομικά όργανα.

Η πρώτη προσπάθεια μέτρησης του χρόνου από τον άνθρωπο, έγινε με τη βοήθεια του ήλιου. Τα ηλιακά ωρολόγια, σταθερά και φορητά, καθώς και ο Αστρολάβος ήταν τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο. Η εξέλιξή τους ήταν σημαντική τόσο στα ελληνιστικά όσο και στα βυζαντινά χρόνια, ξεκινώντας από την πρώιμη μορφή τους, τον Γνώμονα. Η κατασκευή τους δεν είναι απλή υπόθεση διότι απαιτούνται μαθηματικές και αστρονομικές γνώσεις.

1.1 Γνώμονας

Το πρώτο αστρονομικό όργανο μέτρησης του χρόνου με τη βοήθεια του Ήλιου, ήταν ο γνώμονας. Το πότε έκανε την εμφάνισή του και σε ποια περιοχή είναι άγνωστο. Στην Αίγυπτο χρησιμοποιούνταν ήδη από το 1450 π.Χ. για τη μέτρηση του χρόνου, καθώς και για την κατασκευή ημερολογίων. Η εφαρμογή του γνώμονα από την περιοχή της Μεσογείου έως και την Κίνα γίνεται γνωστή μέσω αναφορών, εντούτοις δεν υπάρχουν γραπτά κείμενα που να επιτρέπουν τον χρονικό και τοπικό προσδιορισμό της αρχικής κατασκευής του. Στην Ελλάδα και στην Κίνα η χρήση του γνώμονα γινόταν από τον 5ο π.Χ. αιώνα. Γνωρίζουμε από τον Ηρόδοτο ότι οι Έλληνες ήρθαν σε επαφή με αυτό το όργανο μέσω των Βαβυλωνίων.

Γνώμονας είναι το γεωμετρικό όργανο σχήματος ορθογωνίου τριγώνου που χρησιμοποιείται για τη χάραξη κάθετων γραμμών καθώς και ορθών γωνιών. Στην Αστρονομία χρησιμοποιήθηκε η υποτείνουσα του τριγώνου σαν στύλος, στερεωμένος στο έδαφος υπό γωνία με το οριζόντιο επίπεδο, ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Δηλαδή η υποτείνουσα τοποθετούνταν παράλληλα με τον άξονα της Γης. Η κίνηση της σκιάς του γνώμονα, που δημιουργείται από τον Ήλιο, καθώς και η μεταβολή του μήκους της σκιάς, επιτρέπουν τον προσδιορισμό της χρονικής διάρκειας της μέρας, όπως και της διάρκειας των ωρών. (Πάνου Ε. 2016 p. 75-81)

Αρχικά ο γνώμονας χρησιμοποιήθηκε για την παρατήρηση του θερινού και του χειμερινού ηλιοστασίου. Η σκιά του γνώμονα γίνεται μέγιστη σε μήκος το μεσημέρι του θερινού ηλιοστασίου, ενώ γίνεται η μικρότερη δυνατή, το μεσημέρι του χειμερινού ηλιοστασίου. [Θερινό ηλιοστάσιο (ή σημείο της θερινής τροπής), καλείται η μέρα στην οποία ο άξονας της Γης είναι περισσότερο στραμμένος προς τον Ήλιο και ισοδυναμεί με τη βορειότερη θέση του Ήλιου στην ουράνια σφαίρα, δηλαδή στην ημέρα με τη μεγαλύτερη διάρκεια για το βόρειο ημισφαίριο, ενώ στο χειμερινό ηλιοστάσιο (ή σημείο της χειμερινής τροπής), ο άξονας της Γης

είναι στραμμένος στην πιο απομακρυσμένη θέση από τον Ήλιο και αντιστοιχεί στο νοτιότερο σημείο του Ήλιου ως προς το βόρειο ημισφαίριο και άρα την ημέρα με τη μικρότερη διάρκεια.]

Εκτός από τον προσδιορισμό των ηλιοστασίων και των ισημεριών, ο γνώμονας χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση του γεωγραφικού πλάτους του τόπου, του μεσημβρινού του τόπου, του αληθιού ηλιακού χρόνου και των τεσσάρων σημείων του ορίζοντα.

Ο γνώμονας χρησιμοποιήθηκε από τον Αναξίμανδρο τον Μιλήσιο (610-540 π.Χ.), τον Πυθέα τον Μασσαλιώτη (359-289π.Χ), τον Αρχιμήδη (περ.287-212π.Χ.) και τον Ίππαρχο τον Ρόδιο (περ.190-120π.Χ.). Από τη Βυζαντινή περίοδο, ένα από τα σωζόμενα έργα που περιέχουν καταγραφές για τη χρήση και τις μετρήσεις που γίνονταν με τον γνώμονα, είναι η *Ευαγγελική Προπαρασκευή* του Ευσέβιου (265-340 μ.Χ.) όπου σημειώνεται ότι ο πρώτος που κατασκεύασε αυτό το όργανο ήταν ο Αναξίμανδρος, ο οποίος προσδιόρισε τη χρονική διάρκεια των εποχών του έτους, τα ηλιοστάσια, τις ισημερίες και τις ώρες. Επίσης στο βιβλίο του Πρόκλου (412-485 μ.Χ.) *Στοιχεία του Ευκλείδη* υπάρχουν σημειώσεις που αναφέρονται στη χρήση του γνώμονα για τη μέτρηση του χρόνου. Σ' ένα έργο το οποίο δεν σώζεται η *Συλλογή Αρχαίων Συγγραφέων* του Ambroise Firmin Didot (φιλέλληνα, μελετητή, συλλέκτη και εκδότη, σύμφωνα με το Βρετανικό Μουσείο), το οποίο αποτελούνταν από 50 τόμους, υπήρχε ένα σύγγραμμα με τίτλο *Περί σκιάς γνώμονος εν τη τη πόλει του Βύζαντος*. Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα αρχαία αστρονομικά όργανα συνέχισαν να χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του χρόνου κατά τη διάρκεια της Βυζαντινής περιόδου. (Πάνου Ε. 2016 p. 75-81)

1.2 Ηλιακά Ωρολόγια

Τα παλαιότερα δείγματα ηλιακών οργάνων μέτρησης του χρόνου είναι οι οβελίσκοι, κατακόρυφοι στύλοι μεγάλου ύψους (3500 π.Χ.). Τα όργανα αυτά είναι παγκόσμια εφόσον δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν από πολλούς λαούς. Οι οβελίσκοι έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με τους γνώμονες. Η εξελιγμένη μορφή αυτών των οργάνων είναι τα ηλιακά ρολόγια, τα οποία ονομάζονται και σκιαθηρικά γιατί μετρούν το χρόνο κυνηγώντας τη σκιά του Ήλιου. (Πάνου Ε. 2016 p.188). Ηλιακά ρολόγια κατασκευάστηκαν από του Αιγυπτίους, τους Βαβυλωνίους τους Κινέζους κ.α. . Αναφορές υπάρχουν και στην Παλαιά Διαθήκη, όπου περιγράφονται ίδιου τύπου ρολόγια με αυτά των Αιγυπτίων και των Βαβυλωνίων. Η εξελικτική

πορεία των ηλιακών ωρολογίων βασισμένη σε επιστημονικές αρχές όμως, οφείλεται στους Αρχαίους Έλληνες, οι οποίοι διατύπωσαν και εφάρμοσαν αυτές τις αρχές, ώστε να κατασκευάσουν πολύ ακριβή ρολόγια, των οποίων η επιφάνεια δεν ήταν αποκλειστικά επίπεδη. (Rossi C.- Russo F.- Russo F. 2009 p. 29-31).

Ανάλογα με το μέγεθός τους και την κατασκευή τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα σταθερά (στατικά) και τα φορητά.

1.2.α Σταθερά Ηλιακά Ωρολόγια

Αυτά τα ηλιακά ρολόγια είναι σκαλισμένα σε κομμάτια από διαφορετικής ποιότητας πέτρα ή μάρμαρο, τα οποία ήταν τοποθετημένα σε σταθερή βάση. Αποτελούνταν από την επιφάνεια του ρολογιού που ονομάζεται ωρολογόπλακα και ένα στύλο (γνώμονα) κατασκευασμένο από σίδηρο ή μπρούτζο, ο οποίος ήταν στερεωμένος πάνω στην πλάκα, με κατεύθυνση παράλληλη του άξονα της Γης προς το βορρά. Δηλαδή ο γνώμονας σχημάτιζε γωνία με τον ορίζοντα του τόπου, ίση με το γεωμετρικό πλάτος του τόπου. Αυτό σημαίνει ότι ένα σταθερό ηλιακό ρολόι λειτουργεί με ακρίβεια μόνο στο συγκεκριμένο τόπο (ή σε τόπους του ίδιου μεσημβρινού). Πάνω στην ωρολογόπλακα σκαλίζονταν ημιευθείες με αρχή το σημείο στήριξης του γνώμονα, οι ωρικές γραμμές, οι οποίες χρησιμοποιούνταν για τον προσδιορισμό της ημερήσιας ώρας. Επιπλέον ήταν σκαλισμένες και καμπύλες, οι οποίες αντιστοιχούσαν στην πορεία του Ήλιου κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο, κατά τις ισημερίες και κατά το θερινό ηλιοστάσιο. Με τις καμπύλες αυτές προσδιορίζονταν η εποχή του έτους. Δηλαδή το ηλιακό ρολόι χρησίμευε και ως ημερολόγιο. (Πάνου Ε. 2016 p.86-89,188, 189).

Με βάση το σχήμα της πλάκας υπήρχαν επίπεδα, κυλινδρικά, κωνικά και σφαιρικά ηλιακά ρολόγια. Με βάση τον προσανατολισμό της πλάκας υπήρχαν:

α) Ισημερινά ηλιακά ρολόγια, που είναι ο απλούστερος τύπος, στα οποία το επίπεδο της ωρολογόπλακας ήταν παράλληλο στο ισημερινό επίπεδο της Γης.

β) Οριζόντια, στα οποία το επίπεδο της ωρολογόπλακας ήταν οριζόντιο.

γ) Κατακόρυφα, όπου το επίπεδο της πλάκας ήταν κατακόρυφο. Αυτά τα ρολόγια τοποθετούνταν στους τοίχους των κτιρίων.

Σε όλα τα προαναφερθείσα είδη, ο στύλος ήταν παράλληλος με τον άξονα της Γης. (Rossi C.- Russo F.- Russo F. 2009 p. 29-31)

Ο πρώτος Έλληνας κατασκευαστής ηλιακών ρολογιών πιθανότατα να ήταν ο Αναξίμανδρος από τη Μίλητο (περ. 560 π.Χ.). Ο Πλίνιος, Ρωμαίος συγγραφέας (23-79 μ.Χ.) περιγράφει ότι αυτά τα όργανα κατασκευάστηκαν από τον Ανασιμένη στη Σπάρτη και από τον Φερεκύδη τον Σύριο (5ος αιώνας π.Χ.). Ο Δημόκριτος επίσης έγραψε μια πραγματεία για την κατασκευή ενός σφαιρικού ρολογιού από ένα κοίλο ημισφαίριο στο κέντρο του οποίου βρισκόταν ο στύλος. (Cesare Rossi- Flavio Russo- Ferruccio Russo 2009). Πολλοί ακόμα αρχαίοι Έλληνες Αστρονόμοι ασχολήθηκαν με τη μέτρηση του χρόνου και δημιούργησαν ηλιακά ρολόγια όπως ο Εύδοξος ο Κνίδιος (409-356 π.Χ.), ο Αρίσταρχος ο Σάμιος (310-250 π.Χ.), ο Απολλώνιος ο Περγαίος (261-191 ή 179 π.Χ.) κ.α. (Πάνου Ε. 2016 p.86-89, 190).

Στη διάρκεια του 3ου αιώνα π.Χ. η κατασκευή αυτών των οργάνων είχε σχεδόν τελειοποιηθεί και σε αυτήν εποχή εμφανίστηκαν τα πρώτα κωνικά ηλιακά ρολόγια. Σύμφωνα με τον Βιτρούβιο αλλά και με τον Εύτοκο (6ος αιώνας) η επινοήσή τους ανήκει στον Διονυσόδωρο της Κούνου, ο οποίος είχε λύσει το πρόβλημα της τομής της σφαίρας σε τμήματα δεδομένης αναλογίας. (Πάνου Ε. 2016 p.189, 190), (Rossi C.- Russo F.- Russo F. 2009 p. 29-31).

Στην ύστερη αρχαιότητα κατασκευάστηκαν πάρα πολλά ηλιακά ρολόγια στη μεσαιωνική λατινική δύση και μάλιστα σε χώρες που δεν έχουν ιδιαίτερη ηλιοφάνεια, όπως η Αγγλία. Αντίθετα στο Βυζάντιο και ειδικά στη Βυζαντινή Ελλάδα, όπου η ηλιοφάνεια επιτρέπει τη λειτουργία αυτών των οργάνων για σχεδόν ολόκληρο το έτος, έχουν καταγραφεί στο σύνολο έντεκα σταθερά ηλιακά ρολόγια, τα περισσότερα από τα οποία βρίσκονται σε Βυζαντινούς ναούς και είναι όλα κατακόρυφα. Ο αριθμός τους είναι μηδαμινός σε σχέση με τον αριθμό των σωζόμενων βυζαντινών ναών και μόνο δύο από αυτά είναι χωρίς αμφιβολία σύγχρονα των ναών, ενώ τα υπόλοιπα πιθανόν να έχουν χαραχθεί πάνω στους ναούς σε οποιαδήποτε εποχή. (Mary Lee Coulson 2000).

Ενδεχομένως τα ηλιακά ωρολόγια να έχουν κατασκευαστεί μόνο σε περιοχές που υπήρξαν Δυτικοί κατακτητές στην Ελλάδα κατά τον μεσαίωνα, προφανώς από τους ίδιους, καθώς κανένας από τους Βυζαντινούς ναούς της Κωνσταντινούπολης, της Θεσσαλονίκης, του Δεσποτάτου της Ηπείρου στην Άρτα ή του Μυστρά, όπου δεν έδρασαν Δυτικοί κατακτητές, δεν έχει ηλιακό ρολόι. Εξάλλου στη Δύση ήταν πολύ συνηθισμένο οι ναοί να είναι “στολισμένοι” με ηλιακά ρολόγια.

Ο λόγος για αυτό το φαινόμενο πιθανόν να πηγάζει από τη διαφορά της σημασίας που αποδίδεται στον χρόνο στην λατινική δύση και στην ελληνική ανατολή, δηλαδή από την όλη κοσμοθεωρία της ανατολικής ορθόδοξης εκκλησίας. Δεν αποκλείεται επίσης, να

αποφεύγονταν η μέτρηση του χρόνου με τη βοήθεια του Ήλιου, ενός εθνικού Θεού, ιδιαίτερα στον ιερό χώρο ενός ναού. Ενδεχομένως να ήταν όχι μόνο μη αναγκαία η τοποθέτηση ηλιακού ρολογιού σε ορθόδοξο ναό, αλλά και ασεβής πράξη, εξ' άλλου ο ναός θεωρούνταν η κατοικία του Θεού, όπου ο χρόνος είναι αιώνιος. (Mary Lee Coulson 2000)

1.2.β Φορητά Ηλιακά Ωρολόγια

Τα φορητά ηλιακά ωρολόγια ήταν κομψές κατασκευές , μικρού μεγέθους, συνήθως από μπρούτζο, κατάλληλες για να μεταφέρονται από τον ιδιοκτήτη τους και να συνοδεύουν τα ταξίδια του. Ο σχεδιασμός τους ήταν βασισμένος σε μαθηματικούς και αστρονομικούς υπολογισμούς, που σημαίνει ότι επρόκειτο για κάθε άλλο παρά απλές συσκευές. Οι διαθέσιμες πληροφορίες (εκτός από τα ίδια τα αντικείμενα που έχουν σωθεί) προέρχονται από τον Βιτρούβιο, ο οποίος τα κατατάσσει σε τρεις κατηγορίες:

α) τα «Viatoria Pensilia»,τα οποία πιθανότατα ήταν κρεμαστά ωρολόγια που έχουν κατασκευαστεί για ορισμένο γεωγραφικό πλάτος

β) τα «προς τα ιστορούμενα», κατηγορία που εμπεριέχει τα όργανα που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε κάποιο αριθμό γεωγραφικών πλατών διότι αποτελούνταν από περισσότερες της μιας πλάκας και εφευρέτης τους θεωρείται ο Παρμενίων (~280 π.Χ.)

γ) τα «προς παν κλίμα», όπου ανήκαν τα ρολόγια που λειτουργούσαν σε οποιοδήποτε γεωγραφικό πλάτος και με τις κατάλληλες ρυθμίσεις μπορούσαν να δείξουν την ώρα της ημέρας και τη διεύθυνση του μεσημβρινού. (Γούναρης Γ. 1978)

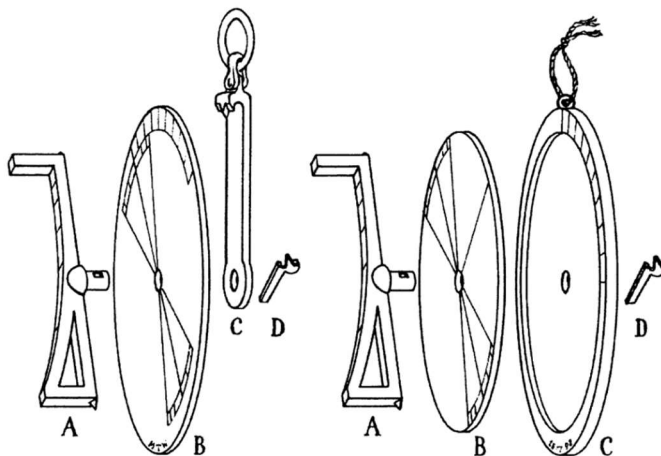
1.2.γ Βυζαντινά Φορητά Ωρολόγια

Από τα ελληνιστικά χρόνια δεν έχει διασωθεί κάποιο δείγμα αλλά έχουν βρεθεί 8 φορητά ρολόγια του τύπου «προς παν κλίμα» της ύστερης αρχαιότητας, από τα οποία τα 3 είναι ρωμαϊκά και τα 5 βυζαντινά και 1 βυζαντινό που μπορεί να καταταχθεί στον τύπο «προς τα ιστορούμενα», το ρολόι των Φιλίππων. Ο αριθμός αυτός είναι μεγάλος σε σύγκριση με τα ευρήματα άλλων οργάνων εν γένει, που υποδεικνύει την ευρεία χρήση τους από τους Ρωμαίους και τους Βυζαντινούς. (Wright M. T. 2000), (Γούναρης Γ. 1978)

1.2.γ.ι Επίπεδα Φορητά Ηλιακά Ωρολόγια «προς παν κλίμα»

Σε αυτόν τον τύπο ανήκουν το ρολόι από το Βαθύ της Σάμου που χρονολογείται μεταξύ 330 μ.Χ. και 620 μ.Χ. , της Αφροσιάδας (μετά το 328 μ.Χ.), της Μέμφιδος (4ος αιώνας), του Βρετανικού μουσείου (~500 μ.Χ.) και το ρολόι που φέρει στην μπροστά όψη το Βυζαντινό Ηλιακό Ρολόι/Ημερολόγιο (5ος αιώνας με αρχές 6ου). (Γούναρης Γ. 1978)

Υπήρχαν δύο υποκατηγορίες των εν λόγω αντικειμένων με μία μικρή διαφορά στην κατασκευή τους, αλλά με την ίδια αρχή λειτουργίας. Αποτελούνταν από ένα πτερύγιο (Α), έναν δίσκο (Β), έναν βραχίονα στην πρώτη υποκατηγορία ή έναν επιπλέον δίσκο στη δεύτερη (C) και από έναν πύρο (D) που συγκρατούσε τα τρία εξαρτήματα συνδεδεμένα, περνώντας από μία οπή στο κέντρο του δίσκου (Β).



Εικόνα 1: Εξαρτήματα φορητών ωρολογίων <<προς παν κλίμα>>

Πάνω στον δίσκο (την ωρολογόπλακα) ήταν χαραγμένες δύο διαφορετικές κλίμακες. Στην εξωτερική περιφέρεια υπήρχαν τα γεωγραφικά πλάτη σε σχήμα τεταρτοκυκλίου και εσωτερικότερα οι μηνιαίες κλίμακες, σύμφωνα με την απόκλιση του ήλιου, σε σχήματα κωνικών τομέων. Το πτερύγιο είχε διπλό ρόλο καθώς ενσωμάτωνε τον γνώμονα αλλά και την κλίμακα μέτρησης της ώρας. Ο βραχίονας στην πρώτη υποκατηγορία εκτός από τη χρήση του ως λαβή για την ανάρτηση του οργάνου κατά την μέτρηση, διέθετε και δείκτη για τη ρύθμιση

του γεωγραφικού πλάτους. Στην δεύτερη υποκατηγορία την ίδια λειτουργία είχε ο εξωτερικός δίσκος. (Wright M. T. 2000)

Για να γίνει η μέτρηση του χρόνου έπρεπε το όργανο να αναρτηθεί κατακόρυφα και να περιστραφεί γύρω από τον πύρο, ώστε ο δείκτης του βραχίονα να ευθυγραμμιστεί με την ένδειξη του γεωγραφικού πλάτους του τόπου. Στη συνέχεια το πτερύγιο έπρεπε να τοποθετηθεί στη θέση που αντιστοιχεί στον διανυόμενο μήνα και το ρολόι να περιστραφεί κατακόρυφα, έως ότου η σκιά του γνώμονα να πέσει πάνω στην εγχάρακτη κλίμακα των ορών του πτερυγίου.

Όλα τα ηλιακά ρολόγια έδειχναν τις «εποχιακές» ή «άνισες» ώρες, καθώς η χρονική διάρκεια από την ανατολή έως τη δύση του ηλίου διαιρούνταν σε 12 ίσα χρονικά διαστήματα και κάθε ένα από αυτά αντιστοιχούσε σε μία ώρα. Κατά συνέπεια η διάρκεια της ώρας ήταν διαφορετική για την κάθε μέρα.

Οι μετρήσεις του χρόνου με αυτά τα όργανα εμπεριείχαν ένα σφάλμα το οποίο εξαρτώνταν από την ώρα της ημέρας, από την απόκλιση του ήλιου δηλαδή από την εποχή, και τέλος από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Οι ενδείξεις ήταν ακριβείς στο μεσημέρι, στις ισημερίες και για γεωγραφικά πλάτη μικρότερα των 50°. Όσο μεγάλωνε η χρονική απόσταση από τα δύο πρώτα και αυξάνονταν τα γεωγραφικά πλάτη πάνω από 50° τόσο μεγάλωνε και το σφάλμα. Παρόλα αυτά λειτουργούσαν ικανοποιητικά για τα γεωγραφικά πλάτη γύρω από τη Μεσόγειο. (Wright M. T. 2000)



Εικόνα 2: Φορητό Ηλιακό Ρολόι Μέμφιδος

1.2.γ.ii Ρολόι των Φιλίππων («προς τα ιστορούμενα»)

Το ρολόι των Φιλίππων είναι ένα όργανο που ενώ διαφέρει σημαντικά από όλους τους γνωστούς τύπους ρολογιών που αναφέρει ο Βιτρούβιος, ωστόσο έχει και κοινά στοιχεία με αυτούς. Η βασικότερη διαφορά είναι το σφαιρικό σχήμα (σε ανοιχτή θέση), καθώς η επίπεδη ωρολογόπλακα έχει αντικατασταθεί από αρθρωτούς δακτυλίους που μπορούν να περιστρέφονται, ανοίγοντας και δημιουργώντας μία σφαίρα ή κλείνοντας καθιστώντας το όργανο επίπεδο. Έτσι οι κλίμακες που περιέχουν τα διάφορα γεωγραφικά πλάτη και οι κωνικοί τομείς με τις κλίμακες αποκλίσεων για το εκάστοτε γεωγραφικό πλάτος, οι οποίες περιέχονται στις πλάκες των επίπεδων ρολογιών, στο ρολόι των Φιλίππων έχουν χαραχθεί με έξυπνο τρόπο στους δακτυλίους.

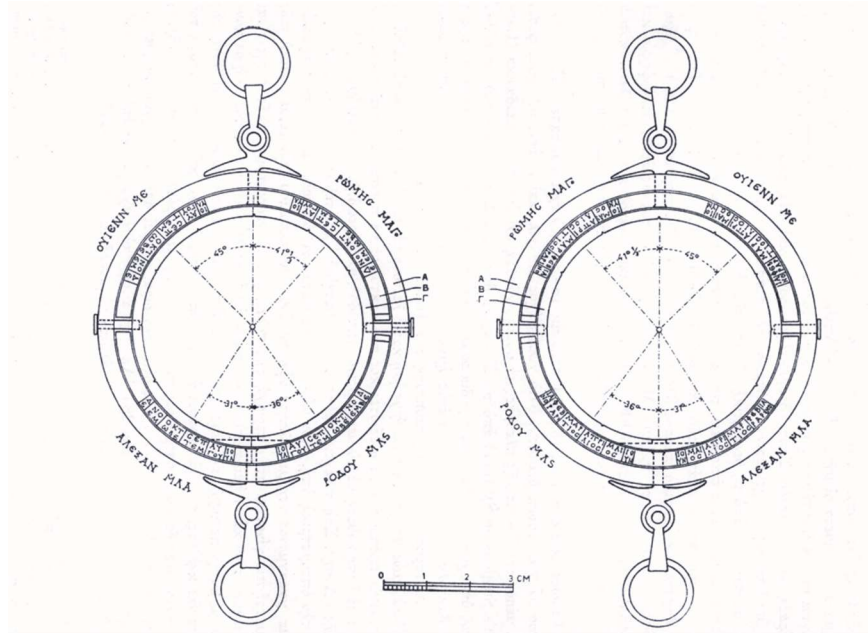
Οι δακτύλιοι που συνιστούν το όργανο είναι στο σύνολό τους τρεις. Ο εξωτερικός δεν έχει κάποια επιγραφή, αλλά αποτελεί το σύστημα στήριξης των δύο εσωτερικών και περιέχει τον κρίκο ανάρτησης του ρολογιού. Στον μεσαίο δακτύλιο που αποτελείται από δύο ξεχωριστούς ημιδακτυλίους, είναι χαραγμένες όλες οι κλίμακες. Οι ημιδακτύλιοι συγκρατούνται από δύο άξονες οι οποίοι επιτρέπουν την περιστροφή τους κατά 360° και βρίσκονται σε αντιδιαμετρικά σημεία (άνω και κάτω) του εξωτερικού δακτυλίου. (Γούναρης Γ. 1978)

Ο καθένας ημιδακτύλιος φέρει στην εξωτερική κυρτή επιφάνειά του τα ονόματα και τα γεωγραφικά πλάτη δύο πόλεων, ενώ οι μήνες χωρισμένοι σε δύο εξάμηνα είναι χαραγμένοι στις δύο κατά πάχος πλευρές των ημιδακτυλίων. Το τμήμα του τόξου που καταλαμβάνει κάθε εξάμηνο έχει άνοιγμα 47°, δηλαδή διπλάσιο περίπου της Εκλειπτικής (23° 27') και το μέσο του κάθε τόξου που χωρίζει το κάθε εξάμηνο σε τρεις μήνες, δίνει τις δύο ισημερίες (φθινοπωρινή και εαρινή). Η θέση χάραξης των μηνών είναι προσεκτικά υπολογισμένη, ώστε το τόξο που ορίζεται από το ζενίθ του οργάνου έως το μέσο του κάθε εξαμήνου να είναι ίσο με το γεωγραφικό πλάτος της κάθε πόλης που συνοδεύει η εκάστοτε χάραξη.

Συγκεκριμένα ο άνω ημιδακτύλιος φέρει τα ονόματα της Ουιέννης (πόλη της Γαλλίας στις όχθες του Ροδανού ποταμού) με γεωγραφικό πλάτος ΜΕ (45°) και της Ρώμης με γεωγραφικό πλάτος ΜΑΓ' (41° 1/3'). Ο κάτω ημιδακτύλιος φέρει τα ονόματα της Αλεξάνδρειας και της Ρόδου με γεωγραφικά πλάτη ΛΑ' (31°) και ΜΛΣ' (36°) αντίστοιχα. (Γούναρης Γ. 1978)

Ο εσωτερικός δακτύλιος συγκρατείται στον εξωτερικό από δύο άξονες που βρίσκονται αριστερά και δεξιά και επιτρέπουν την πλήρη περιστροφή του. Στην κοίλη (εσωτερική) επιφάνειά του και κατά μήκος της, υπάρχουν χαράξεις που τη διαιρούν σε 12 ίσα τμήματα 30°, ενώ η κάτω κατά πάχος πλευρά του δακτυλίου φέρει συνεχή χάραξη 360° (όπως το

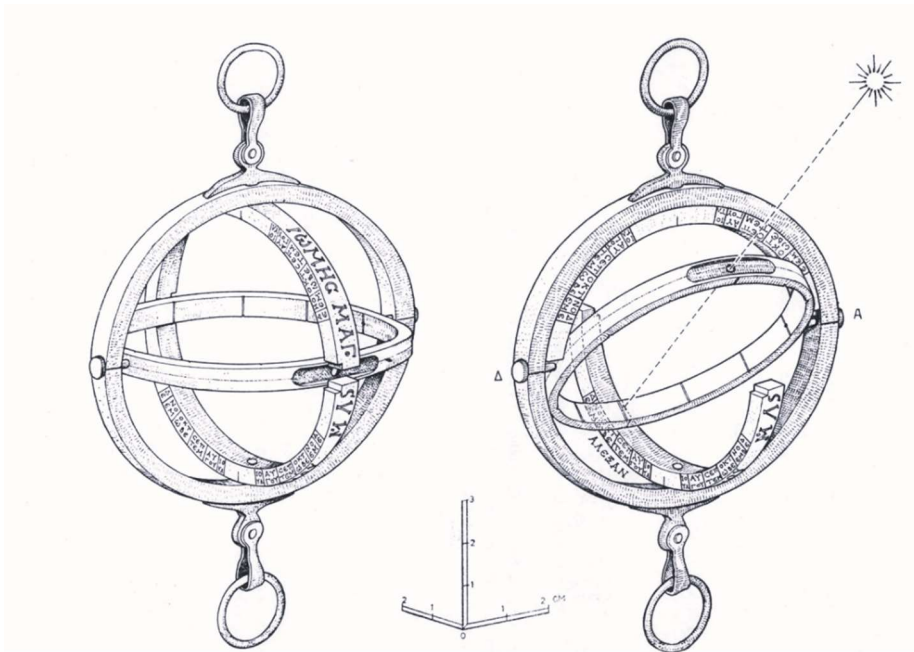
μοιρογνομόνιο). Τέλος στην επιφάνειά του υπάρχει μία οπτομετρική οπή για τη σκόπευση του ήλιου.



Εικόνα 3: Το ρολόι των Φιλίππων σε κατάσταση αποθήκευσης και οι δύο πλευρές του

Το μοναδικό στο είδος του ρολόι των Φιλίππων ανήκει στην κατηγορία «προς τα ιστορούμενα» διότι προοριζόταν να χρησιμοποιείται σε τέσσερα γεωγραφικά πλάτη. Εκτός από τη μέτρηση της ώρας στις τέσσερις πόλεις στις οποίες αναφέρεται (και σε τόπους με κοντινά σε αυτές γεωγραφικά πλάτη), μπορεί να προσδιορίσει το γεωγραφικό πλάτος ενός τόπου, το αζιμούθιο και το ύψος του ήλιου ή κάποιου άλλου αστέρα. (Γούναρης Γ. 1978)

Για να γίνει η μέτρηση της τοπικής ώρας πρέπει το όργανο να αναρτηθεί από τον κρίκο σε κατακόρυφη θέση και ο εξωτερικός δακτύλιος να προσανατολιστεί στη διεύθυνση ανατολής-δύσης του τόπου, δηλαδή κάθετα στο μεσημβρινό επίπεδο. Στη συνέχεια ο ημιδακτύλιος που φέρει το όνομα της πόλης (όπου γίνεται η μέτρηση) και τη χάραξη των μηνών, στρέφεται κατά 90° ως προς τον εξωτερικό. Έπειτα ο εσωτερικός δακτύλιος ανοίγεται και τοποθετείται πάνω στον μήνα που διανύεται. Έτσι μία φωτεινή κηλίδα σχηματίζεται από την ακτίνα φωτός που περνά μέσα από την οπτομετρική οπή. Η θέση της φωτεινής κηλίδας πάνω στην κοίλη επιφάνεια του εσωτερικού δακτυλίου, προσδιορίζει πόσες ώρες πριν ή μετά την μεσουράνηση έχουν περάσει. (Γούναρης Γ. 1978)



Εικόνα 4: Το Ρολόι των Φιλίππων με αναπτυγμένους τους δακτυλίους και σε λειτουργία

Μπορεί τα σταθερά ηλιακά ρολόγια να μην χρησιμοποιήθηκαν ευρέως από τους Βυζαντινούς και δη στους ναούς αλλά δεν συνέβη το ίδιο με τα φορητά. Τα μεταφερόμενα ηλιακά ωρολόγια που έχουν βρεθεί παγκοσμίως μέχρι σήμερα, αποτελούν μόλις το 5% με 6% του συνόλου των ηλιακών, με τα περισσότερα δείγματα να χρονολογούνται από την αναγέννηση και έκτοτε. Το γεγονός ότι υπάρχουν 6 βυζαντινά φορητά ηλιακά ρολόγια σε διάφορα μουσεία, υποδεικνύει την εκτεταμένη χρήση τους.

1.3.α Αστρολάβος

Ο αστρολάβος είναι ένα από τα πιο διακεκριμένα και διάσημα αστρονομικά όργανα που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του χρόνου και όχι μόνο. Είναι όργανο αρχαίας Ελληνικής κατασκευής (περ. 150 π.Χ.). Ως στοιχείο της Ελληνικής αστρονομικής παράδοσης πέρασε στους Βυζαντινούς, που είχαν την αποκλειστικότητά του μέχρι τον 7ο αιώνα, κατά τον οποίο υιοθετήθηκε από τον Αραβικό κόσμο, όπου εκτιμήθηκε πολύ, εξελίχθηκε και πέρασε στη Δύση μέσω της Ισπανομαυριτανικής παράδοσης. Μάλιστα τα Βυζαντινά συγγράμματα της Παλαιολόγειας περιόδου για τον αστρολάβο, έχουν εμφανείς επιδράσεις από τα αντίστοιχα

Αραβικά και αργότερα Περσικά, όπου παρουσιάζονται όροι της Αραβικής ορολογίας. (Νικολαΐδης Ε. 2000)

Δύο είναι οι τύποι του αστρολάβου, ο επίπεδος και ο τρισδιάστατος σφαιρικός. Οι μετρήσεις που μπορούσαν να πραγματοποιηθούν ήταν σχεδόν ίδιες και με τα δύο όργανα. Συγκεκριμένα μπορούσαν να προσδιοριστούν και να προβλεφθούν οι θέσεις του Ήλιου, της Σελήνης, των άστρων και των πλανητών, να μετρηθεί η ανύψωση του Ήλιου ή άλλου άστρου, να υπολογιστεί η ώρα (ισημερινή και εποχιακή) και η διάρκειας της ημέρας, καθώς και ο ωροσκόπος (διασταύρωση της εκλειπτικής και του ορίζοντα), η μεσουράνηση των άστρων, το μέγιστο μεσημβρινό ύψος των μοιρών του ζωδιακού και τέλος χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση διαφόρων αστρονομικών και τοπογραφικών προσδιορισμών. (Anne Tihon 2017 p. 194, 195), (Νικολαΐδης Ε. 2000).

Εκτός από την Αστρονομία και την Αστρολογία στις οποίες ήταν απαραίτητο όργανο, ο αστρολάβος χρησιμοποιήθηκε ευρέως στη Γεωδαισία, την Τοπογραφία και την Ναυσιπλοΐα, μέχρι και τον 17^ο αιώνα με την προσθήκη ενός ορθογωνιομέτρου σκιών καθώς με την εισαγωγή του τριγωνισμού στις αρχές του 16^{ου} αιώνα προέκυψε η ανάγκη μέτρησης των “οριζοντίων” γωνιών. (Anne Tihon 2017 p. 194, 195).

Σύμφωνα με τον Συνέσιο τον Κυρηναίο, φιλόσοφο, μαθητή της Υπατίας και αργότερα επίσκοπο (373-414), η αρχή κατασκευής του επίπεδου αστρολάβου αποδίδεται στον Ίππαρχο (190-120 π.Χ.), ο οποίος πρώτος δημιούργησε έναν χάρτη του ουρανού με απεικόνιση της σφαίρας σε επίπεδο (στερεογραφική προβολή), διατηρώντας τις γωνίες και τις αναλογίες των μηκών, γνωστή ως ανάλημμα. Ο Ίππαρχος κατάφερε να κατασκευάσει ένα επίπεδο όργανο με στερεογραφική προβολή του ουρανού, όπου τοποθέτησε δεκαέξι άστρα, για το οποίο όμως δεν υπάρχει ξεκάθαρη αναφορά στο όνομα αστρολάβος. Κάνοντας χρήση του οργάνου προσδιόρισε τις θέσεις των αστερών, χρησιμοποιώντας τον ουράνιο ισημερινό και τους κύριους παράλληλους κύκλους του και όχι τις εκλειπτικές συντεταγμένες. Με αυτόν τον τρόπο διευκόλυνε την επίλυση αστρονομικών προβλημάτων και εφάρμοσε το μαθηματικό υπόβαθρο της στερεογραφικής προβολής, που αργότερα χρησιμοποιήθηκε στον επίπεδο αστρολάβο. (Πάνου Ε. 2016 p. 69-75)

Ένα σύγγραμμα που περιγράφει τη διαδικασία της στερεογραφικής προβολής το οποίο σώθηκε μέσω Αραβικής και Λατινικής μετάφρασης, ανήκει στον Κλαύδιο Πτολεμαίο (περ. 150 μ.Χ.). Πρόκειται για το Γ' βιβλίο της Τετραβίβλου και η περιγραφή που αναφέρθηκε, βρίσκεται στο γ' κεφάλαιο με ονομασία *Άπλωσις επιφάνειας σφαίρας*. (Νικολαΐδης Ε. 2000). Ο Πτολεμαίος,

για τις αστρονομικές του παρατηρήσεις, κατασκεύασε σφαιρικό αστρολάβο. Η λεπτομερής περιγραφή της κατασκευής του και του τρόπου λειτουργίας του, βρίσκεται στο *Μαθηματική Σύναξις: Περί κατασκευής αστρολάβου οργάνου*, όπου γίνεται αναφορά και στον ίδιο τον Ίππαρχο.

Ο σφαιρικός τρισδιάστατος αστρολάβος αποτελούνταν από επτά ομόκεντρους αρθρωτούς δακτυλίους, κάποιοι από τους οποίους ήταν σταθεροί ενώ οι υπόλοιποι περιστρεφόμενοι και αναπαριστούσαν την ουράνια σφαίρα.

Ένας επίπεδος αστρολάβος αποτελούνταν από μία επίπεδη κυκλική θήκη, τη μήτρα, η οποία περιείχε τρεις ή τέσσερις δίσκους, τα τύμπανα. Σε κάθε τύμπανο ήταν χαραγμένη η στερεογραφική προβολή της ουράνιας σφαίρας, που περιλάμβανε τον ουράνιο ισημερινό και τους κύριους κύκλους (ορίζοντας, παράλληλοι, ισημερινός και μεσημβρινός) για ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος και ένα κλίμα (εξηγείται παρακάτω). Πάνω από τα τύμπανα ήταν τοποθετημένος ένας άλλος δίσκος, η αράχνη, προσεκτικά κομμένος σε σχέδια, ο οποίος έδειχνε την εκλειπτική με το ζωδιακό κύκλο και έναν μικρό αριθμό αστερών, ενώ επέτρεπε στο τύμπανο από κάτω του να διαβάζεται. Τα τύμπανα ήταν σταθερά ενώ η αράχνη ήταν κινητή και προσομοίωνε την ημερήσια κίνηση του ουρανού, δηλαδή την καθημερινή περιστροφή της ουράνιας σφαίρας. Όλα τα κομμάτια συγκρατούνταν μεταξύ τους με έναν πύρο μέσω μιας κεντρικής οπής και ο πύρος ασφαλιζόταν με μία σφήνα. Στο πίσω μέρος του οργάνου υπήρχε ένας κανόνας (κλισίμετρο ή διόπτρα) με δύο οπές, ο οποίος χρησίμευε για τη σκόπευση των άστρων ώστε να προσδιορίζεται η ώρα και να μετριέται το μήκος της ημέρας, από την ανατολή ως τη δύση του Ηλίου. Στην κορυφή της θήκης υπήρχε ένας δακτύλιος, ώστε ο αστρολάβος να μπορεί να κρεμαστεί ή να κρατηθεί με το χέρι στην κατάλληλη θέση, για να γίνουν οι μετρήσεις. (Anne Tihon 2017 p. 194, 195), (Νικολαΐδης Ε. 2000).

Οι Βυζαντινοί χρησιμοποιούσαν τον επίπεδο αστρολάβο, τόσο για τη μέτρηση του χρόνου όσο και για άλλους υπολογισμούς, αλλά σε κανένα κείμενο δεν φαίνεται ότι τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών είχαν συγκριθεί με πραγματικές παρατηρήσεις. Ναι μεν ήταν ενθουσιώδεις μελετητές της αστρονομίας, κυρίως κατά την Παλαιολόγεια εποχή, αλλά δεν ενδιαφέρθηκαν για τις αστρονομικές παρατηρήσεις, οπότε δεν κατασκεύασαν αστεροσκοπεία όπως συνέβη στον Ισλαμικό κόσμο.

Παρόλα αυτά ενδιαφέρθηκαν για το όργανο αυτό, τόσο ώστε υπάρχουν δεκαπέντε σωζόμενες βυζαντινές πραγματείες για τον επίπεδο αστρολάβο και μία για τον σφαιρικό. Μάλιστα το αρχαιότερο σύγγραμμα που διασώζεται για τον επίπεδο, είναι βυζαντινό και ανήκει στον

Ιωάννη τον Φιλόπονο (520 μ.Χ.), μιας και ο Πτολεμαίος περιγράφει τρισδιάστατο σφαιρικό. Μερικά από αυτά τα συγγράμματα ανήκουν σε ονομαστούς βυζαντινούς λόγιους όπως είναι ο Θεόδωρος Μελιτηνιώτης, ο Ισαάκ Αργυρός, ο Ιωάννης Καματηρός, κάτι που αποδεικνύει το μεγάλο ενδιαφέρον που υπήρχε. (Anne Tihon 2017 p. 194, 195), (Νικολαΐδης Ε. 2000).

Πρέπει να σημειωθεί ότι υπήρξαν και άλλοι συγγραφείς που ασχολήθηκαν με τον αστρολάβο πριν από τον Ιωάννη Φιλόπονο, όπως για παράδειγμα ο Πάππος (290-350 μ.Χ.) και ο Θέων ο Αλεξανδρεύς (335-405 μ.Χ.), οι οποίοι έγραψαν σχόλια για την κατασκευή του αστρολάβου πάνω στο έργο του Πτολεμαίου. Μάλιστα ο Θέων, θεωρείται συγγραφέας υπομνήματος που πιθανότατα αναφέρεται σε επίπεδο όργανο. (Ευαγγελία Πάνου 2016). Όμως το έργο του Ιωάννη Φιλόπονου είναι το πρώτο σύγγραμμα που διαθέτουμε με πλήρη και σαφή περιγραφή του επίπεδου αστρολάβου και της χρήσης του. Υπάρχουν και αρκετά αραβικά συγγράμματα που διαπραγματεύονται το θέμα. Ένα από αυτά που πρέπει να αναφερθεί είναι η πραγματεία του Πέρση Shams Bukhari του 14^{ου} αιώνα, η οποία προλογίζεται από τον ίδιο και αφιερώνεται στον Αυτοκράτορα Ανδρόνικο τον Β΄ (1282-1328 μ.Χ.), (Anne Tihon 2017 p 194, 195), (Νικολαΐδης Ε. 2000).

1.3.β Αστρολάβος της Brescia

Ο μόνος επίπεδος αστρολάβος βυζαντινής προέλευσης που διασώζεται, βρίσκεται στο Civici Musei d' Arte el Storia της Brescia απ' όπου πήρε το όνομά του. Πρόκειται για ένα όργανο που κατασκευάστηκε το 1062 για έναν άνδρα περσικής καταγωγής ονόματι Σέργιος, όπως πληροφορούμαστε από μία επιγραφή στο εξωτερικό μέρος της αράχνης του. (Νικολαΐδης Ε. 2000)

Η μήτρα του αστρολάβου της Brescia περιέχει τρία τύμπανα, στο καθένα από τα οποία έχει χαραχθεί η στερεογραφική προβολή της ουράνιας σφαίρας για τρεις διαφορετικούς τόπους: τη Ρόδο, το Βυζάντιο (Κωνσταντινούπολη) και τον Ελλήσποντο. Για κάθε μία τοποθεσία αναγράφεται το κλίμα, ο αριθμός των ωρών της μεγαλύτερης ημέρας και το γεωγραφικό πλάτος της. Όσον αφορά το κλίμα, σημειώνεται ότι οι αρχαίοι Έλληνες διαιρούσαν σε επτά κλίματα την οικουμένη, δηλαδή αυτό που θεωρούσαν κατοικημένο κόσμο και τον τοποθετούσαν μεταξύ δύο έρημων ζωνών, μία στο βορρά και μία στον νότο. Η Ρόδος ανήκε στο κλίμα τέσσερα και θεωρούνταν περιοχή υψίστης σημασίας, όπως εξηγεί ο Πτολεμαίος, λόγω των αστρονομικών παρατηρήσεων του Ίππαρχου εκεί, αλλά πιθανόν και για το ακέραιο γεωγραφικό πλάτος (36 μοίρες ακριβώς), που διευκολύνει τις μετρήσεις. Η

Κωνσταντινούπολη και ο Ελλήσποντος ανήκουν στο ίδιο κλίμα, το πέντε, λόγω της μικρής απόστασης μεταξύ τους. (Dalton O. M. 1926 p.138, 139)

Η αράχνη του βυζαντινού αστρολάβου φέρει κυκλικά χαραγμένες τις δώδεκα ονομασίες του ζωδιακού κύκλου και εξωτερικά την επιγραφή με το όνομα του κατόχου και τη χρονολογία κατασκευής, όπως ήδη έχει αναφερθεί. Στη "δαντελωτή" κινητή επιφάνεια της αράχνης, υπάρχουν δεκατέσσερα αστέρια, τα πιο φωτεινά των αστερισμών όπου ανήκουν, από τα οποία εννέα βρίσκονται στο βόρειο και πέντε στο νότιο ημισφαίριο, ενώ προέρχονται από τον κατάλογο του Πτολεμαίου στη *Μαθηματική Σύναξις*. Όλες οι πληροφορίες που αναγράφονται στο όργανο, είναι στην ελληνική γλώσσα και οι αριθμοί επίσης είναι ελληνικοί. Όσον αφορά την τεχνοτροπία είναι απλούστερη αυτής των αραβικών αστρολάβων, οι οποίοι είναι περισσότερο εξεζητημένοι. Τέλος σε μέγεθος είναι μικρότερος με διάμετρο 38 εκατοστά. (Dalton O. M. 1926 p.137, 138)



Εικόνα 5: Ο Αστρολάβος της Brescia (πιστό αντίγραφο)

2. Μηχανισμοί με γρανάζια

Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων ήταν ένα τεχνολογικό θαύμα που αποκάλυψε το επίπεδο της επιστημονικής γνώσης και της τεχνολογίας στα ελληνιστικά χρόνια. Η εκπληκτική αυτή κατασκευή μηχανοποιούσε τις επιστημονικές προβλέψεις. Μετά τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων το παλαιότερο αντίστοιχο εύρημα είναι το Βυζαντινό Ρολόι/Ημερολόγιο. Η ανακάλυψή του, αποτελεί την απόδειξη ότι η κατασκευή των μηχανισμών με γρανάζια συνεχίστηκε και στο Βυζάντιο.

2.1 Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων

Το 1900 κοντά στο νησί των Αντικυθήρων ανιχνεύθηκε τυχαίο το ναυάγιο ενός αρχαίου πλοίου. Μετά από πολύμηνη και επίπονη προσπάθεια για την ανέλκυση του φορτίου του πλοίου, αναδύθηκαν πολλά πολυτελή αντικείμενα όπως χάλκινα και μαρμάρινα αγάλματα, περίτεχνα ξύλινα έπιπλα με μπρούτζινες λεπτομέρειες, χρυσά κοσμήματα, αργυρά σκεύη και νομίσματα, γυάλινα αγγεία και πολλών ειδών κεραμικά σκεύη. Το σημαντικότερο εύρημα όμως, όπως αποδείχθηκε πολύ αργότερα, ήταν κάποιά σπασμένα τμήματα ωρολογιακών μηχανισμών με γρανάζια και ελληνικές επιγραφές. Ήταν τα θραύσματα του μηχανισμού των Αντικυθήρων. (Wright M. T. 2005)

Τα θραύσματα που περισυλλέχθηκαν βρίσκονται από τότε στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο και η μελέτη τους ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970 από τον Derek J. de Solla Price ο οποίος με την επιστημονική συνδρομή του Χαράλαμπου Καρακάλου, χρησιμοποίησε ακτίνες X και έτσι άρχισε να αναδύεται η πολύπλοκη σχέση των οδοντωτών τροχών που αποτελούσαν τον μηχανισμό. Η έρευνα συνεχίστηκε από τους Allan Bromley και Michael T. Wright τη δεκαετία του 1990 και οδήγησε σε διορθώσεις της ανακατασκευής του οργάνου. (Michael T. Wright 2005). Το 2005 η χρήση υψηλής τεχνολογίας τομογράφου ακτινών X, παρείχε πλήθος νέων στοιχείων που μελετήθηκαν επισταμένα από πολλούς ερευνητές, οι οποίοι μεταχειρίστηκαν ηλεκτρονικούς υπολογιστές ισχυρών επεξεργαστών και εξειδικευμένα προγράμματα, για να καταλήξουν σε μία πιο πλήρη ανακατασκευή του μηχανισμού και να εξηγήσουν τη χρήση του. (Αναστασίου Μ. 2014 p.10-41). Η έρευνα συνεχίζεται ακόμη και οδηγεί σε νέες ανακατασκευές και επιστημονικές ανακοινώσεις, που προσπαθούν να πλησιάσουν όσο το δυνατόν περισσότερο στον πρωτότυπο. Η πιο πρόσφατη από αυτές βρίσκεται στο επιστημονικό περιοδικό Scientific Reports και ανήκει στην ομάδα UCL Antikythera Research team, με ημερομηνία έκδοσης 22 Ιανουαρίου 2021.

Για να προσδιοριστεί η χρονολογία της κατασκευής του μηχανισμού, οι ειδικοί χρησιμοποίησαν διάφορες μεθόδους, ελέγχοντας όλα τα διαθέσιμα στοιχεία και κατέληξαν στο 150-100 π.Χ., αποτέλεσμα που συμβαδίζει με τη χρονολόγηση του ναυαγίου. Όσον αφορά τον τόπο προέλευσής του, οι έρευνες δεν έχουν καταλήξει σε επιβεβαιωμένο συμπέρασμα, αλλά συγκλίνουν στη Ρόδο, χωρίς να αποκλείονται και άλλες περιοχές όπως οι Συρακούσες η Κόρινθος ή η βορειοδυτική Ελλάδα.

Η εκπληκτική αυτή μηχανή αποτελούνταν από πολλά χάλκινα γρανάζια που συνδυάζονταν μεταξύ τους. Κάποια ήταν στερεωμένα σε άξονες που τους έδιναν κίνηση διαφορετικών ταχυτήτων και μετέφεραν την κίνηση σε άλλα και αυτά με τη σειρά τους θέτανε σε περιστροφή τα υπόλοιπα. Η ταχύτητα περιστροφής μετασχηματίζονταν και αντιστρέφονταν από το ένα γρανάζι στο άλλο καθώς αυτά είχαν διαφορετικό μέγεθος και αριθμό δοντιών. Η κίνηση των οδοντωτών τροχών μεταφέρονταν σε δείκτες που βρίσκονταν στην μπροστά και πίσω πλάκα του μηχανισμού. (Παπασπύρου Π. – Κριάρης Δ.- Στεργιάννη Ε. 2017)

Αυτό το πολύπλοκο σύστημα ήταν συναρμολογημένο μέσα σε μια ξύλινη θήκη διαστάσεων 33cm X18cm X 10cm που πιθανότατα έκλεινε με ξύλινες πόρτες. Στην εσωτερική πλευρά των πορτών ήταν προσαρτημένες μπρούτζινες επιφάνειες με ελληνικές πυκνογραμμένες επιγραφές. Η μπροστά και η πίσω πλάκα του μηχανισμού κατασκευασμένες από μπρούτζο, είχαν στην επιφάνειά τους κλίμακες και περιστρεφόμενους δείκτες που συνδέονταν με τα γρανάζια στο εσωτερικό της μηχανής και όταν έκλειναν οι πόρτες φαινόταν σαν ένα μικρό ξύλινο κουτί. Το όλο σύστημα έμπαινε σε λειτουργία με την περιστροφή ενός χειροκίνητου στροφείου που υπήρχε στη δεξιά πλευρά του μηχανισμού.

Στο κέντρο της μπροστά πλάκας υπήρχε μια διπλή κυκλική ομόκεντρη κλίμακα, που αποτελούνταν από την εξωτερική, όπου αναγραφόταν το αιγυπτιακό ημερολόγιο στην ελληνική γλώσσα και διαιρούταν σε 365 τμήματα, και την εσωτερική κλίμακα που απεικόνιζε τον ζωδιακό κύκλο και χωριζόταν σε 360 υποδιαιρέσεις, ενώ οι 12 ζωδιακοί αστερισμοί είχαν άλλες 30 υποδιαιρέσεις. (Μαγδαληνή Αναστασίου 2014). Στο κέντρο των κλιμάκων ήταν προσαρτημένοι 7 περιστρεφόμενοι δείκτες που κατέληγαν σε μικρές σφαίρες και καθώς γύριζαν γύρω από τις κλίμακες προσομοίωναν τις κινήσεις του Ήλιου <<χρυσούν σφαιρείον>>, της Σελήνης και των πέντε τότε γνωστών πλανητών, (Ερμή, Αφροδίτη, Άρη, Δία και Κρόνου), κατά τη φαινόμενη κίνησή τους στον ουρανό, στη διάρκεια ενός ηλιακού έτους.

Ο δείκτης της Σελήνης εκτελούσε διπλή περιστροφή και γύρω από την κυκλική κλίμακα προσομοιώνοντας την κίνηση της Σελήνης στον ουρανό και γύρω από τον εαυτό του φανερώνοντας τις φάσεις, καθώς η περιστροφή του ασπρόμαυρου σφαιριδίου έδειχνε την αύξηση και τη μείωση του σεληνιακού δίσκου. (Freeth T.- Higgon D.- Dacanalis A.- MacDonald L- Georgakopoulou M.- Wojcik A. 2021). Το στοιχείο που εξέπληξε περισσότερο τους σύγχρονους επιστήμονες ήταν η ίδια η κίνηση του δείκτη της Σελήνης που δεν απέδιδε μία απλή κίνηση, αλλά προσομοίωνε την πραγματική με τη βοήθεια πολλαπλών διορθώσεων μέσω των γραναζιών, ώστε να παρουσιάζεται με πολύ μεγάλη ακρίβεια και να ταυτίζεται με τη θεωρία του Ίπαρχου.

Πάνω στην μπροστά πλάκα εκτός από όλο το σύστημα με τους δείκτες ήταν χαραγμένο και ένα παράπηγμα, δηλαδή ένα αστρονομικό ημερολόγιο με αστρικά φαινόμενα που συμβαίνουν μία φορά στη διάρκεια του έτους και σε συγκεκριμένο χρόνο, οπότε και χρησιμοποιούταν για την οργάνωση πρακτικών δραστηριοτήτων, όπως η γεωργία και η ναυσιπλοΐα.

Η πίσω πλάκα του μηχανισμού ήταν ιδιαιτέρως πολύπλοκη και σε περιστρεφόμενους δείκτες και σε επιγραφές. Καλυπτόταν σχεδόν ολόκληρη από δύο μεγάλες σπείρες που αποτελούσαν τον κύκλο του Μέτωνα, (Αθηναίος αστρονόμος και μαθηματικός του 5^{ου} π.Χ. αιώνα), στο επάνω μέρος και τον κύκλο του Σάρου στο κάτω. Ο Μετωνικός κύκλος εναρμόνιζε τους σεληνιακούς μήνες (συνοδικούς) με το ηλιακό έτος, καθώς ένας συνοδικός μήνας διαρκεί 29,53 ημέρες, χωρίς κάποια αντιστοιχία με το ηλιακό έτος με αποτέλεσμα να προκαλείται μετακίνηση των σεληνιακών μηνών ως προς τις εποχές. Το πρόβλημα λύνεται με τον κύκλο του Μέτωνα που αντιστοιχεί 19 έτη με 235 σεληνιακούς μήνες, εξαιρώντας κάποιες μέρες από τους συνοδικούς, οι οποίες υπολογίζονται μαθηματικά. (Αναστασίου Μ. 2014 p.10-41).

Μέσα στον Μετωνικό κύκλο υπήρχε ο κύκλος του Καλλίππου (μαθηματικός του 4^{ου} π.Χ. αιώνα) και διόρθωνε τον Μετωνικό, αφαιρώντας μία ημέρα ανά 4 κύκλους, δηλαδή ανά 76 χρόνια για μεγαλύτερη ακρίβεια. Επίσης μέσα στον Μετωνικό υπήρχε μία κλίμακα (κύκλος) που έδειχνε τον χρόνο διεξαγωγής των αρχαίων ελληνικών αγώνων (Ολυμπιακοί, Νέμεα, Πύθεια, Ίσθμια κ.α.). Η ύπαρξη αυτού του κύκλου καθώς και του παραπήγματος στην μπροστά πλάκα, φανερώνει εκτός από την αστρονομική χρήση του μηχανισμού και τον κοινωνικό του χαρακτήρα, κάτι που ίσως εξέπληξε τους σύγχρονους επιστήμονες.

Ο κύκλος του Σάρου, που προέρχεται από τη βαβυλωνιακή αστρονομία και υιοθετήθηκε από την ελληνική, ο οποίος βρισκόταν στο κάτω μέρος της πίσω πλάκας, προέβλεπε τις ηλιακές και τις σεληνιακές εκλείψεις και αποτελούταν από μία περίοδο 223 σεληνιακών μηνών.

Γνωρίζοντας τον ακριβή χρόνο μιας ηλιακής ή σεληνιακής έκλειψης μπορούσαν να προβλεφθούν οι επόμενες αντίστοιχες εκλείψεις, εφόσον με το κλείσιμο του κύκλου (μετά από 223 συνοδικούς μήνες) ο Ήλιος η Γη και η Σελήνη επιστρέφουν στις ίδιες θέσεις και το φαινόμενο επαναλαμβάνεται. Μάλιστα πάνω σε αυτόν τον κύκλο είχαν χαραχθεί το γράμμα Η για τις ηλιακές και το Σ για τις σεληνιακές εκλείψεις στον χρόνο που προβλεπόταν. Επειδή ο αριθμός των ημερών στον κύκλο του Σάρου δεν ήταν ακέραιος, οι σεληνιακές εκλείψεις είναι μετατοπισμένες κατά 8 ώρες και οι ηλιακές που γίνονται σε συγκεκριμένα γεωγραφικά πλάτη, είναι μετατοπισμένες κατά 120 μοίρες δυτικά του τόπου όπου έγινε η προηγούμενη. Αυτήν ακριβώς τη διόρθωση παρουσίαζε ο κύκλος του Εξελιγμού, που βρισκόταν στο εσωτερικό της σπείρας του Σάρου, ενώ ακριβώς δίπλα στην εξωτερική δεξιά του τελευταίου υπήρχε επιγραφή, που φαίνεται να περιέγραφε διαφόρους τύπους εκλείψεων του κύκλου. (Αναστασίου Μ. 2014 p.10-41).

Στο κέντρο κάθε κύκλου που έχει περιγραφεί, ήταν προσαρτημένος ένας δείκτης, συνδεδεμένος με τα γρανάζια του εσωτερικού της μηχανής. Όταν ο μηχανισμός έμπαινε σε λειτουργία με την περιστροφή του μοχλού της δεξιάς πλευράς του, ο κάθε δείκτης περιστρεφόταν κατάλληλα, (με διαφορετική γωνιακή ταχύτητα), για να γνωστοποιεί τις ενδείξεις κάθε κύκλου στον χρήστη.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το όλο σύστημα ήταν συναρμολογημένο μέσα σε ένα ξύλινο κουτί και έκλεινε με δύο πόρτες, μία μπροστά και μία πίσω, οι οποίες φέραν στην εσωτερική τους πλευρά μπρούτζινες χαραγμένες επίπεδες πλάκες. Οι επιγραφές και στις δύο πόρτες ήταν εξαιρετικά πυκνογραμμένες και τα κείμενά τους σώζονται αποσπασματικά. Συγκεκριμένα στην μπροστά πλάκα σώζεται το 1/3 του κειμένου το οποίο φαίνεται να περιγράφει τις κινήσεις των πλανητών στην ουράνια σφαίρα. Στην πίσω πλάκα σώζεται το 1/4 του κειμένου, το οποίο περιγράφει τον ίδιο τον μηχανισμό, δηλαδή τα σφαιρίδια, τις σπείρες (κύκλους), ακόμα και τον μηχανισμό στήριξης των δεικτών. (Αναστασίου Μ. 2014 p.10-41).

Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων ήταν ένας αστρονομικός υπολογιστής, που μηχανοποιούσε τις προβλέψεις των επιστημονικών θεωριών, συνδυάζοντας κύκλους από την ελληνική και βαβυλωνιακή αστρονομία, εξαιρετική μηχανική και μαθηματικά. Είναι ένας πολιτιστικός θησαυρός που έχει καθηλώσει μελετητές πολλών κλάδων, καθώς χρησιμοποιούσε πρωτοποριακή τεχνολογία για να απεικονίζει και να προβλέπει την κίνηση του ουράνιου κόσμου. Υπολόγιζε με ακρίβεια τις θέσεις του Ήλιου, της Σελήνης και των πέντε τότε γνωστών πλανητών, έδειχνε τις φάσεις της Σελήνης, συντόνιζε το σεληνιακό ημερολόγιο με τα ηλιακά

έτη, προέβλεπε τις ηλιακές και τις σεληνιακές εκλείψεις και προσδιόριζε την ημερομηνία τέλεσης των αρχαίων ελληνικών αγώνων. Οι επιγραφές του εξηγούσαν τη λειτουργία του και περιέγραφαν την κίνηση των πλανητών, ενώ το παράπηγμά του βοηθούσε στην οργάνωση πρακτικών δραστηριοτήτων, όπως η γεωργία και η ναυσιπλοΐα.

Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων είναι βέβαιο ότι δεν ήταν η πρώτη και μοναδική τέτοια μηχανή, αλλά μάλλον ήταν το αποτέλεσμα μιας εξελικτικής πορείας πιο απλών και συνεχώς αναβαθμιζόμενων με περισσότερες λειτουργίες συσκευών. Υπάρχουν ιστορικές αναφορές που επικυρώνουν την ύπαρξη παρόμοιων επινοήσεων, με χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτήν του Κικέρωνα (106-43 π.Χ.), όπου περιγράφονται δύο τέτοιοι μηχανισμοί του Αρχιμήδη (287-212 π.Χ.) και ένας του Ποσειδωνίου του Ρόδιου (135-51 π.Χ.). Στη <<σφαίρα>> του Αρχιμήδη που είδε ο Κικέρωνας, παριστάνονταν με ακρίβεια οι κινήσεις του Ήλιου, της Σελήνης, των πέντε πλανητών καθώς και οι φάσεις και οι εκλείψεις της Σελήνης. (Αναστασίου Μ. 2014 p.10-41)

Το βέβαιο είναι ότι η ύπαρξη του μηχανισμού κατέρριψε την παγιωμένη άποψη ότι οι αρχαίοι Έλληνες δεν είχαν επιδείξει κάποιο ενδιαφέρον για τις μηχανικές κατασκευές, που επικρατούσε μεταξύ των μελετητών.



Εικόνα 6: Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων μπροστά όψη



Εικόνα 7: Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων πίσω όψη

2.2 Το Βυζαντινό Ηλιακό Ρολόι/Ημερολόγιο

Το Βυζαντινό Ηλιακό Ρολόι /Ημερολόγιο ήταν ο δεύτερος μηχανισμός με γρανάζια που βρέθηκε μετά από αυτόν των Αντικυθήρων, μόλις το 1983. Το πόσο σημαντικό ήταν αυτό το εύρημα έγινε αμέσως αντιληπτό λόγω των οδοντωτών τροχών που έφεραν τα τέσσερα θραύσματά του. Η μελέτη του ανατέθηκε από Μουσείο Επιστήμης του Λονδίνου στον Michael T. Wright με σκοπό την αναγνώριση και την ανακατασκευή του οργάνου.

Η πρώτη ενέργεια που έγινε από τον μελετητή, ήταν να επιβεβαιώσει ότι τα τέσσερα κομμάτια ανήκαν στο ίδιο αντικείμενο και να καταλήξει στην ασφαλή χρονολόγησή του. Πράγματι η

εξέταση με φασματομετρία ακτίνων Χ αποκάλυψε ότι η σύσταση και των τεσσάρων τμημάτων ήταν πανομοιότυπη και επρόκειτο για ορείχαλκο πιθανόν πρώιμης χρονολογίας. Όσον αφορά τον προσδιορισμό της ηλικίας του, έγινε με έμμεσο τρόπο χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες των ελληνικών επιγραφών του οργάνου, όπως τα ονόματα των 16 πόλεων και τοποθεσιών και των γεωγραφικών πλατών τους, τη χρήση του Ιουλιανού ημερολογίου καθώς και την εμφάνιση των ημερών της εβδομάδας, τοποθετώντας την κατασκευή του στον 5ο αιώνα ή στο πρώτο μισό του 6ου αιώνα μ.Χ.. Ο τόπος κατασκευής του από την άλλη δεν μπορεί να καθοριστεί, αλλά δεν έχει και πολύ σημασία όπως αναφέρει ο ίδιος ο μελετητής, τονίζοντας τη σπουδαιότητα του ίδιου του μηχανισμού, που αποτελεί την ισχυρή απόδειξη ότι η παράδοση των μηχανισμών με γρανάζια στον ελληνόφωνο κόσμο συνεχίστηκε και κατά τη βυζαντινή περίοδο. (Wright M. T. 2005)

Το Βυζαντινό Ηλιακό Ρολόι /Ημερολόγιο ήταν ένα σύνθετο όργανο, αν και απλούστερο του Μηχανισμού των Αντικυθήρων, που είχε κυλινδρικό σχήμα με επίπεδες βάσεις. Από αυτές η μία, η μπροστά, ήταν ο δίσκος ενός ηλιακού ωρολογίου και η πίσω ένας δίσκος που περιείχε ένα ηλιακό και ένα σεληνιακό ημερολόγιο, την ένδειξη της ημέρας του μήνα καθώς και τη φάση της Σελήνης.

Το κυλινδρικό κουτί έφερε μία κεντρική οπή απ' όπου περνούσε ένα περιστρεφόμενο καρφί που συνέδεε το όργανο με έναν βραχίονα, περνώντας μέσα από μία οπή που διέθετε ο τελευταίος. Ο βραχίονας χρησίμευε και για τη στήριξη του όλου συστήματος καθώς κατέληγε σε έναν κρίκο στο επάνω μέρος του, απ' όπου συγκρατούνταν στη σωστή θέση για τη μέτρηση της ώρας, (Michael T. Wright 2005), και για τη ρύθμιση του οργάνου, διαθέτοντας έναν δείκτη, που ο χρήστης έπρεπε να ευθυγραμμίσει με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου περιστρέφοντας τον δίσκο. (Παπασπύρου Π. – Κριάρης Δ.- Στεργιάννη Ε. 2017)

Το ηλιακό ρολόι της μπροστά επιφάνειας ανήκε σε μία κατηγορία τυπικών για την εποχή φορητών ηλιακών ρολογιών, που ο Βιτρούβιος αναφέρει ως «προς παν κλίμα», δηλαδή για κάθε γεωγραφικό πλάτος. Πάνω στον δίσκο ήταν χαραγμένες οι δύο απαραίτητες κλίμακες για τον προσδιορισμό της ώρας. Η πρώτη ήταν για τον συντονισμό του γεωγραφικού πλάτους του τόπου με την αντίστοιχη ένδειξη και βρισκόταν στην εξωτερική περιφέρεια του δίσκου, με σχήμα τεταρτοκυκλίου. Η δεύτερη ήταν μία μηνιαία κλίμακα για τη ρύθμιση της απόκλισης του Ήλιου για κάθε εποχή, που περιλάμβανε ομόκεντρες κωνικές τομές, λίγο πιο εσωτερικά στον δίσκο, η μία πάνω και η άλλη κάτω. Στις κωνικές τομές αναγράφονταν οι μήνες του Ιουλιανού ημερολογίου, από το Ιανουάριο έως τον Ιούνιο επάνω και από τον Ιούλιο έως τον

Δεκέμβριο κάτω. Στο ηλιακό ρολόι συμπεριλαμβανόταν και ένας πίνακας, επίσης σχήματος κωνικής τομής, όπου περιέχονταν τα ονόματα 16 πόλεων και τοποθεσιών, μαζί με τα γεωγραφικά τους πλάτη. (Παπασπύρου Π. – Κριάρης Δ.- Στεργιάννη Ε. 2017)

Ο γνώμονας, το εξάρτημα που έριχνε και δεχόταν τη σκιά του Ήλιου, ήταν προσαρτημένος στο κεντρικό καρφί του κυλινδρικού κουτιού, το οποίο καρφί, λειτουργούσε ως άξονας περιστροφής τόσο για το όργανο όσο και για τον γνώμονα.(Wright M.T. 2005)

Το στοιχείο που δεν αναμένεται να βρεθεί σε ένα ηλιακό ρολόι, ήταν αυτό που διαφοροποιούσε το όργανο από όλα τα υπόλοιπα γνωστά. Ήταν μία οπή πάνω στον δίσκο, που γύρω της ήταν χαραγμένες οι 7 κεφαλές των θεοτήτων που αντιπροσώπευαν τις ημέρες της εβδομάδας.(Michael T. Wright 2005). Συγκεκριμένα ο Ήλιος για την Κυριακή, η Σελήνη για τη Δευτέρα, ο Άρης για την Τρίτη, ο Ερμής για την Τετάρτη, ο Δίας για την Πέμπτη, η Αφροδίτη για την Παρασκευή και ο Κρόνος για το Σάββατο. (Παπασπύρου Π. – Κριάρης Δ.- Στεργιάννη Ε. 2017)

Σε αυτήν την οπή υπήρχε ένας δείκτης στερεωμένος σε άξονα στην εξωτερική επιφάνεια του δίσκου που έπρεπε να μετακινείται κατά ένα βήμα κάθε μέρα από τον χρήστη, δηλώνοντας την ημέρα. Ο άξονας επεκτεινόταν στο εσωτερικό της συσκευής, όπου υπήρχε ένα γρανάζι 7 δοντιών και μία καστανία (αναστολέας) επίσης 7 δοντιών. Με τη μετακίνηση του δείκτη κατά μία μέρα προς τα εμπρός, ο αναστολέας εμπόδιζε τον άξονα να γυρίσει προς τα πίσω. Το γρανάζι των 7 δοντιών ήταν συνδεδεμένο με άλλο γρανάζι και αυτό με τη σειρά του με άλλο και ούτω καθεξής. Κάποια από αυτά τα γρανάζια ήταν στερεωμένα σε άξονες οι οποίοι κατέληγαν σε δίσκους, που εμφανίζονταν στην άλλη εξωτερική βάση του οργάνου μέσω οπών.

Ο πρώτος δίσκος έφερε στην περιφέρειά του εγχάρακτο σύμβολο του Ήλιου και καθώς περιστρεφόταν γύρω από τον ζωδιακό κύκλο, παρουσίαζε την κίνηση του Ήλιου, ολοκληρώνοντας έναν κύκλο στη διάρκεια ενός έτους. Ο δεύτερος δίσκος αντίστοιχα, είχε το σύμβολο της Σελήνης και περιστρεφόμενος εμφάνιζε την κίνησή της στη διάρκεια του σεληνιακού μήνα. Γύρω από αυτούς τους δίσκους και πάνω στην εξωτερική επιφάνεια του οργάνου, υπήρχαν χαραγμένα τα ονόματα των συμβόλων του ζωδιακού κύκλου, γνωστοποιώντας τη θέση και του Ήλιου και της Σελήνης. (Wright M. T. 2005)

Από μία τρίτη κυκλική οπή που βρισκόταν στο κατώτερο μέρος της εξωτερικής όψης της συσκευής, εμφανίζονταν οι φάσεις της Σελήνης μέσω της αύξησης και της μείωσης ενός σεληνιακού δίσκου και ακριβώς δίπλα υπήρχε μια μικρή οπή, σχήματος ορθογωνίου, όπου

αναγραφόταν ο αριθμός της αντίστοιχης μέρας του μήνα. (Παπασπύρου Π. – Κριάρης Δ.- Στεργιάννη Ε. 2017)

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι μετακινώντας ο χρήστης τον δείκτη των ημερών της εβδομάδας, που βρισκόταν στην επιφάνεια του ηλιακού ρολογιού στη μία όψη του οργάνου, κατά ένα βήμα, έθετε σε κίνηση τα γρανάζια στο εσωτερικό του μηχανισμού, τα οποία κινούσαν τους δίσκους της άλλης όψης της συσκευής, παρουσιάζοντας την ημερομηνία, τη φάση της Σελήνης και τις κινήσεις του Ήλιου και της Σελήνης γύρω από τον ζωδιακό κύκλο. Η εφεύρεση αυτή δηλαδή, είχε δύο ξεχωριστές λειτουργίες: χρησιμοποιούνταν και σαν ηλιακό ρολόι για όλα τα γεωγραφικά πλάτη και σαν αυτόματο ημερολόγιο με γρανάζια.

Η ανακατασκευή του βυζαντινού οργάνου δεν θα μπορούσε να έχει υλοποιηθεί, χωρίς την πολύτιμη βοήθεια ενός πολύ μεταγενέστερου έργου του *Πλήρες Βιβλίο των Δυνατοτήτων και των Πιθανών Μεθόδων για την Κατασκευή του Αστrolάβου*. Η πραγματεία αυτή ανήκε σε μία από τις δεκάδες που έγραψε ο Al-Biruni (973-1048 μ.Χ.), ένας από τους σημαντικότερους επιστήμονες και λόγιους του Αραβο-Ισλαμικού πολιτισμού.(Wright M. T. 2005). Μέσα στο συγκεκριμένο έργο περιλαμβάνονται κεφάλαια για κωνικές τομές, λεπτομερείς οδηγίες για την κατασκευή του Αστrolάβου, για την κατασκευή ενός προηγμένου τύπου πυξίδας και ενός μηχανικού ημερολογίου που ο ίδιος αποκαλούσε <<Κουτί της Σελήνης>>. Η περιγραφή του τελευταίου περιέχει γρανάζια πανομοιότυπα με αυτά του βυζαντινού οργάνου, που συνδέονταν με αντίστοιχο τρόπο μεταξύ τους και έτσι συμπλήρωνε τα κενά της ανακατασκευής του Michael Wright.

Βεβαίως υπάρχουν και κάποιες διαφορές στη συσκευή που περιγράφεται από τον Al-Biruni και τα αναυρεθέντα τμήματα του Βυζαντινού Ημερολογίου. Πρωτίστως ο δείκτης των ημερών της εβδομάδας τοποθετούνταν στο κέντρο του ηλιακού δίσκου στην περιγραφή, ενώ στο ίδιο το όργανο βρισκόταν στην άκρη του δίσκου, μετατοπίζοντας και τα εσωτερικά γρανάζια. (Wright M. T. 2005)

Έπειτα οι δίσκοι του Ήλιου και της Σελήνης που παρουσίαζαν τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων, στην περίπτωση της περιγραφόμενης κατασκευής, διέθεταν περιστρεφόμενους δείκτες που παρουσίαζαν τις αντίστοιχες κινήσεις, ενώ στο τεχνούργημα οι ίδιοι οι δίσκοι ήταν περιστρεφόμενοι, με χαραγμένο σύμβολο του Ήλιου και της Σελήνης στην περιφέρεια, καταδεικνύοντας την αντίστοιχη κίνηση. Με αυτόν τρόπο δεν εμποδιζόταν η ελεύθερη περιστροφή του οργάνου από δείκτες που θα εξείχαν και θα χτυπούσαν στον βραχίονα και έτσι

με την περιστροφή μπορούσε να ταυτιστεί το γεωγραφικό πλάτος του τόπου με την ένδειξη του ηλιακού ωρολογίου της μιας όψης. (Wright M. T. 2005)

Τέλος από το γραπτό κείμενο λείπει η κασάνια του δείκτη, δηλαδή το εργαλείο του βυζαντινού οργάνου που ασφάλιζε τον άξονα του δείκτη των ημερών της εβδομάδας, καθώς ο δείκτης γύριζε κατά ένα βήμα κάθε μέρα, μπλοκάροντας την προς τα πίσω κίνησή του. Αυτό σημαίνει ότι στην περιγραφόμενη συσκευή μπορούσε να αναστραφεί η λειτουργία και γυρίζοντας τον δείκτη στον δίσκο του Ήλιου, (που άλλωστε δεν υπήρχε στο όργανο), να εμφανίζεται η φάση της Σελήνης μιας συγκεκριμένης μέρας. (Παπασπύρου Π. – Κριάρης Δ.- Στεργιάννη Ε. 2017)

Μία παρόμοια διάταξη μουσουλμανικής καταγωγής, κατασκευασμένη από τον Muhammad Ibn Abi Bark, υπάρχει στο Μουσείο Ιστορίας των Επιστημών της Οξφόρδης. Πρόκειται για τον Αραβικό Αστρολάβο/Ημερολόγιο, χρονολογείται το 1221/22 μ.Χ., δηλαδή περίπου 6 αιώνες μετά το Βυζαντινό Ηλιακό Ρολόι/Ημερολόγιο και είναι ο παλαιότερος μηχανισμός με γρανάζια που σώζεται ολόκληρος. Το αντίστοιχο δυτικό όργανο, αγνώστου κατασκευαστή που χρονολογείται περίπου το 1300 μ.Χ., είναι ο Γαλλικός Αστρολάβος και εκτίθεται στο Μουσείο Επιστημών του Λονδίνου.

Η κατασκευή όλων των σεληνο-ηλιακών ημερολογίων με γρανάζια, υπακούει στους ίδιους μαθηματικούς κανόνες με τον Μηχανισμό των Αντικυθήρων. Χρησιμοποιούνται τα ίδια κινηματικά αστρονομικά χαρακτηριστικά, που καθορίζονται από τον κύκλο του Μέτωνα (εναρμόνιση σεληνιακού μήνα με το ηλιακό έτος) και αποτελούν τον μαθηματικό πυρήνα αυτών των οργάνων. (Αναστασίου Μ. 2014 p. 10-41) Συνεπώς μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα ότι οι ρίζες της κατασκευής των μηχανισμών με γρανάζια, βρίσκονται στην Αρχαία Ελλάδα, η παράδοση συνεχίζεται στο Βυζάντιο, απ' όπου περνά στον Αραβο-Ισλαμικό κόσμο και καταλήγει να χρησιμοποιείται στη Δύση όπου η τεχνολογία των οδοντωτών τροχών αποτελεί τη βάση για τους μετέπειτα ωρολογιακούς μηχανισμούς.



Εικόνα 8: Βυζαντινό Ρολόι/Ημερολόγιο μπροστά όψη



Εικόνα 9: Βυζαντινό Ρολόι/Ημερολόγιο πίσω όψη

3. Αυτόματα

Αυτόματα θεωρούνται οι μηχανές που λειτουργούν και κινούνται από μόνες τους, χωρίς την παρεμβολή ανθρώπινης δραστηριότητας, εκμεταλλευόμενες τις ιδιότητες του ατμού, της υγρής και της αέριας ύλης. Οι πρώτες αυτόματες μηχανές στην ιστορία της ανθρωπότητας, πριν την εφεύρεση του ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου, αναφέρονται στα έργα αρχαίων Ελλήνων μηχανικών.

Στον αρχαίο ελληνικό κόσμο υπήρχαν κάποια ιδρύματα, τα οποία δραστηριοποιούνταν στον χώρο της επιστήμης και της τεχνολογίας, προωθώντας τη γνώση. Λειτουργούσαν σαν Πανεπιστήμια με μεγάλο κύρος και συντηρούνταν μέσω διδάκτρων. Τα πιο ξακουστά ιδρύματα από αυτά ήταν η Ακαδημία του Πλάτωνα (387 π.Χ.), το Λύκειο του Αριστοτέλη (323 π.Χ.) και η Βιβλιοθήκη της Αλεξάνδρειας (300 π.Χ.). Τα δύο πρώτα ασχολούνταν περισσότερο με τη φιλοσοφία και με όλους τους κλάδους της επιστήμης σε θεωρητικό επίπεδο, ενώ η Σχολή της Αλεξάνδρειας λειτουργούσε ως ερευνητικό εργαστήριο και εκπαιδεύει νέους μηχανικούς, στους τομείς των εφαρμοσμένων τεχνικών επιστημών. Από αυτή τη Σχολή αναδύθηκαν τρεις σημαντικότεροι μηχανικοί με πλούσιο έργο, οι οποίοι χρησιμοποίησαν τα μαθηματικά και τη φυσική ως εργαλείο για τα μηχανικά σχέδια και την κατασκευή των εφευρέσεών τους. Πρόκειται για τους Κτησίβιο τον Αλεξανδρεύς, Φίλωνα τον Βυζάντιο και τον Ήρωνα τον Αλεξανδρεύς. (Κ. Ρ. Valavanis-G. J. Vachtsevanos-K. J. Antsaklis 2007)

Η πρώτη αυτόματη μηχανή ωστόσο, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε το 425 π.Χ. εκατό και πλέον χρόνια πριν την ίδρυση της Βιβλιοθήκης της Αλεξάνδρειας, από τον Αρχύτα τον Ταραντινό, ο οποίος εκτός από μηχανικός ήταν και σπουδαίος μαθηματικός (επινόησε τον αριθμό 1) και αστρονόμος. Ο Αρχύτας δημιούργησε την πρώτη πτητική μηχανή, ένα περιστέρι που μπορούσε να απογειωθεί και να πετάξει κοντά στα 200 μέτρα, κουνώντας τα φτερά του και χρησιμοποιώντας ενέργεια από έναν μηχανισμό στο εσωτερικό του. (Κ. Ρ. Valavanis-G. J. Vachtsevanos-K. J. Antsaklis 2007)

Το σύστημα ελέγχου ανάδρασης πρωτοεμφανίστηκε στο έργο του Κτησίβιου του Αλεξανδρινού (περίπου 300-230 π.Χ.), όπου παρουσίαζε πνευματικές και υδραυλικές διατάξεις, για τις οποίες πληροφορούμαστε από άλλους συγγραφείς και μηχανικούς, κυρίως από τον Βιτρούβιο, τον Φίλωνα τον Βυζάντιο και τον Ήρωνα τον Αλεξανδρεύς, καθώς το έργο του δεν έχει διασωθεί. (Κ. Ρ. Valavanis-G. J. Vachtsevanos-K. J. Antsaklis 2007)

Ο Φίλων ο Βυζάντιος (περίπου 250 π.Χ.) με το έργο του *Μηχανική Σύναξις* που αποτελούνταν από εννέα βιβλία διαφορετικών θεματικών ενοτήτων, δρομολόγησε το πρόγραμμα σπουδών της Σχολής της Αλεξάνδρειας, καθορίζοντας τα μαθήματα και τους τομείς των εφαρμοσμένων τεχνικών επιστημών που διδάσκονταν εκεί. Από αυτά τα βιβλία έχει διασωθεί μόνο ένα το *Πνευματικά* μέσω αραβικής μετάφρασης, όπου περιέχεται πληθώρα πνευματικών και υδραυλικών κατασκευών, όπως συστήματα ελέγχου στάθμης υγρού, σιφόνια, υδραυλικές αντλίες, μηχανισμοί με πουλιά που κελαηδούν, αυτόματοι νιπτήρες και αυτοκίνητες μηχανές. (Καλλιγερόπουλος Δ. 2005)

Το έργο του Ήρωνα του Αλεξανδρινού (1ος π.Χ.-1ος μ.Χ. αιώνας) από την άλλη, έχει διασωθεί σχεδόν ολόκληρο μέσω αντιγραφών και μεταφράσεων από μεταγενέστερους Έλληνες, Ρωμαίους, Βυζαντινούς και Άραβες μηχανικούς και χρησιμοποιούνταν ως οδηγός κατασκευής μηχανισμών. 80 διαφορετικές πνευματικές και υδραυλικές μηχανές παρουσιάζονται στο βιβλίο του *Πνευματικά*, με μεγάλη ποικιλία από σιφόνια, μηχανές ελέγχου ροής, αυτόματα σιντριβάνια, μέχρι συσκευές που εκμεταλλεύονται την πίεση του αέρα και του ατμού για να μετακινούνται ή να αποδίδουν κελάηδημα πουλιών. (Καλλιγερόπουλος Δ. 2005)

Σε ένα άλλο έργο του το *Αυτοματοποιητική*, ασχολήθηκε με τη δημιουργία αυτόματων μηχανικών διατάξεων που μπορούσαν να εκτελέσουν αλληλουχία προγραμματισμένων κινήσεων. Στο ίδιο σύγγραμμα περιγράφεται η κατασκευή δύο τύπων Αυτόματων Θεάτρων, στα οποία οι προκαθορισμένες κινήσεις γίνονταν μέσω τριών διαφορετικών νημάτων που περιελίσσονταν κατάλληλα γύρω από άξονα που μετέδιδε την κίνηση από ένα μολύβδινο

βαρίδιο το οποίο έπεφτε μέσα σε κλεψύδρα. Από αυτούς τους τύπους, στο σταθερό (στάτον) Θέατρο, παρουσιαζόταν ολόκληρη θεατρική παράσταση από κινούμενες αυτόματες μορφές και οι πόρτες άνοιγαν και έκλειναν επίσης αυτόματα, ενώ το κινητό (υπάγον), ήταν ικανό να κινείται στο σύνολό του και να μεταδίδει πολύπλοκες κινήσεις στις φιγούρες που περιλάμβανε. (Καλλιγερόπουλος Δ. 2005)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικά, κάποιες από αυτές τις θαυμαστές μηχανές των τριών εξαιρετών Αλεξανδρινών μηχανικών, οι οποίοι επινόησαν σύνθετα πνευματικά, υδραυλικά και αυτόματα συστήματα, αφήνοντας μία σημαντική παρακαταθήκη στην ανθρωπότητα.

3.1 Το Υδραυλικό Ρολόι του Κτησίβιου

Το πιο διάσημο κατασκεύασμα με μηχανισμό ελέγχου ανάδρασης του Κτησίβιου, ήταν το Υδραυλικό του Ρολόι. Η διάρκεια της ώρας δεν ήταν σταθερή, όχι μόνο για τους αρχαίους Έλληνες αλλά και για όλους τους αρχαίους πολιτισμούς και αυτό γιατί οριζόταν ως το 1/12 του χρόνου μεταξύ της ανατολής και της δύσης του Ήλιου για την ημέρα και το 1/12 του χρόνου μεταξύ της δύσης και της ανατολής του Ήλιου για τη νύχτα. Αυτό σημαίνει ότι το κάθε εικοσιτετράωρο του έτους, είχε διαφορετικής διάρκειας ώρες, το οποίο δημιουργούσε πρόβλημα στη μέτρηση της ώρας. Το πρόβλημα παρακάμφθηκε από την έξοχη αυτή συσκευή του μηχανικού, η οποία μπορούσε να λειτουργεί ακατάπαυστα χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, με μόνη προϋπόθεση να τροφοδοτούνταν συνεχώς με νερό από μία πηγή. (Rossi C.- Russo F.- Russo F. 2009 p.36-39).

Αποτελούνταν από τρεις μικρές δεξαμενές σε διαφορετικά ύψη. Η ψηλότερη παρέμενε συνεχώς γεμάτη από το τρεχούμενο νερό της πηγής και τροφοδοτούσε την ενδιάμεση, που αποτελούσε έναν ελεγκτή σταθερής στάθμης, καθώς διέθετε βαλβίδα πάνω σε έναν πλωτήρα που διέκοπτε τη ροή του νερού. Το χαμηλότερο δοχείο γέμιζε σιγά σιγά από το ενδιάμεσο με σταθερή παροχή νερού, όπου υπήρχε ακόμη ένας πλωτήρας, ο οποίος ήταν συνδεδεμένος με ράβδο που κατέληγε σε ένα αγαλματίδιο με δείκτη. Καθώς ανέβαινε η στάθμη του νερού, ανασηκωνόταν και τη ράβδο, ο δείκτης υποδείκνυε την ώρα του εικοσιτετράωρου σε ένα περιστρεφόμενο τύμπανο που είχε χαραγμένα τα διαγράμματα των ωρών της ημέρας και της νύχτας για κάθε μήνα χωριστά, ανάλογα με την ημερομηνία. Στο τέλος του εικοσιτετράωρου το τελευταίο δοχείο άδειαζε πολύ γρήγορα, καθώς η στάθμη του νερού ξεπερνούσε ένα ενσωματωμένο σιφώνι και η κάθοδος του πλωτήρα ενεργοποιούσε έναν μηχανισμό μετάδοσης

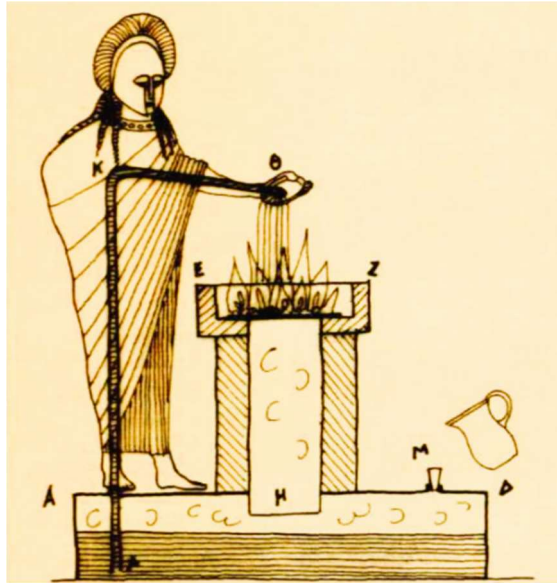
κίνησης που περιστρεφε κατά μία θέση έναν οδοντωτό τροχό 365 δοντιών (ένα για κάθε μέρα του έτους), ο οποίος περιστρεφε το τύμπανο κατά το $1/365$ της περιφέρειάς του και ο δείκτης έδειχνε πλέον τη διάρκεια των ωρών του επόμενου εικοσιτετράωρου. (Rossi C.- Russo F.- Russo F. 2009 p.36-39).

Αυτή η συσκευή μετρούσε το χρόνο με μεγάλη ακρίβεια και ήταν τόσο επιτυχημένη που χρησιμοποιούνταν ακόμη το 1200 μ.Χ. στη Βαγδάτη, όταν οι Μογγόλοι κατέκτησαν την πόλη. Εκτός από την ευφυή διάταξη των δεξαμενών με τους πλωτήρες, το αξιοσημείωτο στοιχείο ήταν ότι ο μηχανισμός διέθετε σύστημα ανάδρασης που επέτρεπε την περιστροφή του οδοντωτού τροχού και κατ' επέκταση του τυμπάνου, μόνο κατά την γρήγορη κάθοδο του πλωτήρα της κάτω δεξαμενής και όχι κατά την άνοδο, ενώ ο ίδιος πλωτήρας λειτουργούσε τόσο σαν αισθητήρας, όσο και σαν ενεργοποιητής. (Κ. Ρ. Valavanis-G. J. Vachtsevanos-K. J. Antsaklis 2007)

3.2 Αυτόματος βωμός του Ήρωνα

Ο Ήρων κατασκεύασε έναν βωμό, δίπλα στον οποίο υπήρχε ένα άγαλμα. Κατά τη διάρκεια των τελετών οι ιερείς ανάβαν τον βωμό και μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος, το άγαλμα έριχνε σπονδή στη φωτιά και την έσβηνε. Η αρχή λειτουργίας του αυτόματου βωμού είναι απλή και βασίζεται στη διαστολή του θερμαινόμενου αέρα.

Στο κάτω μέρος του βωμού υπήρχε μία δεξαμενή με νερό. Μέσα από το άγαλμα περνούσε ένας σωλήνας, που η μία άκρη του ήταν στο χέρι του αγάλματος ενώ η άλλη κατέληγε μέσα στη δεξαμενή. Πάνω από την επιφάνεια του νερού και σε όλο το υπόλοιπο εσωτερικό τμήμα του βωμού μέχρι το επίπυρο, (η περιοχή όπου άναβε η φωτιά), ήταν εγκλωβισμένος αέρας ο οποίος θερμαινόταν από τη φωτιά και διαστελλόταν, ασκώντας πίεση στο νερό που ανέβαινε στον σωλήνα, έπεφτε στη φωτιά και την έσβηνε. (Καλλιγερόπουλος Δ. 2005)



Εικόνα 10: Αυτόματος Βομός του Ήρωνα

3.3 Αυτόματος νιπτήρας του Φίλωνα

Ο νιπτήρας αυτός αποτελείται από μία βρύση σε σχήμα κεφαλιού πουλιού. Ακριβώς από πάνω της υπάρχει ένα χέρι το οποίο στηρίζει μια ελαφρόπετρα και ξεπροβάλλει από το εσωτερικό της συσκευής. Όταν αφαιρεθεί η ελαφρόπετρα το χέρι μαζεύεται και κρύβεται πίσω από δύο μικρές πύλες που κλείνουν, ενώ από τη βρύση πέφτει αρχικά μικρή ποσότητα νερού που στη συνέχεια αυξάνεται, ώστε να μπορεί κάποιος να πλυθεί. Αφού σταματήσει η ροή, το χέρι ξεπροβάλλει, από τις πύλες που ανοίγουν ξανά, με άλλη ελαφρόπετρα πάνω του, για να μπορεί να επαναληφθεί η διαδικασία.

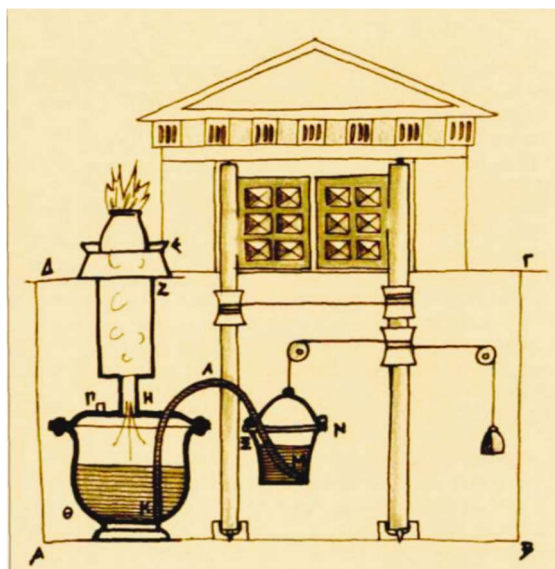
Όσον αφορά τη λειτουργία του αυτόματου νιπτήρα ο κατασκευαστής του αναφέρει ότι το χέρι είναι συνδεδεμένο με ράβδο, η οποία φέρει αντίβαρο. Όταν απομακρύνεται η ελαφρόπετρα, το αντίβαρο τραβά προς τα πίσω τη ράβδο και κλείνει τις πύλες. Από μία βάνα που ανοίγει πέφτει νερό σε μία κουτάλα και αυτή το αδειάζει σε ένα δοχείο από το οποίο ξεκινούν δύο σωλήνες που καταλήγουν στη βρύση. Ο ένας σωλήνας είναι στενός και κοντός και απελευθερώνει τη μικρή ποσότητα νερού, ενώ ο άλλος είναι πιο μακρύς και πλατύς με μεγαλύτερη παροχή για την κανονική ροή. Κατά την επαναφορά της η κουτάλα αποδεσμεύει την επόμενη ελαφρόπετρα που πέφτει στο χέρι και εμφανίζεται ξανά από τις πύλες που ανοίγουν. (Καλλιγερόπουλος Δ. 2005)

3.4 Αυτόματες πύλες ναού του Ήρωνα

Η πιο γνωστή κατασκευή του Ήρωνα πιθανόν να είναι ο μηχανισμός που άνοιγε και έκλεινε τις πύλες ναού. Όταν άναβε η φωτιά στο βωμό που βρισκόταν δίπλα στον ναό, οι θύρες άνοιγαν αυτόματα, ενώ μετά τη θυσία που έσβηνε η φωτιά, οι πόρτες έκλειναν επίσης αυτόματα. Η λειτουργία αυτής της κατασκευής βασίζεται στη διαστολή του θερμαινόμενου αέρα.

Κάτω από τον βωμό υπογείως υπήρχε δεξαμενή με νερό και εγκλωβισμένος αέρας κάλυπτε το χώρο πάνω από την επιφάνεια του νερού μέχρι το επίπυρο. Ένας σωλήνας ήταν προσαρμοσμένος μέσα στη δεξαμενή και κατέληγε σε ένα κινητό δοχείο. Το τελευταίο συνδεόταν με σκοινιά που ήταν τυλιγμένα γύρω από κολόνες που μπορούσαν να περιστραφούν, οι οποίες ήταν προσαρτημένες στους μεντεσέδες των πυλών. Στο κάτω μέρος των κολόνων είχαν περιελιχθεί άλλα σκοινιά που περνούσαν από τροχαλία και κατέληγαν σε ένα αντίβαρο.

Όταν άναβε η φωτιά στον βωμό, θέρμαινε τον αέρα από κάτω της που διαστελλόταν και με την αύξηση της πίεσης προωθούσε το νερό από τη δεξαμενή στο κινητό δοχείο, το οποίο βάραινε και κινούνταν προς τα κάτω ξετυλίγοντας τα σκοινιά. Έτσι οι πύλες άνοιγαν. Όταν έσβηνε η φωτιά, ο αέρας συστελλόταν, η πίεση μειωνόταν και το νερό από το κινητό δοχείο ξαναγυρνούσε στη δεξαμενή. Μόλις το αντίβαρο ξεπερνούσε σε βάρος το νερό του κινητού δοχείου, έπεφτε προς τα κάτω γυρίζοντας τις κολόνες προς την αντίθετη φορά κλείνοντας τις πόρτες. (Rossi C.- Russo F.- Russo F. 2009 p.270-273).



Εικόνα 11: Αυτόματες πύλες ναού του Ήρωνα

3.5 Ανθρώπινες Αυτόματες Φιγούρες- Φιγούρες του Ήρωνα

Ο Ήρων στο έργο του *Αυτοματοποιητική* περιγράφει την κατασκευή αρχαίων ανθρώπινων φιγούρων που εκτελούσαν πολύπλοκες προγραμματισμένες κινήσεις. Αυτές οι κατασκευές πρέπει να ήταν οι πρωταγωνιστές στα Αυτόματα Θέατρα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ο πρώτος που ασχολήθηκε με το θέμα ήταν ο Φίλων ο Βυζάντιος. Το σύγγραμμά του *Αυτοματοποιητική, η Μελέτη και η Κατασκευή των Αυτόματων Θεάτρων*, αποτελούσε ένα από τα εννέα βιβλία που διδάσκονταν οι σπουδαστές της Βιβλιοθήκης της Αλεξάνδρειας και δυστυχώς δεν έχει διασωθεί. (Δημήτριος Καλλιγερόπουλος 2005)

Η επινόηση που περιγράφει ο Ήρων, ανακατασκευάστηκε στο Πανεπιστήμιο του Sheffield του Ηνωμένου Βασιλείου και οι βασικές αρχές του είναι μάλλον απλές. Ο μηχανισμός που προκαλούσε τις κινήσεις ήταν ένα βαρίδιο συνδεδεμένο με σκοινιά, τα οποία ήταν τυλιγμένα με διαφορετικό βήμα και διαφορετικές κατευθύνσεις περιελίξεων, γύρω από κυλινδρικούς άξονες τροχών. Πέφτοντας το βαρίδιο τραβούσε τα σκοινιά και οι κύλινδροι περιστρέφονταν με τρόπο που καθοριζόταν από την αλληλουχία των περιελίξεων, οι οποίες έλεγχαν τις προγραμματισμένες κινήσεις της φιγούρας. Στους κυλίνδρους μπορούσαν να τοποθετηθούν και κάποια κουμπιά για να επιτευχθεί η αντιστροφή των κινήσεων των κυλίνδρων, ενώ παύσεις των κινήσεων λαμβάνονταν από μερικές συστροφές σκοινιού κολλημένες με κερί. (Rossi C.- Russo F.- Russo F. 2009 p.270-273).

3.6 Τα Αυτόματα του Βυζαντίου και της Ανατολής

Τα αυτόματα του Βυζαντίου ήταν κατασκευές που υπήρχαν στα Αυτοκρατορικά παλάτια και αποτελούνταν από διάφορα είδη αυτόματων ζώων, που κινούνταν και βγάζαν ήχους, όπως λιοντάρια, άλογα, καμήλες, γρύπες, αρκούδες, πουλιά, καθώς και άλλους μηχανισμούς όπως αυτός που ανύψωνε το θρόνο του Αυτοκράτορα και πολυτελείς κρήνες.

Οι βυζαντινές πηγές που υπάρχουν περιγράφουν αυτές τις συσκευές, χωρίς να είναι διαθέσιμο κάποιο γραπτό που να ασχολείται αποκλειστικά με το θέμα, ή να περιγράφει την αρχή λειτουργίας τους. Αναφορές υπάρχουν σε χρονογραφίες του Γεώργιου Μοναχού (9^{ος} αιώνας), του Λέωντα του Γραμματικού (10^{ος} -11^{ος} αιώνας), του Κωνσταντίνου Μανασή (12^{ος} αιώνας), στη *Συνέχεια του Θεοφάνους* (10^{ος} αιώνας), (μια ομάδα ιστοριογραφικών έργων, με πολιτικό προσανατολισμό, υπό την αιγίδα του Κωνσταντίνου Ζ΄ του Πορφυρογέννητου), και σε ένα

βιβλίο το *Περί Τελετών* που γράφτηκε με προτροπή του Κωνσταντίνου Ζ΄ του Πορφυρογέννητου. (Κανάβας Κ. 2005)

Σε αυτές περιγράφεται ένα σύνολο μηχανισμών με έμφαση σε ένα μεταλλικό δέντρο στα κλαδιά του οποίου υπήρχαν χρυσά ή επίχρυσα πουλιά πολλών ειδών, που κινούνταν και κελαηδούσαν. Επίσης αυτές οι πηγές δίνουν την πληροφορία ότι τα αυτόματα δημιουργήθηκαν κατά παραγγελία του Αυτοκράτορα Θεόφιλου (829-842 μ.Χ.) στο παλάτι του Βρυάντα αλλά και στο παλάτι της Μαγναύρας, ανακατασκευάστηκαν και συμπληρώθηκαν πολλές φορές, καθώς τουλάχιστον μία φορά καταστραφήκαν (επί Μιχαήλ Γ΄ 842-867 μ.Χ.). Τον 10ο αιώνα επί Κωνσταντίνου Ζ΄ του Πορφυρογέννητου έχουν πλέον νέα σύνθεση και είναι σε λειτουργία. (Κανάβας Κ. 2005)

Υπάρχουν και ξένες αναφορές όπως αυτή του Πρέσβη του Γερμανού Αυτοκράτορα, του Liudpraud της Κρεμόνας, ο οποίος εντυπωσιάστηκε από την επίσκεψή του στην αίθουσα του θρόνου και περιέγραψε ως εξής:

<< Μπροστά από το θρόνο του Αυτοκράτορα ήταν στημένο ένα δέντρο από επιχρυσωμένο χαλκό, με τα κλαδιά του γεμάτα με πουλιά, ομοίως κατασκευασμένα από χαλκό επιχρυσωμένο, και αυτά κελαηδούσαν ανάλογα με το είδος τους. Τώρα ο θρόνος του Αυτοκράτορα ήταν φτιαγμένος με τέτοιο πονηρό τρόπο που τη μια στιγμή ήταν κάτω στο έδαφος, ενώ την άλλη σηκώθηκε ψηλότερα και φαινόταν να είναι στον αέρα. Ο θρόνος αυτός ήταν τεράστιου μεγέθους και φυλασσόταν, τρόπον τινά, από λιοντάρια, κατασκευασμένα είτε από μπρούντζο είτε από ξύλο καλυμμένο με χρυσό, τα οποία χτυπούσαν το έδαφος με τις ουρές τους και βρυχώνταν με ανοιχτό στόμα και τρεμάμενη γλώσσα. ... Καθώς ανέβαινα, τα λιοντάρια άρχισαν να βρυχώνται και τα πουλιά να κελαηδούν, το καθένα σύμφωνα με το είδος του, αλλά δεν συγκινήθηκα ούτε από φόβο ούτε από έκπληξη Αφού είχα κάνει υπόκλιση στον Αυτοκράτορα προσκυνώντας τον εαυτό μου τρεις φορές, σήκωσα το κεφάλι μου και ιδού! Ο άνδρας που μόλις είχα δει να κάθεται σε μέτριο ύψος από το έδαφος είχε τώρα αλλάξει τα άμφιά του και καθόταν τόσο ψηλά όσο το ταβάνι της αίθουσας. Δεν μπορούσα να σκεφτώ πώς έγινε αυτό, εκτός ίσως αν ανυψωνόταν από κάποιο τέτοιο μηχανήμα που χρησιμοποιείται για την ανύψωση των ξύλων ενός πατητηρίου.>> (Filson L. 2019)

Το πότε τέθηκαν εκτός λειτουργίας αυτά τα αυτόματα δεν είναι γνωστό, αλλά σίγουρα το 1204 στην 4η Σταυροφορία ήταν σε αχρηστία, όπως περιέγραψε ο Robert of Clari, ένας απλός

ιπότης, στο χρονικό που έγραψε την *Κατάκτηση της Κωνσταντινούπολης* για αυτά που είχε δει κατά την Άλωση της Πόλης από τους σταυροφόρους, οι οποίοι την κατάστρεψαν ολοσχερώς καίγοντάς την και πέρνοντας για λάφυρα ότι θεώρησαν ότι είχε αξία. Από αυτή την καταστροφή η Βυζαντινή Αυτοκρατορία δεν θα ανακάμψει ποτέ. Το εν λόγω απόσπασμα είναι το εξής:

<< ... υπήρχαν μορφές ανδρών και γυναικών, και αλόγων και βοδιών και καμήλων και αρκούδων και λιονταριών και πολλών ειδών θηρίων, όλα κατασκευασμένα από χαλκό, και τα οποία ήταν τόσο καλοφτιαγμένα και τόσο φυσικά διαμορφωμένα που δεν υπάρχει αφέντης στην ειδωλολατρία ή στον Χριστιανισμό που να έχει αρκετή επιδεξιότητα, ώστε να κάνει φιγούρες τόσο καλές όσο ήταν φτιαγμένες αυτές οι μορφές. Και στο παρελθόν έπαιζαν με γοητεία, αλλά δεν παίζουν πια. Και οι Φράγκοι κοίταζαν τα παιχνίδια του Αυτοκράτορα με απορία όταν τα είδαν.>>

(Filson L. 2019)

Αυτόματα υπήρχαν και στα αραβικά παλάτια και μάλιστα πολύ μεγαλοπρεπή και εντυπωσιακά. Η παλαιότερη αραβική περιγραφή αυτών των ανακτορικών μηχανισμών, ανήκει στο Αλ- Χατίμπ αλ-Μπαγντάντι (1002-1071 μ.Χ.) και αναφέρεται στην επίσκεψη των Βυζαντινών Πρέσβευων στη Βαγδάτη το 917 όπου τους υποδέχτηκε ο Χαλίφης των Αββασιδών αλ-Μουκτάντιρ. Σύμφωνα με το κείμενο οι Πρέσβεις οδηγήθηκαν σε μια σειρά από 25 παλάτια και κήπους με σπάνια δέντρα και εξημερωμένα θηρία και κατέληξαν στο Παλάτι του Στέμματος. Εκεί υπήρχε μια τεχνητή λίμνη στις όχθες της οποίας στέκονταν τριάντα έφιππα αγάλματα πολεμιστών, παραταγμένα σε σειρές, έτοιμα να πολεμήσουν μεταξύ τους και από το μέσο της λίμνης σε μια μικρή νησίδα, με πρόσταγμα του Χαλίφη, αναδύθηκε ξαφνικά ένα μεταλλικό δέντρο με χρυσά και ασημένια κλαδιά, που πάνω του φιλοξενούσε επίσης χρυσά και ασημένια πουλιά, τα οποία κελαηδούσαν, ενώ τα φύλλα του δέντρου λικνίζονταν από τον αέρα. (Κανάβας Κ. 2005)

Τα Ανακτορικά Αυτόματα ήταν πολυτελείς παιχνιδιομηχανές, που όπως είδαμε κατείχαν και οι Βυζαντινοί και οι Άραβες. Ο σκοπός που εξυπηρετούσαν, εκτός από την ψυχαγωγία, ήταν εκατέρωθεν ο εντυπωσιασμός των ξένων επισκεπτών, συνήθως Πρέσβευων, η επίδειξη δύναμης και πλούτου, καθώς και η πρόκληση δέους στους αντιπάλους. Στον ίδιο σκοπό απέβλεπε και

το πολύπλοκο και καλά μελετημένο πρωτόκολλο που ακολουθούνταν κατά την υποδοχή των ξένων αποστολών και από τις δύο πλευρές, όπως και τα πολύτιμα δώρα που ανταλλάσσονταν.

Όμως ενώ υπάρχουν αραβικές πηγές που περιγράφουν τις βυζαντινές μηχανές και το δέος που αυτές προκάλεσαν στους Άραβες Πρέσβεις, δεν υπάρχουν αντίστοιχες βυζαντινές. Αυτές αρκούνται μόνο στην περιγραφή των δικών τους τέτοιων μηχανών. Μάλιστα σώζεται η εξιστόρηση της επίσκεψης του Άραβα Πρέσβη Ουμάρα Ιμπν Χάμζα, στην Κωνσταντινούπολη το 775 μ.Χ. , σε ένα κείμενο του 904 μ.Χ. . Στο κείμενο αυτό η περιγραφή μάλλον περιέχει και φανταστικά στοιχεία εκτός από τα πραγματικά. Το γεγονός είναι ότι βεβαιώνει την ύπαρξη των Αυτόματων στην Κωνσταντινούπολη το 775 μ.Χ. . (Κανάβας Κ. 2005)

Κάποιοι Ιστορικοί της Τέχνης έχουν την άποψη ότι τα Βυζαντινά Αυτόματα ήταν επινοήσεις των Αράβων που αντιγράφηκαν από τους Βυζαντινούς. Τα επιχειρήματά τους στηρίζονται στο γεγονός ότι στο σύγγραμμα *Συνέχεια του Θεοφάνους* αναφέρεται ότι η εντολή για την κατασκευή τους, δόθηκε από τον Αυτοκράτορα Θεόφιλο μετά από την παρότρυνση του Ιωάννη Γραμματικού (Σύγγελου), αφού επέστρεψε από μία διπλωματική αποστολή στη Βαγδάτη το 831 μ.Χ. . Επίσης οι ομοιότητες στα θέματα που καλύπτουν τα αυτόματα καθώς και στην εσωτερική διαμόρφωση των παλατιών των δύο λαών, συνηγορούν προς αυτή την κατεύθυνση. Ένας άλλος παράγοντας που πιθανόν να επηρεάζει, είναι οι πλούσιες και λεπτομερείς εικονογραφήσεις που συνοδεύουν τις περιγραφές των μηχανισμών στα αραβικά συγγράμματα, κάτι που δεν ισχύει για τα βυζαντινά.

Το αντεπιχείρημα μπορεί να δοθεί μέσα από τις υπάρχουσες πηγές που υποδεικνύουν ότι τα παλαιότερα Αυτόματα βρίσκονταν στην Κωνσταντινούπολη. Όσον αφορά τη θεματολογία τους που παρουσιάζει ομοιότητες, μπορεί να εξηγηθεί από την κοινή προέλευσή τους, που κανείς δεν αμφισβητεί. Όλοι οι μηχανισμοί έχουν κοινή καταγωγή τη Σχολή της Αλεξάνδρειας. Άλλωστε όπως έχει ήδη αναφερθεί, το έργο που Ήρωνα του Αλεξανδρινού είχε αντιγραφεί και μεταφραστεί τόσο από τους Βυζαντινούς όσο και από τους Άραβες, το οποίο είναι ένα ευτυχές γεγονός γιατί έτσι διασώθηκε. Τέλος οι αραβικές εικονογραφήσεις ήταν φυσικό να κάνουν πολύ μεγαλύτερη εντύπωση στους Ιστορικούς Τέχνης, σε σχέση με τις βυζαντινές μικρογραφίες, που μετά από την λεηλασία του 14^{ου} αιώνα, βρίσκονται διάσπαρτες σε μουσεία και βιβλιοθήκες της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής. (Κανάβας Κ. 2005)

4. Μουσικά Όργανα

Οι αρχαίοι Έλληνες θεωρούσαν τη μουσική αναγκαία για μια καλή ζωή. Η μουσική ο χορός και το τραγούδι μαζί με τις θυσίες στους Θεούς και τις αθλητικές διοργανώσεις, θεωρούνταν οι απαραίτητες εκδηλώσεις μιας πολιτισμένης κοινότητας. Οι δημόσιες θρησκευτικές γιορτές όπως τα Παναθήναια, τα Θεοξένεια, τα Υακίνθεια, τα Οσχοφόρια κ.α. ήταν συνυφασμένες με τη μουσική και το τραγούδι, υπό τη μορφή παιάνα. Το χορωδιακό τραγούδι, ο χορός και ο λυρικός διάλογος μεταξύ ηθοποιού και χορωδίας, εμφανίζονταν στο θέατρο και αποτελούσαν σημαντικούς παράγοντες για τη συνολική επίδραση του έργου στους θεατές. Γενικά η μουσική είχε συσχετιστεί με χαρούμενες εκδηλώσεις, ώστε η ζοφερότητα του πολέμου και ο πόνος του θανάτου να χαρακτηρίζονται ως «χωρίς χορό» και «χωρίς λύρες».

Στην αρχαία Ελλάδα υπήρχε μεγάλη ποικιλία μουσικών οργάνων από έγχορδα όπως η λύρα η κιθάρα η πηκτίς (ένα είδος άρπας) και πνευστά όπως ο αυλός, η σύριγξ ο άσκαυλος (ένα είδος γκάιντας), μέχρι και κρουστά όπως το τύμπανον, το ρόπτρον, τα κύμβαλα κ.α. . Τέλος το πιο πολύπλοκο υδραυλικό όργανο, η Ύδραυλις, ήταν επινόηση του Κτησίβιου.

4.1 Έγχορδα όργανα

Τα έγχορδα όργανα ήταν πολύ διαδεδομένα στην αρχαία Ελλάδα. Παίζονταν είτε απευθείας με τα δάχτυλα, είτε με μία μεγάλη πένα που λεγόταν «πλήκτρον». Μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκουν τα όργανα που είχαν ίσου μήκους χορδές με διαφορετικό πάχος μεταξύ τους και ο αριθμός των χορδών δεν ξεπερνούσε τις 12. Η λύρα η κιθάρα και η βάρβιτος ανήκουν σε αυτή την ομάδα, η οποία περιείχε τα όργανα που παίζονταν με τη βοήθεια του πλήκτρου. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα πολύχορδα όργανα (μέχρι 40 χορδές), που παίζονταν με τα δάχτυλα χωρίς τη βοήθεια πένας και στα οποία το μήκος των χορδών μπορούσε να είναι το ίδιο, όπως στο επιγόνειον και το σιμίκιον ή και άνισο όπως στην πηκτίς, τη μάγαδισ και το τρίγωνο. Η τρίτη κατηγορία είναι αυτή του λαούτου, με σαφώς λιγότερα όργανα. Σε αυτήν ανήκαν εκείνα που είχαν έναν μακρύ βραχίονα ενσωματωμένο με ταστιέρα, όπως η σύγχρονη κιθάρα ή το μπουζούκι. Μπορούσε να χρησιμοποιηθεί πλήκτρο ή όχι. (Σόλων Μιχαηλίδης 1982)

Παρακάτω παρουσιάζονται επιλεκτικά τα πιο αντιπροσωπευτικά μουσικά όργανα των τριών κατηγοριών.

4.1.α Η Λύρα

Η λύρα υπήρχε ήδη στον Μινωικό και τον Μυκηναϊκό πολιτισμό και ήταν από τα πιο δημοφιλή και αγαπητά όργανα μαζί με τον αυλό. Μπορούσε εύκολά να συναρμολογηθεί από οποιονδήποτε χωρίς να χρειάζεται επαγγελματική παρέμβαση, αν και στην Αθήνα όπως και σε άλλα μέρη, κατασκευάζονταν από ειδικούς. Δεν είχε πολύ δυνατό ήχο οπότε ήταν ιδανική για ιδιωτική χρήση, για τα συμπόσια και για την εκμάθηση της μουσικής.

Αποτελούνταν από ένα ηχείο που στην πρώτη μορφή του οργάνου ήταν το κέλυφος μιας χελώνας, ενώ αργότερα αντικαταστάθηκε από ξύλο του ίδιου σχήματος. Αυτός είναι ο λόγος που ονομαζόταν και «χέλυσ». Στην περίμετρο του κελύφους προσαρμοζόταν μία τεντωμένη δονούμενη μεμβράνη και δύο συμμετρικοί βραχίονες από κέρατο ή ξύλο ξεκινούσαν από το ηχείο και κατέληγαν να ενώνονται κάθετα με μία ξύλινη, κυλινδρική, οριζόντια ράβδο, τον «ζυγό». Οι χορδές, από 3 έως 12, κατασκευασμένες από στριμμένα έντερα ή τένοντες ζώων ή και από λινάρι ήταν στερεωμένες στη βάση του ηχείου στο «χορδοτόνιο» ή «χορδοστάτη», περνούσαν από τον καβαλάρη που ονομαζόταν «μαγάδιον» και προσδένονταν στον ζυγό, όπου υπήρχαν ξύλινοι πείροι με τους οποίους επιτυγχάνονταν το κούρδισμα του οργάνου. Το «πλήκτρον» ήταν μία μεγάλη πένα με καμπύλη λαβή και αιχμηρό τελείωμα, που ήταν απαραίτητη για το παίξιμο. Συνδεόταν με το ηχείο μέσω κορδονιού, ενώ το υλικό της ήταν κόκαλο ή κέρατο ή φίλντισι.

Οι χορδές της ελληνικής λύρας και όλων των οργάνων της κατηγορίας, είχαν ίσα μήκη, σε αντίθεση με τα αντίστοιχα ανατολίτικα όργανα, τα οποία διέθεταν ορθογώνιο ηχητικό κουτί, άνισους βραχίονες και κεκλιμένο ζυγό, όπου τεντώνονταν άνισες χορδές. Επίσης ενώ γενικά στα έγχορδα όργανα των υπολοίπων λαών, οι χορδές δεν ήταν διαταγμένες κατά σειρά τόνου, στα ελληνικά, όχι μόνο συνέβαινε αυτό αλλά και οι νότες της τυπικής οκτάβας είχαν πάρει το όνομά τους από τις αντίστοιχες χορδές της λύρας. (M. L. West 1992 p.49, 50)



Εικόνα 12: Η Λύρα

4.1.β Η βάρβιτος

Ήταν ένα όργανο που το ηχείο του ήταν από κέλυφος χελώνας όπως της λύρας αλλά διέφερε πολύ από αυτήν. Η διαφορά ήταν στο σχήμα και το μήκος που είχαν βραχίονες οι οποίοι ξεκινούσαν από το ηχείο και καθώς ανέβαιναν απομακρύνονταν μεταξύ τους, μέχρι που κάμπτονταν απότομα και πλησίαζαν, στη συνέχεια στρέφονταν πάλι προς τα επάνω κατακόρυφα και σε αυτά τα τελευταία μικρά κατακόρυφα τμήματα, στερεωνόταν ο ζυγός. Το μήκος των χορδών, που ήταν επτά στον αριθμό, ήταν διπλάσιο από αυτό των χορδών της λύρας, με αποτέλεσμα η βάρβιτος να ακούγεται μία οκτάβα χαμηλότερα και να είναι για αυτόν ακριβώς τον λόγο το βασικό μουσικό όργανο των συμποσίων και των Διονυσιακών ερωτοτροπιών.

Η βάρβιτος εμφανίστηκε τον 6ο αιώνα π.Χ. ενώ μέχρι το 400 π.Χ. είχε σχεδόν εξαφανιστεί γιατί θεωρούνταν παλιομοδίτικο όργανο μεταξύ των Ελλήνων, αλλά επανεμφανίστηκε στους Ρωμαίους που το χρησιμοποιούσαν σε όλες τις παλαιές τελετουργίες θυσιών τους. (M. L. West 1992 p.56-59)

4.1.γ Η κιθάρα του Απόλλωνα

Το όργανο αυτό συνόδευε τις επίσημες δημόσιες εκδηλώσεις και παίζονταν από επαγγελματίες μουσικούς με ξεχωριστές δεξιότητες, καθώς ήταν περίτεχνα κατασκευασμένο από τεχνίτες με ειδικές γνώσεις και προφανώς κόστιζε περισσότερο. Ο ήχος του ήταν δυνατός και βαθύς.

Αποτελούνταν από ένα μεγάλο ορθογώνιο ξύλινο ηχητικό κιβώτιο που κατέληγε σε δύο συμμετρικούς καμπύλους βραχίονες, οι οποίοι συνδέονταν ελαστικά μέσω σύνθετων μηχανισμών από τοξοειδή ελάσματα, με δύο μικρότερους βραχίονες τους «πήχεις». Οι πήχεις μπορούσαν να εκτελούν μία ελάχιστη κατακόρυφη σαν ταλάντωση, που προσέδιδε στη

μελωδία έναν χαρακτηριστικό κυματιστό ήχο. Πάνω στους πήχεις ήταν στερεωμένος ο ζυγός που διέθετε εκτός από τους πείρους για το τέντωμα των χορδών και αντίβαρα για επιπλέον ρύθμιση. Κάτω από τον ζυγό υπήρχαν εκατέρωθεν στους πήχεις πρόσθετοι μηχανισμοί που χαλάρωναν ή τέντωναν τον ζυγό ώστε το όργανο να βρίσκεται σε κατάσταση ξεκούρασης ή παιξίματος αντίστοιχα. Ο καβαλάρης ήταν και αυτός πολύπλοκος με προσαρτήσεις μικρών μοχλών για την επίτευξη εναλλακτικών μουσικών φθόγγων. όπως γίνεται αντιληπτό η κιθάρα του Απόλλωνα ήταν ένα μεγαλοπρεπές και εξεζητημένο όργανο που δεν χρησιμοποιούνταν καθημερινά, ούτε σε ιδιωτικούς χορούς. (M. L. West 1992 p.51-56)



Εικόνα 13: Η Κιθάρα του Απόλλωνα

4.1.δ Άλλα είδη κιθάρας

Υπήρχαν και άλλα είδη κιθάρας, όχι τόσο επιβλητικά όσο η κιθάρα του Απόλλωνα και άρα πιο εύχρηστα. Οι βασικές αρχές κατασκευής ήταν ίδιες αλλά διέφεραν στο σχήμα και την έκταση του ηχείου, στη μορφή των βραχιόνων, καθώς και στο μήκος των χορδών, παράγοντας διαφορετικούς ήχους.

Η φόρμιγξ ήταν το όργανο που χρησιμοποιούνταν για τη μουσική αφήγηση των Ομηρικών Επών από τους αοιδούς και θεωρούνταν ιερό όργανο. Το ηχείο σε αυτήν την περίπτωση ήταν ξύλινο σε σχήμα πετάλου. Οι βραχίονες, ίσοι και μικροί, συνδέονταν ελαστικά με το ηχείο, ώστε να μπορούν να παράγουν κυματιστό ήχο με την απαλή παλινδρομική κίνηση που εκτελούσαν. Η φόρμιγξ είχε τέσσερις χορδές που ξεκινούσαν από τον χορδοστάτη, περνούσαν από τον καβαλάρη και δένονταν με κόμπους σε δερμάτινες λωρίδες τυλιγμένες στον ζυγό, η περιστροφή των τελευταίων κούρδιζε το όργανο. (M. L. West 1992 p.51-56)

Η αρχαϊκή κιθάρα διέφερε από τη φόρμιγγα στο ηχείο που ήταν ξύλινο μεν αλλά με ρηχή κοιλότητα σχήματος «υ» και στο ζυγό του έφερε αντίβαρα, όπως η κιθάρα του

Απόλλωνα, που χρησίμευαν στην επιπλέον ρύθμιση των χορδών, εκτός από το κούρδισμα το οποίο πραγματοποιούνταν με τον ίδιο τρόπο με τη φόρμιγγα. (M. L. West 1992 p.51-56)

Η θρακική κιθάρα ονομαζόταν και κιθάρα του Ορφέα και διέφερε από όλες τις υπόλοιπες καθώς το ξύλινο ηχείο ήταν στραμμένο ανάποδα, δηλαδή η καμπυλότητα βρισκόταν στο επάνω μέρος του ηχητικού κουτιού. Από εκεί ξεκινούσαν οι δύο συμμετρικοί βραχίονες που ήταν λεπτοί και κυρτοί, σχηματίζοντας έναν κομμένο κύκλο, στο ανώτατο τμήμα του οποίου στερεωνόταν ο ζυγός. Οι επτά χορδές που είχαν μήκος μεγαλύτερο από αυτό των χορδών της λύρας και μικρότερο από της βαρβίτου, παρήγαγαν ήχο μέσης τονικότητας. Τέλος ο ζυγός της διέθετε είτε σταθερούς ξύλινους πείρους, είτε δερμάτινες λωρίδες για το κούρδισμα της κιθάρας. (M. L. West 1992 p.51-56)

4.2 Πολύχορδα Όργανα

4.2.α Η πηκτίς

Ήταν ένα πολύχορδο όργανο με άνισου μήκους χορδές που παίζονταν σχεδόν αποκλειστικά από γυναίκες που ονομάζονταν «ψάλτριες», παράγοντας έναν γλυκό ηδονικό και ανάλαφρο ήχο. Αποτελούνταν από έναν ξύλινο οριζόντιο βραχίονα που συνδέονταν κάθετα ή και σε οξεία γωνία με ένα ηχητικό κουτί που καμπύλωνε και γινότανε καμάρα. Στο ηχείο ήταν προσαρμοσμένη μία δερμάτινη μεμβράνη που πάλλονταν και από αυτό ξεκινούσαν οι χορδές για να καταλήξουν στον βραχίονα, με το μήκος τους να μεγαλώνει από το εσωτερικό προς τα έξω. (M. L. West 1992 p. 61-74)

4.2.β Το τρίγωνον

Όπως φανερώνει το όνομά του είχε τριγωνικό σχήμα, αποτελούμενο από έναν οριζόντιο βραχίονα, ένα επίμηκες ηχείο και μία ράβδο που συνδέονταν με τον βραχίονα και μεταξύ τους. Το ηχείο και πάλι καλυπτόταν από μεμβράνη, ήταν λεπτότερο στις άκρες και πιο πλατύ στη μέση και από εκεί ξεκινούσαν οι άνισες και περισσότερες στον αριθμό από αυτές της πηκτίς χορδές, με αναλογία μηκών 4:1 από τη μεγαλύτερη στη μικρότερη, για να καταλήξουν στον βραχίονα. Ο ήχος ήταν αιθέριος και αισθησιακός και το όργανο προοριζόταν για γυναίκες παίκτριες. (M. L. West 1992 p.61-74)



Εικόνα 14: Η Πηκτίς



Εικόνα 15: Το Τρίγωνον

4.2.γ Το επιγόνειον και το σιμίκιον

Ήταν όργανα με περισσότερες χορδές από αυτές του τριγώνου και της πηκτίς, με αριθμό που έφταναν τις 40. Αποτελούνταν από ένα μεγάλο, ορθογώνιο ηχητικό κιβώτιο, με τις χορδές τοποθετημένες οριζόντια σε όλο το μήκος του από τη μία άκρη στην άλλη και παίζονταν επίσης οριζόντια. Τα αρχικά όργανα είναι πιθανόν να σχεδιάστηκαν για την ακαδημαϊκή μελέτη διαστημάτων και διαιρέσεων κλίμακας και όχι για αυτή καθ' αυτήν τη μουσική εκτέλεση. Τα δύο όργανα ήταν η ελληνική εκδοχή του ψαλτηρίου ή του σαντουριού και όταν μερικούς αιώνες αργότερα τα σαντούρια έφτασαν στην Ελλάδα, ονομάστηκαν επιγόνεια. (M. L. West 1992 p.61-74)

4.2.δ Η πανδούρα

Ανήκει στην τρίτη κατηγορία έγχορδων μαζί με το λαούτο. Πρόκειται για ένα τρίχορδο όργανο που προέρχεται από τους Ασσύριους και στον ελληνικό χώρο εμφανίζεται τον 4ο αιώνα π.Χ. Αποτελούνταν από ένα μικρό θολωτό, ξύλινο ηχείο που προεκτείνονταν σε έναν μακρύ λαιμό με ταστιέρα (δακτυλοθέσιο), όπου ο μουσικός σταματούσε τις χορδές με τα δάκτυλα του αριστερού του χεριού, ώστε να μειώσει το δονούμενο μήκος τους και να ανεβάσει τη νότα στο απαιτούμενο βήμα. Πιθανόν να χρησιμοποιούνταν και τάστα (λωρίδες δέρματος που τοποθετούνταν στον λαιμό του οργάνου) για να μειώσουν συνολικά το μήκος των χορδών και

να αλλάξουν τόνο. Το όργανο αυτό που σχετίζεται με το λαούτο υπάρχει μέχρι και τις μέρες μας με το όνομα «ταμπουράς», ενώ στο Βυζάντιο ένα από τα πολλά ονόματα που είχε ήταν «θαμπούρα». (M. L. West 1992 p.79, 80)

4.3 Πνευστά Όργανα

Υπήρχαν δύο κατηγορίες πνευστών μουσικών οργάνων στην αρχαία Ελλάδα, αυτή των «αυλών» που έφεραν γλωσσίδα και της «σύραγγας» που ήταν πιο απλά στα οποία ο μουσικός φυσούσε απ' ευθείας στο ανοικτό άκρο του σωλήνα ή των σωλήνων.

4.3.α Αυλός

Ήταν το μουσικό όργανο που κυριαρχούσε σε όλες τις εκδηλώσεις της κοινωνικής ζωής, είτε ιδιωτικές είτε δημόσιες. Σε συνδυασμό με την κιθάρα και άλλα έγχορδα, συνόδευε τις θρησκευτικές τελετές, τους αθλητικούς αγώνες και το θέατρο, με τον βαρύτονο ήχο του. Υπάρχουν πολλές αρχαίες πηγές που αναφέρουν ως τόπο προέλευσης του αυλού τη Μικρά Ασία και συγκεκριμένα τη Φρυγία.

Αποτελούνταν από έναν κυλινδρικό σωλήνα που ονομαζόταν «βόμβυξ» και έφερε οπές, αρχικά τέσσερις και μετέπειτα έως και δεκαπέντε. Ο βόμβυξ ήταν κατασκευασμένος από καλάμι, πυξάρι, ξύλο λωτού, κόκαλο ελαφιού, ελεφαντόδοντο, κέρατο ή και κατεργασμένο χαλκό. Στο ένα άκρο του, στο επιστόμιο, υπήρχε είτε η «απλή γλωσσίδα» που ήταν μία λεπτή λεπίδα από καλάμι που δονούνταν με το φύσημα (όπως στο κλαρινέτο), είτε η «διπλή γλωσσίδα» από δύο καλαμένιες λεπτές λεπίδες που χτυπούσαν μεταξύ τους με το φύσημα (όπως στο όμποε).

Μία παραλλαγή του αυλού ήταν ο «πλαγίαυλος», ένα όργανο που κρατούνταν πλάγια (όπως το φλάουτο) και διέθετε μία απλή γλωσσίδα σε πλάγια θέση, εκεί που βρίσκεται η οπή στο σύγχρονο φλάουτο.

Ο αυλός ήταν περισσότερο συνηθισμένο να παίζεται σε ζευγάρι που ονομαζόταν «διάυλος» ή «δικάλαμος». Οι δύο σωλήνες ενώνονταν στη βάση τους και είχαν από ένα επιστόμιο ο καθένας και τις αντίστοιχες γλωσσίδες ή απλές ή διπλές, ενώ μπορούσαν να έχουν το ίδιο μήκος για πιο γεμάτο ήχο, ή άνισο ώστε ο ένας να παράγει μουσική και ο άλλος να κρατάει

τον "ίσο". Συχνά το όργανο για να συγκρατείται, προσαρμοζόταν σε μία δερμάτινη λωρίδα τη «φορβεία», που περνούσε πάνω από τα μάγουλα και δένονταν στο πίσω μέρος του κεφαλιού του αυλήτη. (Σόλων Μιχαηλίδης 1982), (M. L. West 1992 p.81-94)



Εικόνα 16: α) Αυλός



β) Δίαυλος

4.3.β Σύριγξ

Ήταν το γνωστό όργανο του Θεού Πάνα και χρησιμοποιούνταν από τους ποιμένες και όχι σε επίσημες εκδηλώσεις. Υπήρχαν δύο είδη σύραγγας, η μονοκάλαμος και η πολυκάλαμος.

Η μονοκάλαμος, όπως φανερώνει η λέξη αποτελούνταν από ένα σωλήνα από καλάμι, κόκαλο ή και μέταλλο που ήταν κλειστός στο κάτω μέρος και ανοιχτός στο επάνω. Ο βοσκός φυσούσε απ' ευθείας στο ανοιχτό άκρο του σωλήνα και με τα δάκτυλα ανοιγόκλεινε τις λιγιστές οπές, για να παράγει ήχο γλυκό, ελαφρύ και υψίφωνο. Η πολυκάλαμος, το όργανο που παρουσιάζεται στις απεικονίσεις του Πάνα, αποτελούνταν από 4 έως 18 (συνήθως 7) σωλήνες, διαφορετικού μήκους χωρίς οπές, συνενωμένους μεταξύ τους με κεριά ή λινάρι. Στο επάνω τμήμα οι ανοιχτοί σωλήνες σχημάτιζαν μια οριζόντια γραμμή και εκεί φυσούσε ο ποιμένας. Όταν οι σωλήνες είχαν το ίδιο μήκος, τότε γεμίζονταν με κεριά και φράζονταν στο επιθυμητό σημείο, ώστε να παράγονται οι διαφορετικές νότες με τη διαφορετικού μήκους στήλη. (Σόλων Μιχαηλίδης 1982), (M. L. West 1992 p.109-112)

4.3.γ Ο Ασκαυλος

Ήταν ένα όργανο τύπου γκάιντας, της χαμηλής αστικής τάξης. Όχι τόσο συνηθισμένο στον ελληνικό κόσμο που έκανε την εμφάνισή του σχετικά αργά τον 2ο αιώνα π.Χ. . Αυτό το πνευστό όργανο αποτελούνταν από έναν ασκό, κατασκευασμένο εξ' ολοκλήρου από το δέρμα ενός μικρού ζώου ή την κύστη ενός μεγαλύτερου, πάνω στον οποίο είχαν προσαρμοστεί από ένας μέχρι τέσσερις αυλοί με γλωσσίδες και ένα μεγαλύτερο καλάμι που διέθετε μία δερμάτινη βαλβίδα που επέτρεπε στον αέρα να εισέρχεται στον ασκό, αλλά όχι και να εξέρχεται. Ο μουσικός γέμιζε με αέρα τον ασκό φυσώντας από το καλάμι και πιέζοντάς τον διατηρούσε σταθερή την πίεση στο εσωτερικό του, ώστε ο αέρας να εξέρχεται συνεχώς από τους αυλούς χωρίς να χρειάζεται παύση για την αναπνοή. Ο ένας ή οι δύο αυλοί έφεραν οπές και χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή της μουσικής, ενώ οι υπόλοιποι κρατούσαν τον "ίσο". (M. L. West 1992 p.107, 108)

4.4 Κρουστά

Τα κρουστά στην αρχαία ελληνική μουσική έπαιζαν μικρό ρόλο συγκριτικά με τα έγχορδα και τα πνευστά που έχουν ήδη αναφερθεί. Υπήρχαν κρουστά που είχαν συνοδευτικό και υποστηρικτικό ρόλο στους αυλούς και τις λύρες, παρέχοντας έναν συγκεκριμένο ρυθμό και άλλα που χρησιμοποιούνταν μόνο σε ιεροτελεστίες.

4.4.α Το τύμπανον και το ρόπτρον

Και τα δύο όργανα αποτελούνταν από μία κυλινδρική στεφάνη διαμέτρου 30 με 50 εκατοστά, μικρού βάθους που πάνω της προσαρμόζονταν τεντωμένα δέρματα και από τις δύο ανοιχτές πλευρές. Στο τύμπανον κάποιες φορές ενσωματωνόταν ομόκεντρα και μία μικρότερη σε ακτίνα στεφάνη, αλλά φαρδύτερη, επίσης καλυμμένη με δέρμα, για την παραγωγή διαφορετικού ήχου. Το όργανο αυτό χρησιμοποιούταν αποκλειστικά από γυναίκες, οι οποίες χτυπούσαν με τα δάκτυλά τους τις δερμάτινες επιφάνειες, στις οργιαστικές λατρείες. Στο ρόπτρον περιμετρικά της στεφάνης υπήρχαν εγκοπές, μέσα στις οποίες τοποθετούνταν ζεύγη

ορείχαλκων μικρών δίσκων που χτυπούσαν μεταξύ τους κατά τη χρήση, όπως ακριβώς στο ντέφι. (Σόλων Μιχαηλίδης 1982), (M. L. West 1992 p.124, 125)

4.4.β Τα κύμβαλα

Ήταν μεταλλικοί ημισφαιρικοί δίσκοι σαν τα σύγχρονα πιατίνια, μικρότερα όμως σε μέγεθος, με διάμετρο που έφτανε μέχρι τα 18 εκατοστά. Στην εξωτερική επιφάνεια φέραν ή μεταλλικούς δακτυλίους ή δερμάτινες λωρίδες, που χρησίμευαν ως λαβές. Τα κύμβαλα χρησιμοποιούνταν στις ιεροτελεστίες της Κυβέλης και του Διονύσου. (Σόλων Μιχαηλίδης 1982), (M. L. West 1992 p.124, 125)

4.4.γ Τα κρόταλα και το κρουπέζιον

Δύο κρουστά που συνόδευαν τις λύρες και τους αυλούς στους χορούς για να κρατούν τον ρυθμό ήταν τα κρόταλα και το κρουπέζιον. Τα κρόταλα, κατασκευασμένα από δύο κοίλα κομμάτια οστράκου, ξύλου ή μετάλλου συνήθως ορθογωνίου σχήματος, συγκρατούνταν μεταξύ τους με δερμάτινο κορδόνι από το ένα άκρο τους, ώστε να μπορούν ανοιγοκλείνοντας να κρούονται μεταξύ τους. Στερεώνονταν στα χέρια γυναικών με δερμάτινες λωρίδες, οι οποίες τα χτυπούσαν ρυθμικά και ταυτόχρονα χορεύαν. Το αντίστοιχο σύγχρονο όργανο είναι οι ισπανικές καστανιέτες.

Το κρουπέζιον ήταν ειδικό παπούτσι ή σανδάλι που έφερε μεταλλικό κρόταλο. Το φορούσε ο μουσικός που έπαιζε αυλό και χτυπώντας το στο έδαφος έδινε ρυθμό στον χορό. (Σόλων Μιχαηλίδης 1982), (M. L. West 1992 p.123, 124)

4.5 Τα Μουσικά Όργανα στο Βυζάντιο

Η βυζαντινή μουσική που είναι καταγεγραμμένη σε πηγές και έχει μελετηθεί, είναι η εκκλησιαστική, η οποία βασίζεται στην ψαλμική και την υμνογραφία, αποκλείοντας τα μουσικά όργανα. Έτσι ο όρος βυζαντινή μουσική έχει επικρατήσει να αναφέρεται στην ανατολική εκκλησιαστική μουσική που έχει φτάσει ως τις μέρες μας αναλλοίωτη και ως προς το μουσικό κομμάτι αλλά και ως προς το πνεύμα που πρεσβεύει. Η κοσμική λαϊκή μουσική που χρησιμοποιούσε μουσικά όργανα από την άλλη δεν έχει καταγραφεί. Διαδίδονταν,

προάγονταν και διατηρούνταν μέσω της προφορικής παράδοσης, πράγμα που δυσχεραίνει την μελέτη της.

Οι κοινωνικές εκδηλώσεις στις οποίες χρησιμοποιούνταν μουσικά όργανα ήταν συνήθως λαϊκά πανηγύρια με αφορμή κάποια εκκλησιαστική γιορτή, γάμοι και κάθε είδους εορταστικών εκδηλώσεων, όπου περιλαμβάνονταν και τα «θυμελικά παίγνια». Στα τελευταία εκτός από τα μουσικά όργανα που εμφανίζονταν, όχι μεμονωμένα αλλά οργανωμένα σε ορχήστρες και συνόδευαν το τραγούδι και τον χορό, συμμετείχαν και ηθοποιοί, χορεύτριες, μίμοι, ακροβάτες, θαυματοποιοί και άλλοι, που έδιναν ποικίλες παραστάσεις με προκλητικό περιεχόμενο. Αυτά τα δρώμενα ήταν απορριπτέα από τους διανοούμενους που ως επί τω πλείστων ανήκαν στον κλήρο. Όπως γίνεται αντιληπτό η κοσμική μουσική και τα μουσικά όργανα, ακριβώς επειδή εμφανίζονταν σε τέτοιου είδους εκδηλώσεις, δεν έχαιραν εκτίμησης από τους πνευματικούς ανθρώπους του Βυζαντίου.

Οι γραπτές πηγές από τις οποίες αντλούνται πληροφορίες για τα μουσικά όργανα που ήταν σε χρήση στη βυζαντινή εποχή, είναι μάλλον έμμεσες. Υπάρχουν ιστορικά ή άλλου είδους κείμενα που περιγράφουν τις κοινωνικές εκδηλώσεις, όπου παίζονταν μουσική και μερικές φορές και τα ίδια τα όργανα. Οι απεικονίσεις μουσικών οργάνων που υπάρχουν σε εικόνες, τοιχογραφίες, μικρογραφίες χειρόγραφων, αντικείμενα πολυτελείας κ.α. μπορούν να παρέχουν στοιχεία για το σχήμα, το μέγεθος και τη χρήση τους. Τα όργανα που απαντώνται συχνότερα σ' αυτές τις πηγές, αναφέρονται ως αυλοί και κιθάρες. Επίσης υπήρχαν διάφορα πολύχορδα όργανα, όπως και κρουστά. (Μαλιάρας Ν. 2004)

Με τον όρο αυλό οι Βυζαντινοί περιέγραφαν όχι ένα συγκεκριμένο όργανο, όπως συνέβαινε στην αρχαία Ελλάδα, αλλά ποικιλία οργάνων που ανήκαν σε δύο διαφορετικές κατηγορίες αερόφωνων με ηχητικό σωλήνα. Στην πρώτη κατηγορία υπαγόταν ένα πλήθος οργάνων με έναν διάτρητο ηχητικό σωλήνα, που διέθετε επιστόμιο και μονή ή διπλή γλωσσίδα και σαφώς παρέπεμπαν στον αυλό των αρχαίων Ελλήνων, χωρίς όμως να είναι βέβαιο ότι έχει συνεχιστεί η αρχαιοελληνική παράδοση σε αυτά. Ωστόσο η επιβίωση του διάυλου και του πλαγιάυλου επιβεβαιώνεται από τις απεικονίσεις. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκαν τα αερόφωνα χωρίς γλωσσίδα, με σωλήνα που διέθετε κόγχη, όπως η φλογέρα και το σουραύλι. Ονόματα όπως «δόναξ» (λεπτό καλάμι) και «κάλαμος», περιέγραφαν όλα τα παραπάνω όργανα χωρίς διάκριση. (Μαλιάρας Ν. 2004)

Ο όρος κιθάρα αναφερόταν σε ποικιλία οργάνων εν γένει, τα οποία δεν σχετίζονταν με την αρχαιοελληνική κιθάρα, αλλά με την πανδούρα. Αποτελούνταν από απιοειδές ηχείο

συνδεδεμένο με μακρύ λαιμό με ενσωματωμένα τάστα. Οι τρεις ή τέσσερις χορδές περνούσαν πάνω από τον λαιμό και τεντώνονταν με κλειδιά που ήταν προσαρτημένα στο τελείωμα του λαιμού. Τα ονόματα που έχουν διασωθεί για αυτά τα όργανα είναι «λαβούτον», «πανδούριν», «θαμπούριν», «ταμπούριν» κ.α. και είναι πιθανό να χρησιμοποιήθηκαν για τα διαφορετικού μεγέθους όργανα της αυτής οικογένειας. (Μαλιάρας Ν. 2004)

Τα όργανα που υιοθετήθηκαν και σαφώς εξελίχθηκαν από τους Βυζαντινούς κατά τη μεσοβυζαντινή περίοδο, ήταν τα έγχορδα με δοξάρι. Η καταγωγή τους είναι ασιατική και οι Βυζαντινοί ήρθαν σε επαφή με αυτά μέσω των Αράβων. Οι απεικονίσεις των βυζαντινών τοξωτών εγχόρδων, που τα τοποθετούν στον 9ο με 10ο αιώνα, υποδεικνύουν όργανα μεσαίου μεγέθους, τόσο απιοειδούς σχήματος, όπως η σημερινή κρητική λύρα, όσο και πιο μακρόστενα σαν την ευρωπαϊκή βιέλλα. Επίσης παρουσιάζουν το όργανο να στηρίζεται πλέον στον ώμο του μουσικού, σε θέση που έχει λίγο μεγαλύτερη κλίση από τη θέση που παίζεται σήμερα το βιολί. Οι εξελίξεις που επιτελέστηκαν τόσο στο σχήμα όσο και στο κράτημα του οργάνου και του δοξαριού, αλλά και στο παίξιμό του, μεταφερθήκαν σχεδόν αυτούσιες στη Δύση. (Μαλιάρας Ν. 2004)

Όπως στην αρχαία Ελλάδα, έτσι και στο Βυζάντιο υπήρχαν πολύχορδα όργανα διάφορων μορφών και μεγεθών, με άνισου μήκους χορδές και μάλιστα πρέπει να ήταν πολύ δημοφιλή και διαδεδομένα. Τα ονόματα που χρησιμοποιούνταν και έχουν σωθεί στις διάφορες πηγές είναι πολλά και ποικίλουν. Κάποια προέρχονται απ' ευθείας από την αρχαία Ελλάδα όπως «μάγαδις», «σαμβίκη», «πυκτίς», «πλήκτρον», «πληνθίον», ενώ άλλα είναι βυζαντινά και μερικά χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα, όπως «ψαλτήριον», «δεκάχορδον», «άρπα», «πενταδεκάχορδον» κ.α. . Η ταυτοποίηση αυτών των οργάνων είναι μάλλον δύσκολη. (Μαλιάρας Ν. 2004)

Όσον αφορά τα κρουστά, χρησιμοποιούνταν σίγουρα τα κρόταλα και τα κύμβαλα, τα τελευταία μάλιστα είχαν διάφορα μεγέθη με μικρότερα τα «χειροκύμβαλα», που πιθανόν να προσαρμόζονταν στα δάκτυλα. Στην υστεροβυζαντινή περίοδο συμπεριλήφθηκαν και οι «ανακαράδες», που ήταν ζεύγος μικρών ημισφαιρικών τυμπάνων με δέρμα, περσοαραβικής καταγωγής, που χρησιμοποιούνταν στις τελετές που λάμβαναν χώρα στο παλάτι και στον στρατό. (Μαλιάρας Ν. 2004)

4.6 Η Ύδραυλις

Το πιο μεγαλοπρεπές αρχαιοελληνικό μουσικό όργανο που ήταν επινόηση του Κτησίβιου του Αλεξανδρινού (περίπου 300-230 π.Χ.), ήταν ένα υδραυλικό όργανο, το πρώτο στην ανθρώπινη ιστορία που έφερε πλήκτρα, η ύδραυλις. Στη μεγαλοφυή αυτή εφεύρεση, ένας υδραυλικός μηχανισμός που βρισκόταν στη βάση της, εφοδίαζε με αέρα υψηλής και σταθερής πίεσης μία ή περισσότερες σειρές από διατεταγμένους αυλούς. Μέσω των πλήκτρων ο αέρας περνούσε από τον εκάστοτε επιλεγμένο αυλό από τον μουσικό, ώστε να παράγονται οι διάφοροι μουσικοί φθόγγοι.

Η ύδραυλις είχε μεγάλη απήχηση στην εποχή της, καθώς έκανε τρομερή εντύπωση και γρήγορα εξαπλώθηκε στον ελληνικό κόσμο. Μάλιστα υπάρχει και μία επιγραφή στους Δελφούς που χρονολογείται το 90 π.Χ. η οποία περιγράφει τη νίκη ενός βιρτουόζου της ύδραυλις από την Κρήτη, που πήρε μέρος στους μουσικούς αγώνες των Δελφών και αποδόθηκαν σε αυτόν και στους απογόνους του τιμές και προνόμια. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τη σπουδαιότητα που είχε το όργανο στον ελλαδικό χώρο, 150 χρόνια μετά την εφεύρεσή του. (Καρασμάνης Β. 2005)

Οι αρχαίες πηγές που είναι διαθέσιμες αποκαλύπτουν μεγάλη ποικιλία οργάνων όσον αφορά το μέγεθός τους, τον αριθμό των αυλών και το είδος τους (με γλωσσίδα ή χωρίς, ανοιχτοί ή κλειστοί), καθώς και τον ήχο που παρήγαν. Ο πιο κοινός τύπος είχε ύψος 1,5-2 μέτρα και διέθετε δύο αντλίες αέρα και 15-25 αυλούς. (Καρασμάνης Β. 2005)

Ο μηχανισμός παροχής σταθερής πίεσης αέρα αποτελούταν από μία κυλινδρική μπρούτζινη δεξαμενή γεμάτη με νερό, τον «βωμίσκο». Σε μικρή απόσταση από πυθμένα της δεξαμενής ήταν πακτωμένο ένα κοίλο μεταλλικό ημισφαιρικό δοχείο ο «πνιγέας», στραμμένο προς τα κάτω, με ανοίγματα στο κάτω μέρος, ώστε να υπάρχει ροή του νερού στο εσωτερικό του. Από την κορυφή του πνιγέα ξεκινούσαν δύο σωλήνες, από τους οποίους ο ένας κατάληγε σε μία αντλία αέρα και ο άλλος σε ένα οριζόντιο αεροκανάλι (ένα κανάλι για κάθε σειρά αυλών).

Η αντλία διέθετε μία βαλβίδα που άφηνε τον αέρα να εισέρχεται στο εσωτερικό της, αλλά όχι να εξέρχεται, διότι σφράγιζε όταν το έμβολο της αντλίας έσπρωχνε τον αέρα μέσα στον πνιγέα διαμέσου του σωλήνα. Ο αέρας που εγκλωβιζόταν στο επάνω τμήμα του πνιγέα είχε συνεχώς σταθερή πίεση, καθώς ο πλεονάζων αέρας διέφευγε από τα ανοίγματά του στον πυθμένα και η στάθμη του νερού στον βωμίσκο ήταν υψηλότερη από τη θέση του πνιγέα.

Ο δεύτερος σωλήνας οδηγούσε τον σταθερής πίεσης αέρα στο οριζόντιο κανάλι, στο επάνω τμήμα του οποίου ήταν προσαρτημένοι οι αυλοί κατά σειρά μεγέθους. Κάτω από κάθε αυλό υπήρχε μεταλλικό έλασμα που έφερε οπή και το κάθε έλασμα κινούνταν από ένα πλήκτρο. Όταν ο μουσικός πίεζε ένα πλήκτρο, το έλασμα κάτω από τον αυλό μετακινούνταν και η οπή του συνέπιπτε με αυτήν του αυλού, οπότε ο αέρας περνούσε μέσα από τον αυλό και παραγόταν ο ήχος. Ένα άλλο έλασμα επανάφερε το πλήκτρο στην αρχική του θέση, όταν πλέον δεν πιεζόταν. Ο μουσικός θα μπορούσε να πατάει συγχρόνως δύο πλήκτρα, καθώς χρησιμοποιούσε και τα δύο χέρια του.

Με αυτόν τον τρόπο η ιδιοφυής επινόηση του Κτησίβιου, μετέτρεπε τη διακοπτόμενη εισροή του αέρα από την αντλία, σε σταθερή ροή μέχρι το αεροκανάλι και τους αυλούς. (Καρασμάνης Β. 2005), (M. L. West 1992 p.114-118)

Η Ρώμη ήρθε σε επαφή με την ύδραυλι στο τέλος του 1ου αιώνα π.Χ. όπως παρουσιάζεται σε γραπτά του Κικέρωνα, του Πλίνιου του Πρεσβύτερου, του Λουκρίτιου κ.α. . Υιοθετήθηκε πολύ γρήγορα και έγινε το επίσημο όργανο έναρξης και λήξης των αγώνων και των μονομαχιών στις ρωμαϊκές αρένες. Χρησιμοποιούνταν επίσης σε ιδιωτικές εκδηλώσεις σε επαύλεις, σε θέατρα, ενώ στους γάμους παραδοσιακά μεταχειρίζονταν μικρά φορητά όργανα. Ο μηχανισμός και η μουσική του, κίνησε το ενδιαφέρον αρκετών Ρωμαίων Αυτοκρατόρων, όπως του Νέρωνα, ο οποίος μετέφερε όργανα από την Ελλάδα και έμαθε να παίζει ο ίδιος, του Καρακάλλου, του Ηλιογάβαλου, του Αλέξανδρου Σεβήρου και του Γαλλιηνού. (Καρασμάνης Β. 2005), (Filson L. 2019)

Η ύδραυλις ήταν ένα τεράστιο, μη φορητό και πολύπλοκο κατά την κατασκευή και την επισκευή του όργανο, στην αρχική του υδραυλική μορφή, η οποία σιγά σιγά άρχισε να αντικαθίσταται από την πνευματική εκδοχή του, όπου χρησιμοποιούνταν φυσερά αντί του υδραυλικού μηχανισμού. Η μετατροπή του οργάνου σε πνευματικό το καθιστούσε πιο εύχρηστο και στη μεταφορά και στη συντήρηση αλλά με μειωμένη ηχητική ποιότητα, λόγω της μη επίτευξης σε ικανοποιητικό βαθμό σταθερής ροής αέρα. Κατά τον 3ο αιώνα χρησιμοποιούνταν και τα δύο είδη, τόσο στη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία, όσο και στο νεοσύστατο Βυζάντιο. (Καρασμάνης Β. 2005)

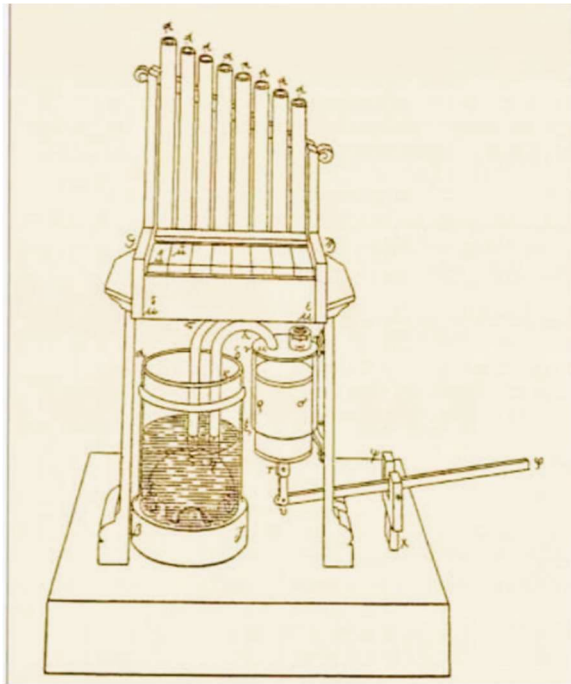
Μετά την πτώση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας το 476 μ.Χ. το όργανο εξαφανίστηκε από τη Δύση ενώ συνέχισε να χρησιμοποιείται στο Βυζάντιο, όπου επικράτησε ο πνευματικός τύπος, καθώς είχε εφευρεθεί μέθοδος εφοδιασμού των αυλών με αέρα σταθερής πίεσης. Μπορούσαν πλέον να κατασκευάζονται μεγάλα πνευματικά όργανα, αλλά και φορητά, χωρίς να

υποβαθμίζεται η ποιότητα του ήχου. Στην Ανατολική Αυτοκρατορία η ύδραυλις ήταν σε χρήση μέχρι και την τελική πτώση της το 1453 μ.Χ. και μετά εξαφανίστηκε. Έπαιζε μουσική σε όλες τις δημόσιες εκδηλώσεις και στον ιππόδρομο, ήταν σύμβολο κύρους και χρησιμοποιούνταν ως μέσω εντυπωσιασμού κατά τις επισκέψεις καλεσμένων και ξένων διπλωματικών αποστολών στο παλάτι. Εντάχθηκε επίσημα στο αυτοκρατορικό πρωτόκολλο από τον Κωνσταντίνο τον Πορφυρογέννητο, το οποίο προέβλεπε όλες τις περιστάσεις που έπρεπε να παίζει μουσική (παρελάσεις, τελετές στα ανάκτορα, στον ιππόδρομο κ.α.) (Καρασμάνης Β. 2005)

Στη Δύση η επανεμφάνιση του οργάνου λαμβάνει χώρα όταν το 757 μ.Χ. ο βυζαντινός Αυτοκράτορας Κωνσταντίνος ο Ε΄ ο επονομαζόμενος Κοπρώνυμος, έστειλε ως δώρο μία ύδραυλις στον νεοστευθέντα Βασιλιά των Φράγκων Πιπίνο τον Βραχύ, πατέρα του Καρλομάγνου. Το όργανο έκανε ιδιαίτερη εντύπωση και εξαπλώθηκε γρήγορα μέχρι και την Αγγλία. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι ο γιος του Καρλομάγνου, ο Λουδοβίκος ο Ευσεβής, προσέλαβε έναν βενετό ιερέα στις υπηρεσίες του, ο οποίος ήξερε να κατασκευάζει μουσικά όργανα, μία δεξιότητα που είχε αναπτύξει κατά την περίοδο που έμενε στην Κωνσταντινούπολη, εφ' όσον είχε υποσχεθεί στο Βασιλιά ένα όργανο περισσότερο ελληνικό. (Filson L. 2019)

Ενώ στο Βυζάντιο προς το τέλος της ύπαρξής του, η πνευματική πλέον εκδοχή του οργάνου ήταν μεν σε χρήση αλλά εντοπιζόταν μόνο στο παλάτι, στον δυτικό κόσμο κέρδιζε συνεχώς έδαφος. Σταδιακά ενσωματώθηκε στη μουσική παράδοση της δύσης και έγινε άρρηκτα συνυφασμένο με τους καθολικούς ναούς, καθώς υιοθετήθηκε από την καθολική εκκλησία λόγω της μεγαλοπρέπειας της εμφάνισής του αλλά και του ήχου του. Στην αλλαγή της χιλιετίας σχεδόν όλες οι καθολικές ευρωπαϊκές εκκλησίες ήταν ήδη εξοπλισμένες με την ύδραυλι, που εξελίχθηκε στο ξακουστό μουσικό εκκλησιαστικό όργανο που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα και εξακολουθεί να εξελίσσεται. (Filson L. 2019)

Το αρχαιότερο όργανο ανακαλύφθηκε στο Δίον και χρονολογείται στον 1ο αιώνα μ.Χ.. Πρόκειται για την υδραυλική μορφή της μιας και η πνευστή δεν είχε επινοηθεί ακόμα. Βρέθηκε το 1992 και σήμερα εκτίθεται στο μουσείο του Δίου μετά την συντήρηση και την αποκατάστασή της.



Εικόνα 17: Η Ύδραυλις

5. Οικοδομική Τεχνολογία

5.1 Αρχαία Οικοδομική Τεχνολογία

Η στέγαση ήταν ανέκαθεν μία βασική ανάγκη των ανθρώπων. Η καθιέρωση της μόνιμης εγκατάστασης σε έναν τόπο οδήγησε στη δημιουργία των πρώτων οργανωμένων οικισμών κατά τη νεολιθική εποχή. Στον ελλαδικό χώρο οι περισσότερες πόλεις ήδη από την εποχή του χαλκού αποτελούνταν από δύο ξεχωριστές περιοχές, την Ακρόπολη και το Άστυ.

Η Ακρόπολη οικοδομούνταν στην ψηλότερη τοποθεσία (αν υπήρχε) και μέσα στα τείχη της, που ήταν και η μοναδική οχύρωση που υπήρχε, βρισκόνταν οι ναοί και τα ανάκτορα. Σε περίπτωση κινδύνου οι κάτοικοι της πόλης έβρισκαν καταφύγιο εκεί. Το Άστυ που αποτελούταν από τα σπίτια των κατοίκων και την αγορά, εκτείνονταν περιμετρικά της Ακρόπολης. Η διάταξη των πόλεων, που χτίζονταν χωρίς σχέδιο, παρέμεινε έτσι μέχρι και τα αρχαϊκά χρόνια (750-479 π.Χ.) με μοναδική διαφορά το ότι δεν υπήρχαν πλέον ανάκτορα.

Η αλλαγή της μορφής των πόλεων συντελέστηκε κατά τα κλασικά χρόνια. από τον 5ο αιώνα π.Χ. οι νέες πόλεις δεν χτίζονταν ελεύθερα αλλά βάση δομικού σχεδίου που περιλάμβανε οικοδομικά τετράγωνα και δρόμους παράλληλους και κάθετους μεταξύ τους. Η καινοτόμος μέθοδος έφερε το όνομα «Ιπποδάμειος» από τον Ιππόδαμο που την καθιέρωσε και χρονικά συν έπεσε με τη δημιουργία των αυτόνομων πόλεων-κρατών και την εγκαθίδρυση της δημοκρατίας, η οποία γέννησε την ανάγκη διεύρυνσης των δημοσίων κοινόχρηστων χώρων. Οι νέες πόλεις ήταν οχυρωμένες και χαρακτηρίζονταν από τη γεωμετρικότητά τους και τους ανοιχτούς δημόσιους χώρους που ήταν ιδιαίτερα σημαντικοί. (Μονιούδη-Γαβαλά Δ. 2015 p. 6-10)

Όλα τα οικοδομήματα των αρχαίων Ελλήνων, είτε προορίζονταν για ιδιωτική χρήση (κατοικίες στην πόλη ή στην ύπαιθρο), είτε για δημόσια (ναοί, δικαστήρια, αίθουσες συνεδριάσεων κ.α.), διέθεταν θεμέλια. Το είδος των θεμελίων που κατασκευάζονταν καθοριζόταν από το έδαφος πάνω στο οποίο γινόταν η οικοδόμηση. Στην καλύτερη των περιπτώσεων (όχι και τόσο συχνά) υπήρχε φυσικός βράχος, ο οποίος λαξεύονταν αποκτώντας επιμήκεις οριζόντιες οπές, μέσα στις οποίες χτίζονταν τα θεμέλια από ακατέργαστους (αργούς) λίθους, συνδεδεμένους με λάσπη. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις σκάβονταν βαθιά και πλατιά χαντάκια που γεμίζονταν ως ένα σημείο με άμμο και πάνω από την άμμο ξεκινούσε το χτίσιμο. Αν το έδαφος ήταν υγρό, τότε πάνω από την άμμο τοποθετούνταν επιπλέον ένα στρώμα χαλικιών από ασβεστόλιθο, ώστε να απορροφά την υγρασία και να μειώνει τις επιπτώσεις της. Τα κατώτερα στρώματα των θεμελίων είχαν μεγαλύτερο πλάτος από τα ανώτερα και ήταν φαρδύτερα από τους τοίχους που υποβάσταζαν, ενώ κάθε τοίχος ή συστοιχία κίωνων είχε το δικό της θεμέλιο. (Τανούλας Τ. 2005)

Οι τοίχοι του οικοδομήματος στο κατώτερο τμήμα τους αποτελούνταν από το ίδιο υλικό με τα θεμέλια δηλαδή ακατέργαστους λίθους ενώ ψηλότερα χρησιμοποιούνταν πλιθιά (ωμά τούβλα). Το συνδετικό υλικό και για τους λίθους και για πλιθιά ήταν η λάσπη. Το κονίαμα δεν χρησιμοποιήθηκε από τους Έλληνες. (Καλαβρία Ε.- Καραπαναγιώτου Α. 2007)

Ανάλογα με το σχήμα των λίθων που χρησιμοποιούνταν και τον τρόπο σύνδεσής τους μπορούν να διακριθούν τρία διαφορετικά συστήματα τοιχοδομίας. Το πολυγωνικό, με πέτρες πολλών πλευρών, είτε εντελώς ακατέργαστες με τραχιές επιφάνειες και ακανόνιστη μορφή, τοποθετημένες χωρίς λείανση ή διαμόρφωση (ακατέργαστο πολυγωνικό), είτε επεξεργασμένες που εφάπτονταν τέλεια μεταξύ τους με ευθύγραμμους ή καμπύλους αρμούς (ευθύγραμμο πολυγωνικό και πολυγωνικό λέσβιο αντίστοιχα). Το πολυγωνικό και δη το ακατέργαστο ήταν

το κατεξοχήν σύστημα που χρησιμοποιούνταν στις οχυρώσεις. Το τραπεζιόσχημο σύστημα όπου οι λίθοι είχαν σχήμα τραπεζίου, είτε διαφορετικών διαστάσεων χωρίς σειρά (ακανόνιστο), είτε παρόμοιων σχηματίζοντας σειρές (ψευδο-ισόδομο και ισόδομο). Τέλος το ορθογώνιο σύστημα αποτελούμενο από ορθογώνιες πέτρες, άλλοτε διαφορετικών μεγεθών (ακανόνιστο), άλλοτε παρόμοιων (ψευδο-ισόδομο) ή εντελώς όμοιων παραταγμένων στη σειρά (ισόδομο ορθογώνιο σύστημα). (Λαμπράκη Α. 1984), (Rossi C.- Russo F.- Russo F. 2009 p. 311)

Οι στέγες που ήταν δίριχες ή τετράριχες, ήταν κατασκευασμένες κατά κανόνα από ξύλο και καλύπτονταν με άχυρα ή χόρτα, σχισθόπλακες ή με κεραμίδια από πηλό. (Καλαβρία Ε.- Καραπαναγιώτου Α. 2007)

Όσον αφορά τις κατοικίες συνέχισαν να χτίζονται με τα ίδια υλικά και με τον ίδιο τρόπο μέχρι και τα ελληνιστικά χρόνια με μόνη διαφορά ότι στη ελληνιστική εποχή, η κοινωνική θέση προβάλλονταν από τα μέγεθος και τη πολυτελή κατασκευή των σπιτιών, με έκδηλη τη διάκριση ιδιωτικών κτισμάτων πλουσίων και φτωχών. Για τα δημόσια κτήρια και δη για τους ναούς δεν ισχύει το ίδιο. (Καλαβρία Ε.- Καραπαναγιώτου Α. 2007)

Οι πρώτοι ναοί δεν είχαν καμία διαφορά ούτε στην τεχνική ούτε στα υλικά με τις κατοικίες, όμως η εξέλιξη που ακολούθησε από τα αρχαϊκά χρόνια και έκτοτε ήταν εντυπωσιακή, συνυφασμένη πάντα με την επιστημονική και την τεχνολογική πρόοδο των επόμενων αιώνων.

Αρχικά προστέθηκαν νέα υλικά όπως ο πηλός με σκοπό την προστασία από τις καιρικές συνθήκες των ήδη χρησιμοποιούμενων, που σιγά σιγά αντικαταστάθηκαν από νέα. Για παράδειγμα οι ξύλινοι κίονες που επενδύθηκαν με πήλινες πλάκες αντικαταστάθηκαν από λίθινους, από μάρμαρο, ασβεστόλιθο ή πυρόλιθο. Η αλλαγή των υλικών καθόρισε και τους δύο αρχιτεκτονικούς ρυθμούς που επικράτησαν, τον Δωρικό και τον Ιονικό.

Πέρα από τα θεμέλια που κατασκευάζονταν με τον ίδιο τρόπο, το υπόλοιπο κτίσμα ήταν λίθινο αποτελούμενο από κατεργασμένα κομμάτια τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο, πλην της σκεπής που ήταν ξύλινη. Στην αρχαϊκή περίοδο μόνο στο άνωθεν τμήμα των ναών χρησιμοποιούνταν σύνδεσμοι από μέταλλο που ένωναν τους παρακείμενους λίθους, ενώ κατώτερο συγκρατούνταν στις θέσεις τους λόγω τριβής. Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι αρχαίοι Έλληνες δεν χρησιμοποιούσαν κονίαμα για τη σύνδεση των λίθων. Στην κλασική εποχή όλοι οι λίθοι του οικοδομήματος προσδένονταν μεταξύ τους με οριζόντιους αλλά και με κατακόρυφους σιδερένιους συνδέσμους.

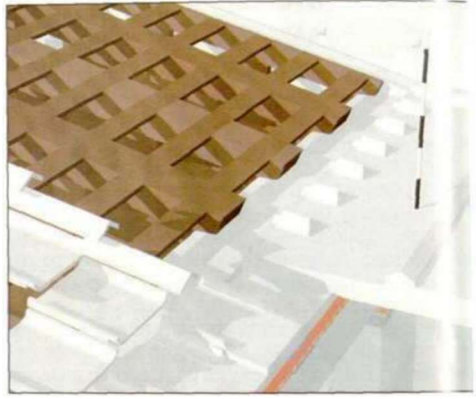
Η μέθοδος κατασκευής των συνδέσμων υποδεικνύει το υψηλό τεχνολογικό επίπεδο της εποχής καθώς, πέραν της προσεκτικής επιλογής των κοιτασμάτων με τη μέγιστη δυνατή περιεκτικότητα σε σίδηρο που χρησιμοποιούσαν, εφάρμοζαν σφυρηλάτηση εν θερμώ και εν ψυχρό σε διαδοχικές στρώσεις μαλακού και σκληρού σιδήρου κάνοντας το μέταλλο ανοξειδωτο. Για μεγαλύτερη ασφάλεια έναντι της οξειδωσης των συνδέσμων, που μπορούσε να σπάσει τις πέτρες, τα κενά μεταξύ μαρμάρου και σιδήρου καλύπτονταν με μόλυβδο που επιπλέον προσέδιδε και ελαστικότητα στην κατασκευή.

Ένα ακόμη εντυπωσιακότερο στοιχείο είναι η επιλογή του σχήματος των συνδέσμων, που ήταν λεπτότερο στα σημεία ένωσης των μαρμάρων ώστε σε περίπτωση σεισμού, να διαχωριστεί το μέταλλο χωρίς να υποστεί ζημιά το μάρμαρο. (Τανούλας Τ. 2005)

Οι κίονες των ναών αποτελούνταν από κυλινδρικά κομμάτια μαρμάρου ή ασβεστόλιθου (σφόνδυλοι) που τοποθετούνταν το ένα πάνω στο άλλο ώστε να φτάσουν στο επιθυμητό ύψος, το οποίο καθοριζόταν από τις διαστάσεις του ναού. Αρχικά προσδιοριζόταν το μέγεθος του κτίσματος, αναλόγως της τοποθεσίας ή των διαθέσιμων οικονομικών πόρων και στη συνέχεια υπολογίζονταν οι διαστάσεις των επιμέρους στοιχείων του.

Για να διασφαλιστεί η σταθερότητα αλλά και η ελαστικότητα των κίωνων τα τμήματά τους συνδέονταν ανά δύο με ένα κυλινδρικό κομμάτι ξύλου (τον πόλο), στερεωμένο σε ξύλινη βάση επί του κατώτερου από τα δύο κομμάτια, ενώ υπήρχαν λαξευμένες κοιλότητες όπου εισέρχονταν οι πόλοι και οι κίονες έμοιαζαν μονοκόμματοι. Μετά την τοποθέτησή τους λαξεύονταν και αποκτούσαν ραβδώσεις, καταλήγοντας στη γνωστή μορφή τους.

Το κύριο υλικό της στέγης ήταν το ξύλο που στους αρχικούς ναούς ήταν και το μοναδικό. Οι δοκοί που αποτελούσαν τον σκελετό συνδέονταν με καρφιά ώστε να σχηματίζουν μία δίριχη σκεπή και πάνω σε αυτές προσαρμόζονταν σανίδες καλύπτοντας πλήρως τις επιφάνειες. Αργότερα πάνω από τον σκελετό καρφώνονταν σανίδες αφήνοντας ορθογώνια κενά στα οποία τοποθετούνταν άλλες σανίδες δημιουργώντας ορθογώνια φατώματα (εσοχές) και όλη η στέγη καλυπτόταν με μαρμάρινες κυματιστές πλάκες που προστάτευαν το οικοδόμημα από τα νερά της βροχής και γι' αυτό το λόγο κατέληγαν σε τελείωμα με σχήμα που επέτρεπε την αποστράγγισή τους. (Τανούλας Τ. 2005)



Εικόνα 18: Φωτορεαλιστική απόδοση στέγης

Για να ξεκινήσει βεβαίως η οικοδόμηση θα έπρεπε πρώτα τα υλικά να φτάσουν στην τοποθεσία που προοριζόταν να κατασκευαστεί ο ναός. Αυτό προϋπέθετε την εξόρυξη των κατάλληλων πετρωμάτων, συνήθως από τα κοντινότερα λατομεία και τη μεταφορά τους στο σημείο. Αφού γινόταν η εξόρυξη, το πέτρωμα κατεργαζόταν ώστε να απαλλαγεί από τα περιττά στοιχεία για να γίνει ελαφρύτερο και μεταφερόταν πάνω σε κορμούς δέντρων που περιστρέφονταν σε σανίδες οι οποίες τοποθετούνταν στο έδαφος, δημιουργώντας διάδρομο μέχρι τις άμαξες για την τελική μεταφορά. (Τανούλας Τ. 2005)

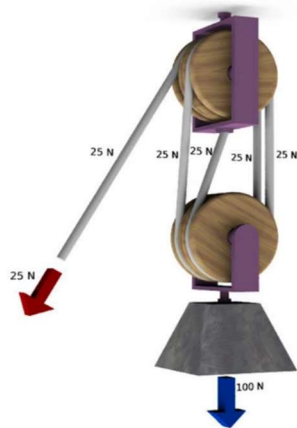
Όταν έφτανε στο σημείο του προορισμού επεξεργαζόταν ώστε να αποκτήσει το κατάλληλο σχήμα και ξεκινούσε το χτίσιμο. Αφού κατασκευάζονταν τα θεμέλια και η βάση του οικοδομήματος, δημιουργούνταν ικρίωμα (σκαλωσιά) για την άρση των λίθων που όμως είχε βοηθητικό ρόλο, διότι για τη άνοδο τόσο μεγάλων βαρών ήταν απαραίτητη η χρήση ανυψωτικών μηχανών. Πριν την αρχαϊκή εποχή που δεν υπήρχαν τέτοιες μηχανές, χρησιμοποιούνταν αναχώματα και ο σωματικός κόπος των χτιστών ήταν μεγαλύτερος καθώς η εργασία ήταν επίπονη. (Τανούλας Τ. 2005)

Η τεχνολογία της ανύψωσης βαρών εφαρμόστηκε πρώτα στα πλοία, αλλά η χρήση της στην οικοδόμηση ήταν απαραίτητη οπότε και μεταφέρθηκε στην ξηρά. Οι ανυψωτικές μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν λειτουργούσαν υπό τις ίδιες αρχές με τις σύγχρονες. Αποτελούνταν από ένα πολύσπαστο και ένα βαρούλκο.

Το πολύσπαστο είναι μία διάταξη που απαρτίζεται από τουλάχιστον δύο τροχαλίες που διαθέτουν διπλή θέση για σκοινί. Η μία από αυτές είναι αναρτημένη σε σταθερό σημείο και από τη μία θέση της περνά ένα σκοινί, τυλίγεται στην ελεύθερη τροχαλία, περνά από τη δεύτερη θέση της σταθερής, έπειτα από τη δεύτερη θέση της ελεύθερης και δένεται στον άξονα

ή στο πλαίσιο της σταθερής. Τραβώντας το ελεύθερο άκρο του σκοινιού ανυψώνεται η ελεύθερη τροχαλία, το πλαίσιο της οποίας φέρει άγκιστρο για την άρση του βάρους. Με αυτόν τον τρόπο η δύναμη που ασκείται στο ελεύθερο άκρο του σκοινιού τετραπλασιάζεται και μπορεί να ανυψωθεί βάρος τετραπλάσιας τιμής από τη δύναμη, σε ύψος ίσο με το $\frac{1}{4}$ του μήκους του σκοινιού που έχει τραβηχτεί. Αν τοποθετηθεί στο σύστημα ακόμα μία τροχαλία, η δύναμη εξαπλασιάζεται αλλά το ύψος μειώνεται στο $\frac{1}{6}$ του μήκους.

Με τη χρήση βαρούλκου η ελκτική δύναμη στο άκρο του σκοινιού ασκείται από κάποιον αριθμό ανδρών οπότε και διαμοιράζεται, καθιστώντας την εργασία απλή και πολύ γρήγορη έναντι άλλου τρόπου. (Κορρές Μ. 2005)



Εικόνα 19: Πολύσπαστο

5.2 Ρωμαϊκή Οικοδομική Τεχνολογία

Οι Ρωμαϊκές πόλεις ακολουθώντας το Ιπποδάμειο σύστημα, χτίζονταν βάση αυστηρού δομικού σχεδίου που περιλάμβανε δύο κύριες λεωφόρους οι οποίες τέμνονταν κάθετα μεταξύ τους και ονομάζονταν *cardo* και *decumanus*. Οι υπόλοιποι δρόμοι ήταν παράλληλοι σε αυτούς σχηματίζονταν έτσι οικοδομικά τετράγωνα, με τα δημόσια κτήρια να βρίσκονταν στο κέντρο και τα λοιπά κτίρια χτισμένα περιφερειακά. (Μονιούδη-Γαβαλά Δ. 2015 p.22). Η οχύρωση ήταν πολύ σημαντική διότι παρείχε την απαιτούμενη κοινωνική ασφάλεια των κατοίκων. Για

αυτόν τον λόγο οι πόλεις περικυκλώνονταν με όσο το δυνατόν ισχυρά τείχη. (Rossi C.- Russo F.- Russo F. 2009 p. 324)

Οι οικοδομικές τεχνικές που χρησιμοποιούσαν οι Ρωμαίοι μέχρι και τον 1ο αιώνα για την κατασκευή των κατοικιών και των δημόσιων κτιρίων, δεν διέφεραν πολύ από αυτές των αρχαίων Ελλήνων, με μόνη διαφορά ότι χρησιμοποιούσαν επιπλέον και μείγμα χαλικών και κονιάματος. Το κονίαμα κατασκευαζόταν με καύση ασβεστόλιθου για την παραγωγή ασβέστη, ο οποίος στη συνέχεια σβήνονταν με νερό και αποτελούσε συνδετικό υλικό των πέτρινων και των πλίνθινων ζωνών στους τοίχους. (Bardill J. 2008 p.335, 336)

Το κονίαμα ήταν γνωστό από τον 5ο αιώνα π.Χ. στους Βαβυλωνίους και ήταν γενικά σε χρήση σε περιοχές πλούσιες σε ασβεστολιθικά πετρώματα. Οι Ρωμαίοι όμως ήταν οι πρώτοι που ανακάλυψαν και χρησιμοποίησαν ένα κονίαμα με εκπληκτικές ιδιότητες, που σήμερα ονομάζεται ποζολάνη.

Πρόκειται για ένα ηφαιστειακό κατάλοιπο που αποτελούνταν από ηφαιστειακή στάχτη και τέφρα, πλούσιο σε οξειδίο του πυριτίου και του αργύρου, καθώς και ένα μεταβλητό ποσοστό οξειδίου του ασβεστίου και του μαγνησίου. Όταν αναμειγνύονταν με ασβέστη και νερό παραγόταν ένα κονίαμα που είχε τις ίδιες ιδιότητες με το σύγχρονο τσιμέντο. Αν στο μείγμα προστίθεντο και αδρανή υλικά όπως άμμος, χαλίκια και περισσότερο νερό, δημιουργούταν ένα ρευστό σκυρόδεμα, έτοιμο να χρησιμοποιηθεί σε καλούπια ξύλου, το οποίο σκληραίνοντας είχε τη σταθερότητα της πέτρας.

Η ποζολάνη πέραν της ανθεκτικότητας και της συνεκτικότητας που διέθετε, είχε και την εκπληκτική ικανότητα να είναι υδραυλική, δηλαδή να μπορεί να τοποθετηθεί και κάτω από το νερό. Αυτός ήταν και ο λόγος που χρειαζόταν λιγότερο ασβέστη, πράγμα που την καθιστούσε χαμηλού κόστους υλικό. Το όνομα ποζολάνη είναι σύγχρονο, οι Ρωμαίοι το ονόμαζαν «opus caementicium».

Η ανακάλυψη της ποζολάνης έγινε τυχαία πιθανόν γύρω στον 3ο αιώνα π.Χ. . Η χρήση της ήταν αρχικά περιορισμένη, με ιδιότητες υπό εξερεύνηση, διότι πιστεύαν ότι ήταν δυσεύρετο υλικό που υπήρχε μόνο σε ορισμένες περιοχές γύρω από τον Βεζούβιο. Μετά την ανακάλυψη της και για τους επόμενους τρεις αιώνες χρησιμοποιήθηκε μόνο για την κατασκευή των οχυρώσεων των πόλεων, καθώς ήταν ένα αδιαμφισβήτητα φθηνό υλικό και μία περισσότερο αποτελεσματική επιλογή σε σχέση με τα παραδοσιακά υλικά.

Μετά τη συνειδητοποίηση ότι το πολύτιμο συστατικό υπήρχε σε πλεόνασμα στην κεντρική Ιταλία, ξεκίνησε η σταδιακή ένταξή του στα οικοδομικά υλικά, ωστόσο αποκλειστικά σε στρατιωτικές κατασκευές. Δεν ήταν εύκολο να αποδεχθούν ότι ένα τόσο ταπεινό υλικό θα μπορούσε να αντικαταστήσει τη χρήση της πέτρας στην οικοδόμηση των μεγάλων δημόσιων κτιρίων ή ακόμα και των κατοικιών. Αυτός ο ενδοιασμός σε συνδυασμό με την κατευθυντήρια γραμμή της δημόσιας εξουσίας προς τον παραδοσιακό κλασικισμό, καθυστέρησε την εφαρμογή του επαναστατικού συστατικού σε δομές εντός των τειχών. Η μόνη καινοτομία που είχε επιτευχθεί μέχρι τις αρχές του 1ου αιώνα, ήταν η επικάλυψη των κτιρίων με ψημένο τούβλο, (επιπόνηση των Ρωμαίων) που άλλωστε ήταν από τα συνηθέστερα υλικά.

Μετά τη διάλυση των δισταγμών για τη χρήση της ποζολάνης στα μέσα του 1ου αιώνα τα αποτελέσματα ήταν εκπληκτικά. Οι ιδιωτικές κατοικίες, τα μεγάλα υδραγωγεία, τα μεγαλοπρεπή δημόσια κτίρια όπως αμφιθέατρα, δικαστήρια, ναοί αλλά και οι οχυρώσεις, χτίζονταν με το ελάχιστο δυνατό κόστος συνδυάζοντας επιπλέον την ανθεκτικότητα και τη συνοχή της κατασκευής. Η ανακάλυψη και η αξιοποίηση του συγκεκριμένου υλικού ήταν η ρωμαϊκή παρακαταθήκη στην παγκόσμια αρχιτεκτονική. (Rossi C.- Russo F.- Russo F. 2009 p. 319- 325)

Όσον αφορά τα μηχανήματα ανύψωσης βαρών, ελληνικής επιπόνησης, χρησιμοποιήθηκαν δεόντως από τους Ρωμαίους. Όπως έχει αναφερθεί, η πρωταρχική χρήση τους ήταν στα πλοία και ποτέ δεν εγκαταλείφθηκε. Έτσι πολλές φορές επιστρατεύονταν ναυτεργάτες για να φέρουν σε πέρας μία εργασία στην ξηρά με ναυτικές μηχανές. Μία τέτοια περίπτωση ήταν η τοποθέτηση του σκέπαστρου του Κολοσσαίου, έκτασης 20.000 τετραγωνικών μέτρων, το οποίο ανυψώθηκε στα 55 μέτρα με την εργασία πάνω από 2.000 ναυτών, οι οποίοι χειρίζονταν 240 βαρούλκα συγχρόνως (80 μ.Χ. περίπου).

Ανυψωτικά μηχανήματα χρησιμοποιήθηκαν σε πολλές κατασκευές, όπως σε ταφικά μνημεία, σε υδραγωγεία και γενικά σε ψηλά και ογκώδη κτίσματα. Μία περίπτωση που χρήζει ιδιαίτερης μνείας είναι η ανύψωση του θόλου στο Μουσουλείο του Θεοδώριχου στη Ραβέννα, που έλαβε χώρα 4,5 αιώνες μετά από αυτήν στο Κολοσσαίο (534 μ.Χ.). Ο τεράστιος μονόλιθος 230 τόνων ανυψώθηκε για να τοποθετηθεί στην κορυφή του οικοδομήματος με τη βοήθεια 24 πολύσπαστων, στερεωμένα σε ανθεκτικό ικρίωμα και 12 βαρούλκων που το καθένα χειριζόταν ομάδα 16 ατόμων. (Κορρές Μ. 2005)

5.3 Βυζαντινή Οικοδομική Τεχνολογία

Η ποικιλομορφία που παρουσίαζε η βυζαντινή οικοδομική τεχνολογία είναι ένα δεδομένο που δεν εξέπληξε τους, όχι πολυάριθμους, μελετητές της, οι οποίοι κλήθηκαν να ασχοληθούν με την εξέλιξη που συντελέστηκε στην αχανή έκταση του Βυζαντίου, σε διάρκεια έντεκα συναπτών αιώνων. Λόγω της έλλειψης γραπτών πηγών η έρευνα επικεντρώθηκε στα μνημεία που έχουν αντέξει στον χρόνο, τα οποία ως επί το πλείστον είναι ναοί και οχυρώσεις. Δείγματα κατοικιών ή άλλων κτιρίων δεν υπάρχουν.

Τα εναπομείναντα κτίσματα είναι ανομοιόμορφα κατανομημένα στις περιοχές που βρίσκονται. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει πληθώρα κτισμάτων σε κάποιες τοποθεσίες, ενώ σε άλλες ελάχιστα. Λόγου χάρη στην Κωνσταντινούπολη σώζεται μόλις το 6% των ναών που είχαν χτιστεί δυσκολεύοντας τη διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. (Μαμαλούκος Σ. 2005)

Οι πόλεις στην πρωτοβυζαντινή περίοδο (μέχρι τον 7^ο αιώνα) οικοδομούνταν ακολουθώντας την ελληνορωμαϊκή παράδοση, δηλαδή βάση δομικού σχεδίου. Αποτελούνταν από δύο μεγάλες λεωφόρους που τέμονταν κάθετα διαιρώντας την πόλη και οικοδομικά τετράγωνα που χωρίζονταν μεταξύ τους με δρόμους, ενώ η οχύρωση ήταν απαραίτητη για κάθε πόλη. Από τον 7^ο αιώνα και μετά φαίνεται ότι το δομικό σχέδιο άρχισε να μην εφαρμόζεται αυστηρά και σιγά σιγά η γεωμετρική μορφή των πόλεων μεταβλήθηκε σε πιο ελεύθερη μορφή. (Μονιούδη-Γαβαλά Δ. 2015 p.22)

Ένα απαραίτητο στοιχείο όλων των κτισμάτων, όπως ακριβώς και σήμερα, ήταν τα θεμέλια από όπου ξεκινούσαν οι εργασίες. Αναλόγως της σύνθεσης και τα χαρακτηριστικά του εδάφους έχουν βρεθεί διάφοροι τρόποι θεμελίωσης, που όμως δεν εξαρτώνταν μόνο από την περιοχή αυτή καθ' αυτή αλλά και από άλλους παράγοντες όπως η διαθεσιμότητα των υλικών, το οικονομικό υπόβαθρο, τις οικοδομικές παραδόσεις μιας περιοχής και τη χρονική εξέλιξη αυτών.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων ανοίγονταν ικανοποιητικού μεγέθους τάφροι και μέσα σε αυτούς κατασκευάζονταν τα θεμέλια από ακατέργαστους (αργούς) λίθους της περιοχής, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέγεθος ή και λίθους παλαιότερων ερειπωμένων ή σε αχρηστία κτισμάτων. Βεβαίως υπήρχαν και πλινθόκτιστα θεμέλια όμως ο κανόνας ήταν τα λιθόκτιστα. Κάθε τοίχος ή συστοιχία κίωνων είχε το δικό του θεμέλιο, κατά το ελληνιστικό πρότυπο, και σε πολλές περιπτώσεις το ίδιο συνέβαινε και σε μεμονωμένους κίονες.

Σε διάφορες περιοχές όπως στην Μικρά Ασία και την βόρεια και κεντρική Ελλάδα, τα θεμέλια ενισχύονταν με ξύλινες δοκούς που τοποθετούνταν οριζόντια στο ανώτερο τμήμα τους δημιουργώντας ανθεκτικές εσχάρες στο σχήμα της κάτοψης του οικοδομήματος. Οι παλαιότεροι ναοί της περιοχής του Κιέβου φέρουν τη συγκεκριμένη ενίσχυση, που είναι βέβαιο στοιχείο μεταφοράς βυζαντινής τεχνολογίας. (Μαμαλούκος Σ. 2005)

Δύο κύριες κατηγορίες τοιχοδομίας μπορούν να διακριθούν, οι οποίες σχετίζονταν τόσο με τη γεωγραφική κατανομή των περιοχών όσο και με τη χρονολογική τοποθέτηση των κτισμάτων. Στην πρώτη εμπίπτουν κατασκευές εξ' ολοκλήρου από λίθους ακατέργαστους ή λαξευτούς, ενώ στη δεύτερη, όπου μπορούν να αναγνωριστούν και υποκατηγορίες, εμφανίζονται δομές από συνδυασμούς λίθων (ακατέργαστων ή λαξευτών) με τούβλα (πλιθιά).

Η πρώτη κατηγορία οικοδόμησης εμφανιζόταν σε όλη τη διάρκεια της βυζαντινής κυριαρχίας σε περιοχές που ήταν πλούσιες σε πετρώματα αποδεκτής ποιότητας όπως η Συρία, η Αρμενία, η Γεωργία, η βόρεια Μεσοποταμία, η Μικρά Ασία, η Ρόδος και η Κύπρος. Σε άλλες περιοχές, που δε διέθεταν τα κατάλληλα υλικά, η οικοδόμηση αποκλειστικά με λίθους έλαβε χώρα μέχρι και τον 5ο αιώνα, ενώ μειώθηκε στη συνέχεια πιθανό για οικονομικούς λόγους, διότι η μεταφορά της πέτρας ήταν ακριβότερη από αυτή των τούβλων.

Χαρακτηριστικά κτίσματα του 4ου και 5ου αιώνα που ανήκαν σε αυτήν την κατηγορία στην Κωνσταντινούπολη ήταν οι γέφυρες υδραγωγείου, τα Ανατολικά Μακρά Τείχη, η Ροτόντα δίπλα στον ιππόδρομο κ.α. . Στη συνέχεια η λιθοδόμηση περιορίστηκε σε επίπεδες κατασκευές όπως π.χ. σε προβλήτες, στο περιστύλιο του Μεγάλου Παλατιού (στοές που αυλίζονταν) και σε κάποιους ναούς. (Bardill 2008 p. 336, 337). Η οικοδόμηση με λίθους γινόταν στα χαμηλότερα τμήματα των κατασκευών από συμπαγείς πέτρες και ψηλότερα από πέτρινα θραύσματα ή μικρότερους λίθους συνδεδεμένους με κονίαμα.

Το κονίαμα κατασκευαζόταν με καύση ασβεστόλιθου οπότε και παραγόταν ασβέστης που έσβηνε με νερό. Αν η πρώτη ύλη είχε περιεκτικότητα λιγότερη από 10% σε άργιλο, το κονίαμα ήταν μικρής αντοχής και μη υδραυλικό που διαλύονταν στο νερό. Για την παραγωγή κονιάματος υψηλής αντοχής έπρεπε στο μείγμα να προστεθεί ποζολάνη, που δεν ήταν διαθέσιμη στη βυζαντινή επικράτεια παρά μόνο σε λίγες περιοχές όπως η Κιλικία. Εναλλακτικά μπορούσε να προστεθεί θρυμματισμένο τούβλο στον ασβέστη ώστε το κονίαμα να αποκτήσει παρόμοια υδραυλικά χαρακτηριστικά, κάτι που έχει αποδειχθεί από τις αναλύσεις στο κονίαμα της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη και της Αγίας Σοφίας στη Θεσσαλονίκη. Διαφορετικά η πρώτη ύλη θα έπρεπε να περιέχει 10% με 40% άργιλο. Το

συγκεκριμένο υλικό με υδραυλικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιήθηκε σε κατασκευές λιμανιών όπου ξύλινα κιβώτια γεμάτα με κονίαμα στερεοποιήθηκαν κάτω από το νερό.

Σε περιοχές της Μικράς Ασίας της Ελλάδας και των Βαλκανίων χρησιμοποιήθηκε κονίαμα κατώτερης ποιότητας από το ρωμαϊκό αλλά σε πολύ μικρότερη αναλογία από τους λίθους καθιστώντας το μείγμα να μην πιο άμορφο σε σύγκριση με το ρωμαϊκό, αλλά μπορούσε να στερεοποιηθεί πολύ γρηγορότερα με ικανοποιητικό αποτέλεσμα. (Bardill 2008 p.335, 336)

Η δεύτερη κατηγορία οικοδόμησης που εφαρμοζόταν στις περισσότερες περιοχές της βυζαντινής επικράτειας ήταν το χτίσιμο σε ζώνες. Ακατέργαστοι, κατεργασμένοι ή ημικατεργασμένοι λίθοι σε σειρές, εναλλάσσονταν με σειρές από τούβλα. Πρόκειται για την εξέλιξη της ρωμαϊκής μεθόδου «opus mixtum». Μάλιστα σε αυτήν κατηγορία εμφανίζονται διάφορες παραλλαγές.

Μία τεχνική που χρησιμοποιήθηκε ήταν ζώνες από κονίαμα με μικρούς λίθους ή χαλίκια να εναλλάσσονται με ζώνες από τούβλα, λειτουργώντας οι τελευταίες σαν συνδετικές και ισοπεδωτικές στρώσεις. Παραδείγματα αυτής της τεχνικής είναι η Ροτόντα, το Οκτάγωνο και τα τείχη της Θεσσαλονίκης, ο υπόδρομος της Κωνσταντινούπολης που υποδεικνύει ότι χρησιμοποιούνταν από την ίδρυση της Πόλης, το ανάκτορο του Αντίοχου, τα χερσαία τείχη το προπύλαιο της Αγίας Σοφίας του Θεοδοσίου του Β΄ κ.α. που αποδεικνύουν τη συνέχιση μέχρι και τον 5ο αιώνα

Άλλη παραλλαγή του συστήματος ήταν η εναλλαγή ζωνών ασβεστολιθικών ή πράσινων λίθων με τούβλα στον 6ο αιώνα (Αγία Σοφία, Λουτρά Ζευξίππου, Άγιοι Σέργιος και Βάκγος κ.α.) (Bardill 2008 p. 338)

Στα κτίσματα χαμηλών προδιαγραφών, από τα παλαιοχριστιανικά χρόνια χρησιμοποιούνταν η εναλλαγή ζωνών αργών λίθων και τούβλων ή κομματιών από τούβλα. Η τεχνική αυτή αντικατέστησε όλες τις άλλες, τουλάχιστον στις επαρχίες κατά τα σκοτεινά χρόνια (7ος – 9ος αιώνας), λόγω της οικονομικής δυσχέρειας, όμως χρησιμοποιήθηκε και αργότερα (12ος αιώνας) σε κτήρια υψηλών προδιαγραφών. (Μαμαλούκος Σ. 2005)

Με την πάροδο των σκοτεινών αιώνων και τη βελτίωση των συνθηκών, υπήρξε ανάκαμψη σε πολλούς τομείς όπως και στην οικοδομική τεχνολογία. Το σύστημα ζωνών που δεν εγκαταλείφθηκε ποτέ εξελίχθηκε περαιτέρω. Έτσι κάνει την εμφάνισή του το «πλινθοπερίκλειστο» ή «cloisonne» σύστημα δόμησης που αφορά τοίχους αποτελούμενους από ορθογώνιους λίθους παρατεταγμένους σε σειρές που περιβάλλονται στις τέσσερις πλευρές

τους από τούβλα ή από κεραμικό διάκοσμο στους κατακόρυφους αρμούς και εναλλάσσονται με απλές ή διπλές στρώσεις τούβλων. Το συγκεκριμένο σύστημα ήταν χαρακτηριστικός τρόπος δόμησης της βόρειας Ελλάδας στον 9^ο και 10^ο αιώνα. (Μαμαλούκος Σ. 2005), (Bardill J. 2008 p. 339)

Από την οικοδομική τέχνη των Βυζαντινών δεν έλλειψε και η οπτοπλινθοδόμηση, δηλαδή το χτίσιμο αμιγώς πλίνθινων δομών. Τα τούβλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν διαφόρων μεγεθών στις διαφορετικές χρονικές περιόδους και πάντα ψημένα, μία τεχνική με ρίζες στη ρωμαϊκή εποχή. Η εξέλιξη σε αυτή την μέθοδο παρατηρείται στα τέλη του 10^{ου} έως και τον 12^ο αιώνα σε κατασκευές της Κωνσταντινούπολης, της Θεσσαλονίκης, του Κιέβου κ.α. και αφορά την τεχνική «τούβλου σε εσοχή» ή «υποχωρημένης πλίνθου». Σε αυτήν κάθε δεύτερη σειρά τούβλων τοποθετούνταν ελαφρώς εσωτερικότερα της πρόσοψης και επενδύονταν με κονίαμα ώστε να φαίνεται σαν αρμός με ιδιαίτερα μεγάλο φάρδος. (Μαμαλούκος Σ. 2005), (Bardill J. 2008 p. 338)

Οι θόλοι των ναών, που είχαν διάφορες μορφές (ημικυλινδρικοί, σταυροθόλια, φουρνικά κ.α.), κατασκευάζονταν κατά κανόνα από τούβλα ή λίθους σε αντίθεση με τα ρωμαϊκά κτίσματα τα οποία είχαν τσιμεντένιους θόλους κατασκευασμένους με το ισχυρό τους σκυρόδεμα που περιείχε ποζολάνη.

Για την οικοδόμηση με πλίνθους (Κωνσταντινούπολη, δυτική Μικρά Ασία, Βαλκάνια κ.α.) αναλόγως την οικοδομική παράδοση άλλοτε χρησιμοποιούνταν ξυλότυποι (καλούπια από ξύλο) και άλλοτε όχι, αλλά πάντα τα τούβλα συνδέονταν μεταξύ τους με ισχυρό κονίαμα ταχείας πήξεως. Στην κατασκευή χωρίς ξυλότυπους τα τούβλα τοποθετούνταν είτε ακτινωτά είτε κεκλιμένα ως προς την κατακόρυφο, ξεκινώντας από τα δύο άκρα μέχρι να ενωθούν, ενώ για να καλυφθεί το κενό που αναγκαστικά προέκυπτε συνήθως χρησιμοποιούνταν ξυλότυποι.

Στις περιοχές που διέθεταν πέτρα, (Συρία, Παλαιστίνη, ανατολική Μικρά Ασία, Ρόδος, Κύπρος κ.α.), οι θόλοι και τα αφιδώματα κατασκευάζονταν από όσο το δυνατόν επίπεδους αργούς λίθους ή ημιλαξευτούς. Η οικοδόμηση με αργούς λίθους χαρακτήρισε τα σκοτεινά χρόνια λόγω οικονομικής δυσπραγίας, όμως τον 11^ο και 12^ο αιώνα στον ελλαδικό χώρο υπήρξαν αξιοσημείωτα δείγματα λιθόκτιστων αφιδωμάτων και θόλων, εξ' αιτίας της ραγδαίας ανάπτυξης των τεχνικών επεξεργασίας των λίθων, ενώ η λιθοδόμηση τέτοιων δομών σε κάποιες περιοχές (Ρόδος, Κύπρος, Μικρά Ασία) συνεχίζει μέχρι τις μέρες μας. (Μαμαλούκος Σ. 2005), (Bardill J. 2008 p. 341)

Για τους Βυζαντινούς ήταν πολύ σημαντική η ενδυνάμωση των οικοδομημάτων με συστήματα στήριξης, λόγω της σεισμογένειας της ευρύτερης περιοχής. Αν και αυτά τα συστήματα διαφοροποιούνταν από τόπο σε τόπο και με το πέρασμα των χρόνων, ενώ οι έρευνες δεν έχουν εμβαθύνει σε αυτό το πεδίο, ωστόσο μπορεί να δοθεί ένα γενικό πλάνο.

Φαίνεται ότι ο πιο συνηθισμένος τρόπος ήταν η χρήση ισχυρών ξύλινων δοκών, τοποθετημένων οριζόντια κατά μήκος των τοίχων και ενσωματωμένες σ' αυτούς, ενώ συνδέονταν μεταξύ τους είτε με καρφιά είτε με μεταλλικά ή ξύλινα στοιχεία (κλάπες), σχηματίζοντας ξυλοδεσιές σε διάφορα επίπεδα των κατασκευών. Στη βάση των θόλων και των αψιδωμάτων προσαρμόζονταν ξύλινες δοκοί διαμετρικά των θόλων ή από το ένα άκρο στο άλλο στις αψίδες που συνδέονταν με τις ξυλοδεσιές, (οι γνωστοί ελκυστήρες). (Μαμαλούκος Σ. 2005), (Bardill J. 2008 p. 444)

Μία πρόσθετη ενίσχυση στους τοίχους και στους θόλους προσέδιδαν τα ικριώματα που χρησιμοποιούσαν οι Βυζαντινοί. Μεγάλες ξύλινες δοκοί πακτώνονταν οριζόντια μέσα στους τοίχους καθώς αυτοί χτίζονταν, δημιουργώντας εξωτερικά της κατασκευής οριζόντιους ή κεκλιμένους διαδρόμους. Οι διάδρομοι αυτοί εκτός από τη λειτουργία τους ως ικριώματα για να πατούν επάνω οι εργάτες καθώς δούλευαν και ως μέσα για την άνοδο των υλικών, είχαν και το ρόλο της ενδυνάμωσης των τοίχων διότι χρησίμευαν ως οριζόντια δεσίματα των ξυλοδεσιών. Στα νεότερα χρόνια τέτοια ικριώματα χρησιμοποιούνταν κατά κόρων για τους ίδιους ακριβώς λόγους. (Μαμαλούκος Σ. 2005)

Ένα χαρακτηριστικό στοιχείο των ναών της κεντρικής και της νότιας Ελλάδας από τη μεσοβυζαντινή περίοδο και έκτοτε, ήταν η δόμηση των κατώτερων τμημάτων των τοίχων με μεγαλύτερο φάρδος από το υπόλοιπο κτίσμα, σχηματίζοντας σε διάφορα σημεία σταυρούς ή ταυ, είτε ως μεμονωμένα στοιχεία είτε δημιουργώντας συστοιχίες. Ο συγκεκριμένος τρόπος δόμησης ήταν γνωστός από τα ρωμαϊκά χρόνια και χρησιμοποιούνταν ως ένα επιπλέον μέτρο στήριξης του οικοδομήματος, καθώς προσέδιδε περεταίρω σταθερότητα. (Μαμαλούκος Σ. 2005)

Μία συνηθισμένη τακτική στα κτήρια υψηλών προδιαγραφών στην περιοχή της Βασιλεύουσας ήταν η επένδυση με μαρμάρινες πλάκες και ψηφιδωτά των εσωτερικών τοίχων και επίχρισμα με σκαλιστή διακόσμηση των εξωτερικών. (Μαμαλούκος Σ. 2005) Πέραν της επένδυσης των τοίχων και των κιόνων που αποτελούνταν από μονοκόμματες στήλες μαρμάρου, το συγκεκριμένο υλικό χρησιμοποιήθηκε για τη διακόσμηση του εσωτερικού των ναών με την τεχνική «opus sectile», κατά την οποία κόβονταν έγχρωμα μάρμαρα σε κατάλληλα

περιγράμματα και συνενώνονταν μεταξύ τους για να σχηματίσουν διάφορες παραστάσεις, που προορίζονταν να στολίσουν τόσο τους τοίχους (Άγιος Δημήτριος Θεσσαλονίκη, Αγία Σοφία Κωνσταντινούπολη), όσο και τα δάπεδα (Άγιος Ιωάννης Στούδιος, Χριστός Παντοκράτορας, Κωνσταντινούπολη) (Bardill J. p.345, 346)

6. Πολεμική τεχνολογία

Η πολιορκητική τέχνη και κατ' επέκταση οι μηχανές που χρησιμοποιούνταν για αυτό το σκοπό, εμφανίστηκαν στη Μεσοποταμία και την Εγγύς Ανατολή. Μετά το 3000 π.Χ. εμφανίζεται η μεθοδική οχύρωση των πόλεων και οι πρώτες τακτικές που χρησιμοποιήθηκαν από τους Βαβυλωνίους ήταν το ανάχωμα, δηλαδή η κατασκευή ενός σωρού από χώμα που χρησίμευε στην ανάβαση των επιτιθέμενων στο επάνω μέρος των τειχών, καθώς και η υπονόμηση των τειχών (εξαγωγή λίθων από την οχύρωση για να καταρρεύσει). Οι πολιορκητές χρησιμοποιούσαν προστατευτικά φορητά ή τροχοφόρα υπόστεγα για την απόκρουση των βελών και των βλημάτων των αμυνομένων κατά τη διάρκεια της υπονόμησης.

Οι πολιορκητικοί κριοί υπήρχαν προϊστορικά, αλλά η χρήση τους γίνεται συστηματική από τους Ασσύριους από το 1000 π.Χ. και μετά. Πρόκειται για βαριές ξύλινες δοκούς με μεταλλική επένδυση στο ένα άκρο τους, οι οποίες χτυπούσαν με φόρα συνήθως τις πύλες της οχύρωσης, είτε υποβασταζόμενες από πολεμιστές, είτε κρεμασμένες σε αλυσίδες ή σκοινιά.

Οι κλίμακες ήταν απλές πολιορκητικές κατασκευές (κάτι σαν σκάλες) που χρησιμοποιούνταν για την ανάβαση στα τείχη. Οι Βαβυλώνιοι και αργότερα οι Ασσύριοι κάναν χρήση φορητών κλιμάκων. Με τη βοήθεια μαθηματικών υπολογισμών και λόγω της μεγάλης τους βιωματικής γνώσης, ήταν σε θέση να τις τοποθετούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, ώστε να μην μπορούν να ανατραπούν από τους αντιπάλους τους και να αντέχουν το βάρος των πολεμιστών.

Η εμφάνιση των πολιορκητικών πύργων στη Μεσοποταμία δεν μπορεί να προσδιοριστεί χρονικά, αλλά είναι πιθανό να χρησιμοποιούνταν ήδη από τους Βαβυλωνίους (αρχικά όχι για να ανέβουν στα τείχη αλλά για να στηρίξουν τους κριούς) στο τέλος της 1ης χιλιετίας π.Χ. .

Στο τέλος της πρώτης χιλιετίας π.Χ. ο πολιορκητικός πόλεμος έχει ανέβει επίπεδο με τους Ασσύριους οι οποίοι παραλαμβάνοντας όλες τις πολεμικές μηχανές από τους υπολοίπους λαούς της Μεσοποταμίας, μπορούσαν να διεξάγουν επιθετικό πόλεμο χρησιμοποιώντας

πολιορκητικούς πύργους, κλίμακες και κριούς και σε συνδυασμό με την τεχνική του αναχώματος, ξεχώρισαν σε αυτό το κομμάτι στην Εγγύς Ανατολή. Μάλιστα οι εικονιστικές αναπαραστάσεις και τα ανάγλυφα της εποχής, αποκαλύπτουν την εξέλιξη του κριού, ο οποίος βελτιώθηκε όσον αφορά την ασφάλεια των χειριστών του, με την προσθήκη τροχοφόρου σκέπαστρου έξι και αργότερα οκτώ τροχών. Φαίνεται ότι κατασκευαζόταν σε δύο τύπους: ένας ελαφρύς για επίθεση στο ψηλό μέρος των τειχών με τη χρήση αναχώματος και ένας βαρύς για επίθεση στις πύλες της οχύρωσης.

Μετά την αποδυνάμωση και τη διάλυση της Ασσυριακής Αυτοκρατορίας, τη σκυτάλη στην πολιορκητική τέχνη πήραν οι Πέρσες, οι οποίοι ως γνήσιοι συνεχιστές του επιθετικού πολέμου, είχαν κληρονομήσει όλο τον βαρύ οπλισμό των Ασσυρίων, τον οποίο χρησιμοποίησαν σε συνδυασμό με τις παλαιές τεχνικές, καθώς και με μία νέα: τη διάνοιξη υπόγειας σήραγγας κάτω από τα εχθρικά τείχη. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 93-99)

Στον ελλαδικό χώρο τα πράγματα είναι πολύ διαφορετικά, τουλάχιστον μέχρι το ξεκίνημα του 4ου αιώνα π.Χ. . Οι πόλεμοι γίνονταν σε ανοιχτές εκτάσεις γης μεταξύ των ελληνικών πόλεων-κρατών, χωρίς να είναι επεκτατικοί. Αυτό σημαίνει ότι η πολεμική τεχνολογία περιοριζόταν στο προσωπικό οπλισμό του κάθε στρατιώτη και αποτελούνταν από διάφορων ειδών πανοπλίες, περικεφαλαίες, ασπίδες, περικνημίδες, δόρατα και τόξα. Η πλέον συνηθισμένη πολιορκητική τακτική που χρησιμοποιούνταν ήταν ο αποκλεισμός του αστικού κέντρου με ξύλινο τείχος, που ναι μεν ήταν τελεσφόρος, αλλά και δαπανηρός, καθώς μεγάλος αριθμός στρατιωτών απασχολούνταν και μάλιστα μακροχρόνια.

Στον 5ο αιώνα π.Χ. εμφανίστηκε μια νέα μέθοδος που ονομάστηκε «επιτειχισμός» και αφορούσε την κατάκτηση μιας ορεινής περιοχής πλησίον της οχυρωμένης πόλης, που λειτουργούσε ως εφιαλτήριο για τις λεηλασίες των περιχώρων, με σκοπό την παύση της τροφοδοσίας και την τελική παράδοση του αστικού κέντρου. Η τακτική αυτή έπαψε να χρησιμοποιείται μετά τον 4ο αιώνα π.Χ. . (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 99, 101, 102)

Μια μικρή πρόοδος πραγματοποιήθηκε μετά το 450 π.Χ. καθώς άρχισαν να κατασκευάζονται κάποιες πολεμικές μηχανές οι οποίες έγιναν γνωστές στους Έλληνες από την Ανατολή. Οι πηγές υποδεικνύουν τον Αρτέμωνα τον Κλαζομένιο ως τον πρώτο κατασκευαστή κλιμάκων, πολιορκητικών κριών και προστατευτικών υπόστεγων για τους κριούς, για λογαριασμό των Αθηναίων, που χρησιμοποιήθηκαν στην πολιορκία της Σάμου (440-439 π.Χ.). Λίγο αργότερα οι επιθετικές ενέργειες πολιορκίας εμπλουτίστηκαν με τη μέθοδο του αναχώματος για έφοδο με κριούς στο ψηλότερο και λεπτότερο τμήμα της οχύρωσης, στην πολιορκία των Πλαταιών

από του Πελοποννησίους (429-427 π.Χ.). Οι δύο αυτές πρώτες προσπάθειες δεν ευόδωσαν και οι επιτιθέμενοι τελικά απομόνωσαν τις πόλεις με ξύλινο τείχος. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 101)

Ο 4^{ος} αιώνας π.Χ. αποτέλεσε τη χρονική περίοδο κατά την οποία συντελέστηκαν ραγδαίες εξελίξεις στην ελληνική πολεμική τεχνολογία. Η αλληλεπίδραση με τους ανατολικούς λαούς αλλά και η επιστημονική γνώση που άνθισε από την αρχή του αιώνα και μετά, συνέβαλλαν καθοριστικά στην ανάπτυξη της πολιορκητικής τεχνολογίας σε τέτοιο βαθμό, που όχι μόνο έφτασε σε επίπεδο την ανατολική, αλλά την ξεπέρασε κατά πολύ. Είναι λοιπόν αυτή η περίοδος κατά την οποία υιοθετήθηκαν και εξελίχθηκαν κάποιες πολεμικές μηχανές όπως οι πολιορκητικοί πύργοι και οι κλίμακες και εφευρέθηκαν άλλες νέες και πρωτοπόρες όπως οι αφετήριες μηχανές (οξυβόλα και καταπέλτες). Από το δεύτερο μισό του 4^{ου} αιώνα π.Χ. τις εκστρατείες συνόδευαν πλέον μηχανικοί που κατασκεύαζαν επί τόπου κάθε είδους πολεμικές μηχανές. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 104)

6.1 Αρχαίοι Έλληνες

6.1.α Πολιορκητικοί πύργοι

Οι πρώτοι πολιορκητικοί πύργοι ελληνικής προέλευσης χρονολογούνται στις αρχές του 4^{ου} αιώνα π.Χ. και κατασκευάστηκαν στις Συρακούσες. Οι Έλληνες των αποικιών της Σικελίας γνώρισαν τους πύργους ως αμυνόμενοι στους Καρχηδόνιους το 409 π.Χ. και τους χρησιμοποίησαν λίγο αργότερα το 397 π.Χ. κατακτώντας την καρχηδονιακή πόλη Μοτυής. Στον ελλαδικό χώρο η πρώτη επαφή με αυτές τις μηχανές, έλαβε χώρα κατά τους περσικούς πολέμους και χρησιμοποιούνταν ήδη στα μέσα του αιώνα από τους Έλληνες όπως υποδεικνύουν οι πηγές.

Κινούμενους ξύλινους πολιορκητικούς πύργους είχε μεταχειριστεί ο Φίλιππος Β΄, Βασιλιάς της Μακεδονίας, που είχε κατασκευάσει ο αρχιμηχανικός του Πολυείδης ο Θεσσαλός, αλλά και ο Μέγας Αλέξανδρος, με μηχανικούς τους Διάδη και Χαρία. Μάλιστα ο Διάδης είχε επινοήσει την «επιβάθρα», μία κινητή γέφυρα που ενσωμάτωσε στους πύργους, ώστε να γίνεται αποβίβαση στρατιωτών στα εχθρικά τείχη από τους πύργους. Πολύ γνωστός είναι ο πύργος 15 μέτρων του Ποσειδωνίου, που σχεδιάστηκε για λογαριασμό του Μεγάλου Αλεξάνδρου. (Χρήστος Μακρυπούλιας 2011 p. 104, 105)

Ο πύργος με το όνομα «ελέπολις», ο μεγαλύτερος της αρχαιότητας, ήταν η εξέλιξη των μακεδονικών πύργων, έργο του μηχανικού Επίμαχου του Αθηναίου, που ξεπερνούσε τα 40 μέτρα σε ύψος και τους 100 τόνους σε βάρος και χρησιμοποιήθηκε από τον Δημήτριο τον Πολιορκητή στην πολιορκία της Ρόδου (305-304 π.Χ.).

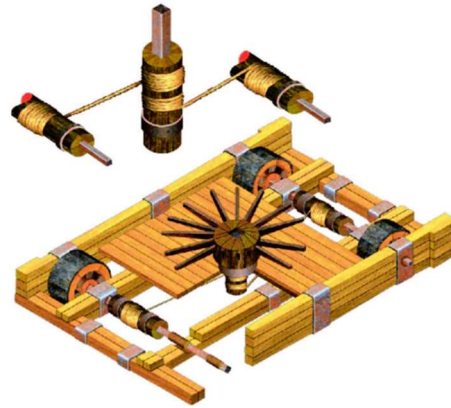
Είχε σχήμα πυραμοειδές και αποτελούνταν από 9 ορόφους. Οι τρεις πλευρές του ήταν αλεξίπτρες, καθώς καλύπτονταν με σιδερένιες πλάκες, ενώ στην πρόσοψη υπήρχαν θυρίδες που φέραν δερμάτινα καλύμματα γεμισμένα με μαλλί ή άχυρα για να ανακόπτουν τις εχθρικές βολές. Στους κατώτερους ορόφους ήταν προσαρμοσμένοι καταπέλτες μεγάλων λίθων, στους μεσαίους και στους ψηλότερους, μικρότεροι καταπέλτες και οξυβόλα, που αποκαλύπτονταν όταν άνοιγαν οι θυρίδες της πρόσοψης. Στο εσωτερικό υπήρχαν φαρδιές σκάλες, μία για την άνοδο και μία για την κάθοδο των στρατιωτών. Η όλη κατασκευή βρισκόταν πάνω σε τετραγωνική βάση με πλευρά πάνω από 20 μέτρα που έφερε 8 τροχούς θωρακισμένους με παχύ σίδηρο και μπορούσαν να κινούν το οικοδόμημα προς όλες τις κατευθύνσεις. (Rossi C.- Russo F.- Russo F. 2009 p. 167-170).

Όσον αφορά το μηχανισμό της μετάδοσης της κίνησης, οι πηγές είναι φειδωλές. Η κινητήρια δύναμη σίγουρα παρέχόταν από τους στρατιώτες, με τη βοήθεια μοχλών, τροχαλιών, αξόνων μετάδοσης κίνησης και σκοινιών. Πιθανότατα το πιο απλό σύστημα να αποτελούταν από ένα ζεύγος μεγάλων σκοινιών συστραφέντων γύρω από κάθε άξονα των τροχών, με το ένα άκρο τους συνδεδεμένο σε ένα γιγάντιο βαρούλκο στη βάση της κατασκευής, που περιέστρεφε μεγάλος αριθμός ανδρών και μετέδιδε την κίνηση. (Rossi C.- Russo F.- Russo F. 2009 p. 167-170).

Η ελέπολις ήταν ο μεγαλύτερος και πιο εντυπωσιακός πολιορκητικός πύργος από κάθε άλλο, έτσι έδωσε το όνομά του σε όλους τους μετέπειτα πύργους στους αιώνες που ακολούθησαν, ενώ κατά τη βυζαντινή περίοδο, ο όρος χρησιμοποιήθηκε για όλα τα πολεμικά κατασκευάσματα. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 106)



Εικόνα 20: Ελέπολις του Επίμαχου



Εικόνα 21: Πιθανός μηχανισμός διάδοσης της κίνησης της Ελέπολις

6.1.β Χελώναι, Τρυπάνιον

Κατά τον 3^ο αιώνα π.Χ. οι κριοί με τα προστατευτικά τους τροχοφόρα υπόστεγα ήταν πλέον δεδομένα στο οπλοστάσιο των επιτιθέμενων, και είχαν πάρει την ονομασία χελώναι. Όπως ήδη έχει αναφερθεί ήταν μεγάλες δοκοί που έπρεπε να κατασκευάζονται από ανθεκτικούς κορμούς δέντρων και στο ένα άκρο τους είχαν σιδερένια επένδυση σχήματος τετραγώνου. Η δοκός αιωρούνταν στο εσωτερικό του στεγαστρου, στερεωμένη σε αλυσίδες που ήταν αναρτημένες στην οροφή του ξύλινου οικοδομήματος, σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου. Χειρίζονταν από έναν αριθμό στρατιωτών, που εξαρτιόταν από το μέγεθος του κριού, τοποθετημένων εκατέρωθεν της δοκού, οι οποίοι προστατευμένοι από το τροχοφόρο υπόστεγο πλησίαζαν και ταλαντεύοντας τη δοκό μπρος-πίσω, έπλητταν τις θύρες ή τα πιο αδύναμα σημεία της οχύρωσης. Είναι πολύ πιθανόν στην πολιορκία της Ρόδου να είχε χρησιμοποιηθεί η μεγαλύτερη χελώνη που είχε κατασκευαστεί στην αρχαιότητα, με μήκος 55 μέτρων, από τον Ηγήτορα τον Βυζάντιο. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 106)

Ένα άλλο είδος κριού που διέθετε αιχμηρή κεφαλή, σχήματος δόρατος, ονομαζόταν «τρυπάνιον» και χρησίμευε στη διάνοιξη οπών σε πλίνθινα τείχη. Η πιο εξεζητημένη κατασκευή τρυπανίου ήταν αυτή του Διάδη, καθώς η δοκός ήταν τοποθετημένη πάνω σε μία διάταξη που της επέτρεπε να κινείται παλινδρομικά με τη βοήθεια σκοινιών που χειρίζονταν οι πολεμιστές. Η διάταξη ήταν εφοδιασμένη με τροχαλίες για τα σκοινιά, ώστε η κίνηση της δοκού να γίνεται και προς τα εμπρός και προς τα πίσω και με βαρούλκο για το τράβηγμα και

την απεμπλοκή του «τρυπανίου», αν τυχόν ακινητοποιούνταν μέσα στο τείχος. Το όλο σύστημα ήταν κατασκευασμένο πάνω σε μία τροχήλατη βάση που προστατεύονταν από τριγωνική αλεξίπτωρη οροφή. (Μουσείο Κοτσανά)



Εικόνα 22: Το Τρύπανον του Διάδη

6.1.γ Κλίμακες

Οι κλίμακες όχι μόνο υιοθετήθηκαν από τους αρχαίους Έλληνες αλλά εξελίχθηκαν με το πέρασμα του χρόνου. Έτσι στις αρχές του 3ου αιώνα υπάρχουν κλίμακες με το όνομα «σαμβύκη». Πρόκειται για δύο είδη που είχαν ενσωματωμένες τροχαλίες για να ανεβοκατεβαίνουν και ήταν καλυμμένες με δέρματα για να μην καίγονται. Ο πρώτος τύπος αποδίδεται στον Ηρακλείδη τον Ταραντίνο και ήταν μέρος του οπλοστασίου των πλοίων, καθώς στηριζόταν στα ιστία των πλοίων και χρησιμοποιούνταν στις πολιορκίες των παραθαλάσσιων οχυρών, ενώ ο δεύτερος τύπος προοριζόταν για την ξηρά, ήταν τροχοφόρος και η εφευρέσή του αποδίδεται στον Δάμιο τον Κολοφώνιο. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 106)

Η σαμβύκη του Δαμίου αποτελούταν από μία ξύλινη τετράγωνη τροχοφόρα βάση, πάνω στην οποία υπήρχε πυραμοειδής προστατευτικός πυργίσκος, στην ανοιχτή οροφή του οποίου ήταν προσαρμοσμένο το ένα άκρο της σκάλας. Η σκάλα συνδέονταν με κατακόρυφη δοκό τύπου κοχλία η οποία ήταν στηριγμένη στη βάση της μηχανής και διέθετε βαρούλκο, μέσω αυτού οι

στρατιώτες έλεγχαν την κλίση της κλίμακας. Η σκάλα ήταν προστατευμένη με οροφή σε όλο το μήκος της και οδηγούσε σε μία επίσης προστατευμένη, με πόρτα που ανοιγόκλεινε, εξέδρα αποβίβασης, ενώ στο άλλο άκρο της, υπήρχε σύστημα αντιβάρου για την εξασφάλιση της ισορροπίας. Για την άνοδο του πληρώματος υπήρχε εσωτερική ανεμόσκαλα. (Μουσείο Κοτσανά)



Εικόνα 23: Η Σαμβύκη του Δαμίου από την Κολοφώνα

6.1.δ Γαστραφέτης, Οξυβόλα και Λιθοβόλα Όπλα

Τα τόξα είναι πανάρχαια όπλα που χρησιμοποιούνταν παγκόσμια, τόσο στο κυνήγι, όσο και στον πόλεμο και εξελίσσονταν μέσα στους αιώνες. Το καλύτερο τόξο που υπήρχε στις αρχές του 4ου αιώνα π.Χ. ήταν το σκυθικό σύνθετο τόξο, που αποτελούνταν από τρία υλικά, ξύλο για να παρέχει σταθερότητα, ζωικούς τένοντες για σταθερότητα και κέρατα για μεγαλύτερη ισχύ. Γαστραφέτης ονομάστηκε η εξέλιξη του σκυθικού, που έλαβε χώρα στις Συρακούσες από τους μηχανικούς του Διονυσίου του Πρεσβύτερου το 399 π.Χ.

Απαρτιζόταν από μία ξύλινη ράβδο με τετράγωνη διατομή που ονομαζόταν «σύριγξ», στο μπροστά μέρος της οποίας, ήταν προσδεμένο ένα ανθεκτικό σκυθικό τόξο με σκληρή χορδή από νεύρα ζώων, ενώ στο πίσω μέρος υπήρχε μια φαρδιά καμπυλωτή σανίδα, στερεωμένη εγκάρσια στη ράβδο, η «καταγωγίς». Η σύριγξ ήταν σκαμμένη στο επάνω τμήμα της, ώστε να

αποτελεί θήκη για μία άλλη μικρότερη ράβδο, τη «διώστρα», στην οποία προσαρμοζόταν το βέλος. Η διώστρα μπορούσε να γλιστρά στο εσωτερικό της σύραγγος μόνο προς τα πίσω, καθώς ασφάλιζε σε δύο πριονωτές σανίδες, που έφερε στις εξωτερικές πλευρές της η σύριγγ. Στο τελείωμα της διώστρας υπήρχε μεταλλικό στέλεχος, όπου στερεωνόταν η χορδή.

Για να μπορέσει ο στρατιώτης να οπλίσει τον γαστραφέτη, έπρεπε να στηρίξει το μπροστά άκρο του στο έδαφος ή σε ακλόνητο σημείο και χρησιμοποιώντας όλο το βάρος του να σπρώξει με την κοιλιακή χώρα την πλατιά σανίδα, την καταγωγίδα, στο πίσω μέρος, ώστε η διώστρα να κινηθεί προς τα πίσω και η χορδή να τεντώσει. Το όνομα γαστραφέτης σημαίνει κοιλιακός εκτοξευτής και προφανώς οφείλεται στην τεχνική του οπλισματος, που ήταν αδύνατο να γίνει με τη χρήση μόνο της μυϊκής δύναμης του χειριστή, με αποτέλεσμα το βεληνεκές αλλά και η ισχύ των βολών να ξεπερνούσαν κατά πολύ τα αντίστοιχα των συμβατικών τόξων. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 107, 108), (Μουσείο Κοτσανά)



Εικόνα 24: Γαστραφέτης

Ο γαστραφέτης ήταν μόνο η αρχή της εξελικτικής πορείας των εκηβόλων όπλων που έμελλε να παίξει καθοριστικό ρόλο στην τέχνη του πολιορκητικού πολέμου για πολλούς αιώνες μετά. Τα μεγαλύτερα και ισχυρότερα τόξα που κατασκευάστηκαν στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν σε βάσεις που διέθεταν συστήματα περιστροφής και αλλαγής της κλίσης, ώστε οι βολές να μην περιορίζονται ως προς την κατεύθυνση και να αυξάνεται το βεληνεκές τους. Πλέον δεν μπορούσαν να οπλιστούν ούτε με τη χρήση του βάρους του χειριστή και έτσι η καταγωγίδα αντικαταστάθηκε από τροχαλία. Με αυτή την αλλαγή σηματοδοτήθηκε η έναρξη της ιστορίας

των καταπελτών, καθώς ο πολλαπλασιασμός της ισχύος σήμανε τη δυνατότητα εκτόξευσης και λίθων.

Η αλλαγή του ονόματος των νέων όπλων από γαστραφέτης σε καταπέλτης και ο διαχωρισμός σε καταπέλτης οξυβόλος ή απλά οξυβόλος και καταπέλτης λιθοβόλος ή απλά λιθοβόλος, συντελέστηκε περί τα μέσα του 4ου αιώνα π.Χ. στον ελλαδικό χώρο, όπου και συνεχίστηκε η εξέλιξή τους. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 108, 109)

Αρχικά μετά τη διαπίστωση ότι οι ζωικοί τένοντες μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στους καταπέλτες με καλύτερες αποδόσεις, οι μηχανικοί του Φιλίππου του Β', αντικατέστησαν το τόξο του καταπέλτη με έναν ξύλινο σκελετό, το «πλινθίον», γύρω από το οποίο περιελίσσονταν δύο δέσμες τενόντων, οι οποίοι στο εσωτερικό του πλαισίου συστρέφονταν και μέσα σε αυτούς, στερεώνονταν δύο ξύλινα δοκάρια που συνδέονταν με το ένα άκρο τους στη χορδή του όπλου, η οποία χρησιμοποιούνταν για την εκτόξευση του λίθου. Τα δοκάρια λειτουργούσαν σαν τα κέρατα του τόξου και η συσσωρευμένη δυναμική ενέργεια μεταφερόταν μέσω της χορδής στο βλήμα. Με αυτόν τον τρόπο ανακαλύφθηκαν οι καταπέλτες στρέψης. Η εξέλιξη αυτών των πρωτοπόρων μηχανών συνεχίστηκε περαιτέρω. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 109, 110)

Το επόμενο βήμα ήταν να ανοιχτούν οπές στις οριζόντιες σανίδες του πλινθίου ώστε τα νεύρα να περνούν μέσα από αυτές και να στερεώνονται σε δύο σιδερένιες ράβδους τις «επιζυγίδες», που βρίσκονταν πάνω από τις οπές. Η επόμενη βελτίωση αφορούσε τον τρόπο σύνδεσης των τενόντων με τις επιζυγίδες και είχε λάβει χώρα επί Μέγα Αλεξάνδρου. Οι επιζυγίδες δεν ακουμπούσαν πλέον απ' ευθείας στις οριζόντιες σανίδες του πλαισίου (πλινθίου), αλλά περνούσαν μέσα από μικρούς μεταλλικούς σωλήνες, δίνοντας τη δυνατότητα της επιπλέον στρέψης των νεύρων για περισσότερη συσσωρευμένη δυναμική ενέργεια και άρα μεγαλύτερο βεληνεκές των βολών.

Τα δύο είδη καταπελτών, οξυβόλα και λιθοβόλα που εφευρέθηκαν από τους αρχαίους Έλληνες, ήταν συνεστραμμένων ινών, με τροχαλία (βαρούλκο) για το όπλισμα και εκτός από τη διαφορά που είχαν στο μέγεθος, διέφεραν επίσης και στην κατασκευή του πλαισίου που περιείχε τα συνεστραμμένα νεύρα. Στα οξυβόλα οι εξωτερικές πλευρές του σκελετού ήταν κατακόρυφες και γι' αυτό ονομάστηκαν «ευθύτονα», ενώ στα λιθοβόλα είχαν μία κλίση προς τα εμπρός, επιτρέποντας στις δοκούς που συνδέονταν με τη χορδή, να εκτελέσουν την απαιτούμενη μεγαλύτερη κίνηση, για τη βολή των βαρύτερων λίθων και ονομάστηκαν «παλίντονα». (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 110, 111)

6.2 Ρωμαϊκή- Βυζαντινή περίοδος

Οι Ρωμαίοι ήρθαν σε επαφή με τις πολιορκητικές μηχανές στις αρχές του 3ου αιώνα π.Χ. μέσω των συρράξεων αλλά και των συμμαχιών με τους Έλληνες και γρήγορα υιοθέτησαν τόσο τις πολιορκητικές τακτικές όσο και τις μηχανές. Η τεχνογνωσία που αποκτήθηκε, όσο και το γεγονός ότι στα ρωμαϊκά στρατεύματα ενσωματώθηκαν επιστρατευμένοι αγρότες που μπορούσαν να κατασκευάσουν επί τόπου τις πολιορκητικές μηχανές, ως γνώστες της χειρωνακτικής εργασίας, άλλαξε τη φυσιογνωμία του πολέμου τους. Οι μάχες πλέον δεν διεξάγονταν σε ανοιχτό έδαφος, όπως συνηθίζονταν παλαιότερα, αλλά επιχειρούνταν πολιορκίες σε οχυρωμένες πόλεις, από οργανωμένα στρατόπεδα. Οι Ρωμαίοι υπήρξαν άξιοι συνεχιστές της ελληνικής πολεμικής τεχνολογίας που παρέλαβαν. Χρησιμοποίησαν πολιορκητικούς πύργους, κριούς με τα προστατευτικά τους υπόστεγα, κλίμακες και τους οξυβόλους και λιθοβόλους καταπέλτες. Ιδιαίτερα στον τομέα των εκηβόλων όπλων πραγματοποίησαν σημαντικές βελτιώσεις. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 113, 114)

6.2.a Πολιορκητικοί Πύργοι

Για αυτές τις ογκώδεις κατασκευές ακολουθήθηκαν τα ελληνιστικά πρότυπα, τόσο στη ρωμαϊκή όσο και στη βυζαντινή εποχή, ενώ από τις αρχές του 5ου αιώνα η τεχνογνωσία έχει μεταδοθεί και σε γειτονικούς λαούς.

Από τις περιγραφές της πρωτοβυζαντινής και της μέσης περιόδου γίνεται σαφές ότι οι πύργοι ήταν κατασκευασμένοι αποκλειστικά από ξύλο, τόσο στο εσωτερικό, όσο και εξωτερικά. Μέταλλο χρησιμοποιούνταν μόνο για τις συνδέσεις των δοκών. Το ξύλο που επιλεγόταν ήταν μεγάλης αντοχής, από δέντρα που δεν καίγονται εύκολα, όπως οι φοίνικες. Για μεγαλύτερη προστασία από τα φλεγόμενα και εμπρηστικά υλικά που βάλλονταν εναντίον τους από τους αμυνόμενους, οι πύργοι ήταν καλυμμένοι με δέρματα ζώων, συνήθως βοοειδών, πρόσφατα σφαγιασμένων.

Αποτελούνταν από τουλάχιστον τρεις ορόφους και διέθεταν εσωτερικό κλιμακοστάσιο για τη μετακίνηση των στρατιωτών. Κάθε όροφος διαδραμάτιζε διαφορετικό ρόλο στις επιθετικές ενέργειες, καθώς τοποθετούνταν σε αυτούς διαφορετικές πολεμικές μηχανές. Το ψηλότερο επίπεδο εφοδιαζόταν με βαλλίστρες και τοξότες που ξεπρόβαλλαν πίσω από θυρίδες που άνοιγαν κατά την επίθεση. Στο μεσαίο υπήρχε κινητή γέφυρα, η «επιβάθρα», για την

αποβίβαση των πολεμιστών στα τείχη του οχυρού, ενώ το κατώτατο επίπεδο εξοπλιζόταν με τα βαριά λιθοβόλα και με έναν ή δύο μεγάλους πολιορκητικούς κριούς. (Salmon T. 2020 p. 444, 445), (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 294, 295, 299)

Αν και πιθανότατα οι Βυζαντινοί προτιμούσαν να μην τοποθετούν τους κριούς στους πύργους, αλλά να τους χρησιμοποιούν ξεχωριστά. Αυτό είναι ένα στοιχείο διαφοροποίησης των βυζαντινών πύργων από τους ρωμαϊκούς και τους πύργους των άλλων λαών. Το συμπέρασμα αυτό μπορεί να διεξαχθεί από τη σύγκριση δυτικών και βυζαντινών πηγών που αφορούν την περιγραφή πύργων που χρησιμοποιήθηκαν σε συγκεκριμένες πολιορκίες. Ενώ στις δυτικές γίνεται λόγος για πολιορκητικούς πύργους εφοδιασμένους με κριούς, στις βυζαντινές αναφέρονται ως «χελώναι», όρος που δήλωνε το σύστημα κριών-τροχοφόρων σκέπαστρων. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 301-303)

Οι πελώριες αυτές μηχανές οικοδομούνταν πάνω σε τετράγωνες βάσεις που διέθεταν τροχούς, ενώ το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, ήταν παρόμοιο με αυτό των ελληνιστικών και των ρωμαϊκών προτύπων. Ένα υπερμεγέθους βαρούλκο που περιστρεφόταν από μεγάλο αριθμό ανδρών και ήταν συνδεδεμένο με ογκώδη και ανθεκτικά σκοινιά, τα οποία ήταν περιελιγμένα στους άξονες των τροχών, μετέδιδαν την κίνηση. (Rossi C.- Russo F.-Russo F. 2009 p. 168, 169). Η στην πιο απλοϊκή μορφή, ο πύργος ωθούνταν από το πίσω μέρος από ανθρώπινο δυναμικό.

Όσον αφορά το μέγεθος αυτών των κολοσσιαίων μηχανών, καθοριζόταν από το ύψος του οχυρού, που έμελλαν να πολιορκήσουν. Το ύψος του εκάστοτε πύργου έπρεπε να είναι μεγαλύτερο από το ανώτερο σημείο του τείχους προς επίθεση και αυτό υποδείκνυε τις διαστάσεις που έπρεπε να έχει η βάση και κατ' επέκταση ο πύργος. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 229)

Τέλος υπάρχει πηγή της πρωτοβυζαντινής περιόδου που παρουσιάζει τη χρήση πύργων σε πολιορκία παράκτια πόλης. Οι πύργοι στηρίχθηκαν πάνω σε πλοία που είχαν δεθεί με αλυσίδες και καλώδια ανά τρία μεταξύ τους. Η κατάληψη της πόλης επιχειρήθηκε με αποβίβαση πολεμιστών από τις «επιβάθρες», ενώ τοξότες που βρίσκονταν στο ανώτερο επίπεδο των πύργων βοηθούσαν στην επίθεση, χωρίς όμως τελικά να έχει θετική έκβαση η επιχείρηση. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 295)

6.2.β Κλίμακες- Σκάλες

Οι κλίμακες χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε όλη τη διάρκεια της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας. Υπήρχαν οι απλές κατασκευές που έμοιαζαν με γέφυρες, αποτελούμενες από μονοκόμματα δοκούς «μονόξυλοι» ή και περισσότερα κομμάτια ξύλου, επεξεργασμένα και κολλημένα μεταξύ τους «σύνθετοί» και οι πιο πολύπλοκες τροχοφόρες κατασκευές, που εμφανίστηκαν κατά τη μεσοβυζαντινή περίοδο.

Όσον αφορά τις απλές κλίμακες που μπορούσαν πολύ εύκολα να κατασκευαστούν από υλικά του περιβάλλοντα χώρου, για να είναι αποτελεσματικές έπρεπε να έχουν υπολογισμένο μήκος, συνυφασμένο με το ύψος της οχύρωσης, καθώς έπρεπε να χωροθετηθούν υπό κατάλληλη κλίση, ώστε να μην μπορούν να ανατραπούν, αλλά και να αντέχουν το βάρος των στρατιωτών. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p.289,290). Οι απλές κλίμακες χρησιμοποιούνταν επίσης σαν γέφυρες για τη διάβαση ποταμών ή και τάφρων από μεγάλο αριθμό ανδρών σε σειρά. (Salmon T. 2020 p. 242)

Η πρώτη αναφορά τροχοφόρων κλιμάκων υπάρχει σε μία θρησκευτικού περιεχομένου πηγή, στο *Θαύματα του Αγίου Δημητρίου* και αφορούσε πολιορκητικές μηχανές των Αβάρων και των Σλάβων, που χρησιμοποιήθηκαν στην προσπάθεια της άλωσης της Θεσσαλονίκης το 617 μ.Χ. . Οι βυζαντινές τροχοφόρες κλίμακες όπως παρουσιάστηκαν στις μεταγενέστερες πηγές είχαν εξελιχθεί περαιτέρω. Στο ανώτερο τμήμα του προστατευτικού πυργίσκου πυραμοειδούς σχήματος, που ήταν κατασκευασμένος επάνω στην τροχοφόρα βάση, είχε προσαρμοστεί μια «επιβάθρα». Η επιβάθρα (πλατιά ξύλινη γέφυρα) ήταν προστατευμένη από μεταλλική τριγωνική οροφή, που διασφάλιζε την απόβαση των στρατιωτών στο επάνω μέρος της οχύρωσης της πολιορκούμενης πόλης. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 290,291).

Αυτές οι τροχοφόρες σκάλες, εκτός από την ευκολία στην μεταφορά, διότι με λιγότερο σωματικό κόπο προήλαυναν προς τα τείχη και την προστασία που παρείχαν κατά την απόβαση, επέτρεπαν επίσης σε μεγάλο αριθμό ανδρών να ανεβαίνουν στις επάλξεις ταυτόχρονα. Οι εν λόγω μηχανές περιγράφονται στο *Παραγγέλματα Πολιορκητικά* (μέσα του 10ου αιώνα) και εικονίζονται στο Vat. gr. 1605 (Salmon T. 2020 p. 443)

Υπάρχουν αναφορές και για πιο ευέλικτες κατασκευές όπως πλεγμένες σκάλες, με κορμό από σκοινί και ξύλινα σκαλοπάτια, πολύ ελαφριές, που μπορούσαν να προσδεθούν στην κορυφή των τειχών με τη συνδρομή εσωτερικών της οχύρωσης ανθρώπων, όταν ήταν διαθέσιμοι. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 292), (Salmon T. 2020 p. 442)

Στην κατηγορία των κλιμάκων ανήκε και η «σαμβύκη» που όπως έχει ήδη αναφερθεί, χρησιμοποιούνταν από τους αρχαίους Έλληνες τόσο σε χερσαίες όσο και σε θαλάσσιες πολεμικές επιχειρήσεις. Οι βυζαντινές πηγές έδιναν αυτό το όνομα μόνο στις μηχανές που τοποθετούνταν σε πλοία, από όπου και γινόταν η απόπειρα απόβασης των στρατιωτών στις εχθρικές επάλξεις. Η σαμβύκη πήρε το όνομά της από το ομώνυμο αρχαίο μουσικό όργανο λόγω του σχήματος της. Ο προστατευτικός πυργίσκος της κλίμακας που οικοδομούνταν από κατάρτια και άλλα ξύλινα μέρη πλοίου, στερεώνονταν στο κατάστρωμα δύο караβιών δεμένων μεταξύ τους με αλυσίδες και καλώδια. Το μήκος αλλά και το πλάτος της κλίμακας πρέπει να είχαν ικανοποιητικές διαστάσεις, ώστε να φτάνει στα τείχη της υπό πολιορκία παράκτια πόλης, αλλά και να μπορούν να αποβιβάζονται 300 ή και 400 στρατιώτες συγχρόνως. Προφανώς η κατασκευή ήταν στιβαρή. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 292-293), (Salmon T. 2020 p. 444,445)

6.2.γ Κριοί-Χελώναι

Οι κριοί ήδη από την ελληνιστική εποχή χρησιμοποιούνταν με τα τροχοφόρα υπόστεγά τους, που είχαν το όνομα «χελώναι» και έτσι ακριβώς συνεχίστηκε η χρήση τους, τόσο στη ρωμαϊκή όσο και στη βυζαντινή εποχή.

Οι βυζαντινοί κριοί αυτοί καθ' αυτοί αποτελούνταν από ένα και μοναδικό κομμάτι κορμού που λαμβάνονταν από ανθεκτικά ορεινά δέντρα, «μονοξύλον». Το μήκος του κορμού αν και δεν αναφέρεται ευθέως στις πηγές, εντούτοις μπορεί να υπολογιστεί με σχετική βεβαιότητα περίπου στα 20-25 μέτρα, καθώς ο κριός ελέγχονταν από 40 με 50 στρατιώτες που ήταν παραταγμένοι σε δύο ισάριθμες σειρές εκατέρωθεν της δοκού, σε απόσταση ενός μέτρου ο ένας από τον άλλον.

Ένα στοιχείο διαφοροποίησης του βυζαντινού κριού από τον ρωμαϊκό είναι το σχήμα της επενδυμένης με μέταλλο άκρης του, της λεγόμενης κεφαλής. Στα ρωμαϊκά κατασκευάσματα είχε το σχήμα του κεφαλιού του ζώου από το οποίο πήρε το όνομά του, ενώ ήδη από τον 6ο αιώνα στο Βυζάντιο είχε σχήμα ή τετράγωνο για τη ρήξη των τειχών ή αιχμηρό όπως η μύτη του δόρατος για τη διάτρηση των τειχών όπως ακριβώς το «τρυπάνιον» των ελληνιστικών χρόνων. Ανεξαρτήτως πάντως του σχήματος της κεφαλής, ήταν πολύ αποτελεσματικό επιθετικό όπλο. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 306-308)

Οι «χελώναι» όπως έχει ήδη αναφερθεί, ήταν τροχοφόρα, ελαφριά, ξύλινα σκέπαστρα σε σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου, στο εσωτερικό των οποίων μπορούσαν να προστατευθούν από τα εχθρικά πυρά 40 με 50 άνδρες. Η οροφή και τα πλαϊνά τμήματα σκεπάζονταν με δέρματα ζώων ώστε να μην καίγονται και πέραν της απαραίτητης χρήσης τους στους κριούς, επιπλέον παρείχαν προστασία κατά την υπονόμευση των τειχών, (άνδρες μα ποικίλα εργαλεία έσκαβαν κάτω από τα τείχη με σκοπό την κατάρρευσή τους), και επίσης γέμιζαν τις εχθρικές τάφρους. (Salmon T. 2020 p.443,444), (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 311-312). Οι «χελώναι» για τις διαφορετικές πολεμικές επιχειρήσεις είχαν και διαφορετικά ονόματα: «χελώναι κριοφόροι», «χελώναι ορυκτίδες», και «χελώναι χωστρίδες» αντίστοιχα.(Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 311)

Ένα άλλο είδος χελώνας, μεταφερόμενο από τους στρατιώτες, (χωρίς τροχούς), που είχε τις ρίζες του στην ελληνιστική εποχή, ήταν πολύ συνηθισμένο τόσο στα ρωμαϊκά όσο και στα βυζαντινά χρόνια. Ήταν ένα σκέπαστρο φτιαγμένο από ευλύγιστα κλαδιά όπως του αμπελιού, της λυγαριάς ή της ιτιάς πλεγμένα μεταξύ τους σε μεγάλο πλήθος και καλυμμένο με πηλό ή στάχτη ανακατεμένη με αίμα ζώων και προβιές πρόσφατα σφαγιασμένων βοοειδών. (Salmon T. 2020 p. 443)

Στα ελληνιστικά χρόνια είχε το όνομα «γερροχελώνα», ενώ στον 6ο αιώνα το όνομα «σπαλίωνας». Κατά τη μεσοβυζαντινή περίοδο ή ίδια κατασκευή, παρουσιάστηκε με τον σλαβικής προέλευσης όρο «λαίσα». Κάποιοι μελετητές λόγω τους σλαβικού ονόματος θεώρησαν ότι πρόκειται για μια νέα εφεύρεση βαλκανικής καταγωγής, ενώ η ίδια άποψη ενισχύθηκε από την αναφορά στο *Παραγγέλματα Πολιορκητικά* ότι οι «λαίσαι» έχουν πρόσφατα ανακαλυφθεί. Πιθανότατα ο συγγραφέας του έργου να εννοεί κάποια πρωτοποριακή βελτίωση στην ήδη υπάρχουσα κατασκευή. Η ίδια άποψη υποστηρίζει ότι οι «λαίσαι» εκτόπισαν τα άλλα είδη χελώνας, ως πιο πολύπλοκα μηχανήματα, προωθώντας τη θέση ότι υπήρξε τεχνολογική οπισθοδρόμηση. Το αντεπιχείρημα σε αυτήν τη γνώμη δίνεται από τις πηγές που αναφέρουν σε πολλές περιπτώσεις τη χρήση των τυπικών χελωνών μέχρι το 1204 μ.Χ. . (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 311-313)

6.2.δ Οξυβόλα όπλα

Οι οξυβόλοι καταπέλτες όπως και όλες οι πολεμικές μηχανές της ελληνιστικής περιόδου συνέθεταν το οπλοστάσιο των Ρωμαίων, που κατά τον 1ο αιώνα αποτελούσαν την κυρίαρχη

δύναμη της ευρύτερης γεωγραφική περιοχής. Αυτή είναι και η εποχή κατά την οποία συντελέστηκαν οι σημαντικότερες βελτιώσεις στους οξυβόλους καταπέλτες.

Τα νέα όπλα προστατεύτηκαν και ενισχύθηκαν με μέταλλο (σίδηρο, χαλκό ή ατσάλι). Μεταλλικό πλαίσιο στο οποίο προστέθηκαν νέα εξαρτήματα όπως το «κλιμάκιον», τα «καμβέστρια» και το «καμάριον», πήρε τη θέση του παλιού ξύλινου πλαισίου, βελτιώνοντας το βεληνεκές που έφτανε τα 250-300 μέτρα. Ακόμα και οι τένοντες προστατεύθηκαν από μεταλλικούς κυλίνδρους, ενώ μεταβλήθηκε το σχήμα των βλημάτων προσδίδοντάς τους μεγαλύτερη ταχύτητα βολής και καλύτερες πτητικές ιδιότητες. (Salmon T. 2020 p. 439), (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 127, 128, 223, 224)

Στην αρχή της πρωτοβυζαντινής περιόδου το βασικό οξυβόλο, ήταν το μηχάνημα αυτό που πλέον ονομαζόταν «βαλλίστρα», ενώ του παλαιού τύπου, της πρωτορωμαϊκής, είχε το όνομα «ballista». Όλοι οι μελετητές της πολεμικής τεχνολογίας συμφωνούν με τα παραπάνω που αφορούν τα οξυβόλα όπλα αυτής της εποχής. Οι γνώμες των μελετητών διαφοροποιούνται για το τι συνέβη από αυτή τη χρονική περίοδο και μετά. Υπάρχει η άποψη ότι τα οξυβόλα όπλα με συνεστραμμένες ίνες, ναι μεν ήταν γνωστά, αλλά δεν χρησιμοποιήθηκαν ούτε στο τέλος της ρωμαϊκής ούτε στη βυζαντινή εποχή, (Halton J. 1999 p.135) ή ότι ο όρος «χειροβαλλίστρα» αναφερόταν σε φορητό μικρό όπλο που προφανώς δεν μπορεί να είχε τροχαλία, άρα δεν ήταν συστροφικής δύναμης, αλλά τύπου «βαλλιστρίδας» ή «γαστραφέτη» με μικρό βεληνεκές.

Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουν αυτές οι απόψεις είναι πως υπήρξε τεχνολογική παρακμή κατά τη βυζαντινή περίοδο, διότι τα υψηλής τεχνολογίας συνεστραμμένης δύναμης όπλα, είχαν εξαφανιστεί. Οι υποστηρικτές της φορητότητας, θεωρούν σημαντικές τις περιγραφές του Βεγέτιου που τοποθετούσαν τα διάφορα είδη βαλλίστρας και δη τις χειροβαλλίστρες (manuballistoe) στο πεδίο της μάχης συνεπώς, ισχυρίζονται, ήταν φορητές. Στις ίδιες περιγραφές όμως αναφέρεται το γεγονός ότι δεν ήταν τοποθετημένες στις πρώτες σειρές, αλλά στη δεύτερη, στην πέμπτη και στην έκτη σειρά. Αν ληφθεί υπόψιν το μικρό βεληνεκές και οι ευθείες βολές που θα είχαν τα φορητά όπλα, αυτό θα έπρεπε να ήταν καταστροφικό, γιατί θα έβαλαν κατά των πρώτων σειρών του βυζαντινού στρατεύματος. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 187)

Εξάλλου η περιγραφή του Κωνσταντίνου Ζ' του Πορφυρογέννητου στο *Περί Βασιλείου Τάξεως* των όπλων που είχαν χρησιμοποιήσει οι Χερσονίτες του 4ου αιώνα, κάνει σαφές ότι οι χειροβαλλίστρες ήταν τοποθετημένες σε κέρα:

«Μαζευτήκαν οι άνδρες από τα γειτονικά φρούρια και κατασκεύασαν στρατιωτικά κάρα και τοποθέτησαν πάνω σε αυτά τις επονομαζόμενες χειροβαλλίστρες [...] έκαναν μια επίδειξη πτήσης, χωρίς να έχουν αποκαλύψει τις χειροβαλλίστρες που είχαν φτιάξει και υπήρχαν μέσα στα κάρα τους.» (Salmon T. 2020 p. 440)

Υπάρχουν επίσης και οι λίστες του πυροβολικού εξοπλισμού για τις εκστρατείες στην Κρήτη στα μέσα του 10ου αιώνα, όπου αναφέρονται οι «χειροτοξοβολλίστρες» και οι «τοξοβολλίστρες» και υποδεικνύουν συστροφικής δύναμης όπλα, το πρώτο χειροκίνητο και το δεύτερο με τη χρήση βαρούλκου, τοποθετημένα σε βάσεις. Και οι δύο τύποι αναφέρονται μερικές φορές έμμεσα ως «χειρομαγανικά», ενώ η «τοξοβολλίστρα» κάνει την εμφάνισή της επιπλέον και σε μερικά αφηγηματικά χρονογραφήματα. (Halton J. 1999 p.135), (Salmon T. 2020 p. 441) Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα οξυβόλα όπλα συνεστραμμένων ινών ήταν σε χρήση τουλάχιστον μέχρι και το τέλος της μεσοβυζαντινής περιόδου.

Οι «βαλλιστρίδες» ήταν φορητά τόξα ελκτικής δύναμης (όχι συστροφικής), βελτιωμένα και με μεγαλύτερο βεληνεκές σε σύγκριση με τα απλά, που έκαναν την εμφάνισή τους στον δυτικό μεσαίωνα. Είχαν μηχανισμό τεντώματος της χορδής και η σκανδάλη βρισκόταν στο κάτω τμήμα του τόξου. Ήταν όπλα που είχαν επινοηθεί στην Κίνα κατά την 1η χιλιετία π.Χ. και πιθανότατα να γίναν γνωστά στους Δυτικούς από μετακινούμενους ασιατικούς πληθυσμούς.

Οι πρώτες αναφορές των βυζαντινών πηγών στις βαλλεστρίδες χρονολογούνται στον 11ο αιώνα και κάνουν λόγο για «λατινικά τόξα». Η Πριγκίπισσα Άννα Κομνηνού αναφέρει χαρακτηριστικά στο *Αλεξιάς* ότι η «τζάγγρα» (όνομα της βαλλιστρίδος) δεν ήταν γνωστή στους Βυζαντινούς. Σε αυτή τη χρονική περίοδο έγινε η αντικατάσταση των οξυβόλων όπλων συστροφικής δύναμης από τις μεγάλες βαλλιστρίδες που τοποθετούνταν στα τείχη, σε συνδυασμό με τις φορητές που είχαν στον εξοπλισμό τους οι στρατιώτες, (όπλα ελκτικής δύναμης, χαμηλότερης τεχνολογίας από αυτά της συστροφικής δύναμης). Πλέον διαφαίνεται η τεχνολογική οπισθοδρόμηση στο Βυζάντιο, συνυφασμένη με την οικονομική δυσπραγία της ανατολικής Αυτοκρατορίας. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 182,183,227,228,231-233)

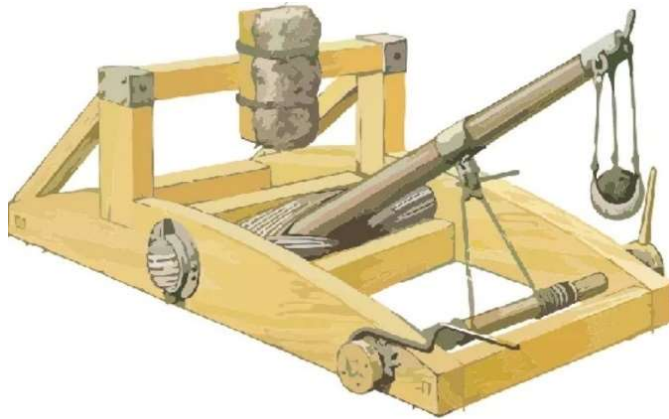
6.2.ε Λιθοβόλα όπλα

Οι λιθοβόλοι καταπέλτες των ρωμαϊκών χρόνων, όπως και των ελληνοβυζαντινών, ήταν μεγαλύτεροι σε μέγεθος και σε βάρος από τους οξυβόλους, λόγω της φύσης των βλημάτων που εκτόξευαν. Διέθεταν δύο αγκώνες και βαρούλκο διότι δεν μπορούσαν να οπλιστούν με τη χρήση μόνο της μυϊκής δύναμης των στρατιωτών και ο βαλλιστικός μηχανισμός τους ήταν στρέψης, δηλαδή χρησιμοποιούσε τη δυναμική ενέργεια συνεστραμμένων ινών.

Στις αρχές της πρωτοβυζαντινής περιόδου εμφανίζεται ένα νέο είδος λιθοβόλων όπλων με το όνομα «onager». Το πότε ακριβώς εμφανίστηκε και πότε αντικατέστησε τους λιθοβόλους καταπέλτες με δύο βραχίονες δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια, αλλά ήταν σε χρήση μέχρι και τις αρχές του 7^{ου} αιώνα.

Πρόκειται για μία εκτοξευτική μηχανή λίθων, συστροφικής δύναμης με έναν μόνο αγκώνα στο μέσο της μηχανής, που μπορούσε να κινείται σε κατακόρυφο επίπεδο. Η μία άκρη του αγκώνα ήταν εγκλωβισμένη σε οριζόντιες συνεστραμμένες ίνες οι οποίες περνούσαν μέσα από οπές που διέθεταν οι δύο μεγαλύτερες σε μήκος δοκοί από αυτές που αποτελούσαν τη βάση του καταπέλτη. Η άλλη άκρη του βραχίονα, (αγκώνας), είχε προσαρτημένη τη σφενδόνη που είτε κατασκευαζόταν από μεταλλικό πλέγμα, είτε από ύφασμα από κάνναβη ή λινό. Αφού τοποθετούνταν ο λίθος στη σφενδόνη, ένας μηχανισμός με βαρούλκο που βρισκόταν στο πίσω μέρος της μηχανής και συνδέονταν μέσω σκοινιών με το μέσο του αγκώνα, κατέβαζε τον βραχίονα, τοποθετώντας τον σε θέση βολής. Το όπλο διέθετε και σύστημα πέδησης του αγκώνα, αποτελούμενο από έναν σάκο φτιαγμένο από ανθεκτικό ύφασμα, γεμισμένο με άχυρα και προσδεμένο σε δοκό που εξείχε από τη βάση του. Όταν ο μηχανισμός της σκανδάλης απελευθέρωνε τον βραχίονα από τα σκοινιά που τον συγκρατούσαν, ο τελευταίος έφευγε με μεγάλη ταχύτητα, προσκρούοντας στον σάκο, που σταματούσε ακαριαία την πορεία του και ο λίθος εκτοξεύονταν. (Μακρυπούλιας 2011 p. 238, 239)

Οι όναγροι, (όπως και όλοι οι καταπέλτες), χρησιμοποιούνταν και από τους πολιορκητές και από τους πολιορκημένους. Στο πεδίο της μάχης τοποθετούνταν σε στρατιωτικά κέρα πάνω σε γυροσκοπικές βάσεις και μπορούσαν να περιστρέφονται, βάλλοντας προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Όταν τοποθετούνταν στα τείχη ήταν δύσκολο να μετακινηθούν, ενώ για τη λειτουργία της τροχαλίας χρειάζονταν οκτώ δυνατοί άνδρες. (Haldon J. 2003 p. 136) (Μακρυπούλιας X. 2011 p. 251)



Εικόνα 25: Οναγρος

Στο τέλος του 6ου αιώνα εισάχθηκε στη λεκάνη της Μεσογείου ένα νέο είδος καταπέλτη που δεν είχε δυναμικό σύστημα στρέψης αλλά έλξης. Η πρώτη αναφορά σε αυτό και η περιγραφή του βρίσκεται στο *Θαύματα του Αγίου Δημητρίου* όπου παραθέτετε η άλωση της Θεσσαλονίκης από τους Αβάρους το 586 ή το 597. Το σχετικό απόσπασμα είναι το εξής:

«Ήταν τετράγωνοι από πλατύτερες βάσεις και κατέληγαν σε στενότερες κορυφές, πάνω στις οποίες υπήρχαν χονδρά κυλινδρικά κομμάτια, με τις απολήξεις τους καλυμμένες με σίδηρο και πάνω σε αυτές ήταν προσαρτημένα ξύλα όπως οι δοκοί ενός μεγάλου σπιτιού, έχοντας τις σφενδόνες αναρτημένες από το πίσω μέρος και από μπροστά ισχυρά σκοινιά, με τα οποία τραβώντας προς τα κάτω και απελευθερώνοντας τη σφενδόνη, προωθούσαν τις πέτρες ψηλά με δυνατό θόρυβο. Εκσφενδόνιζαν πολλές πέτρες έτσι ώστε ούτε η γήινες ούτε οι ανθρώπινες κατασκευές μπορούσαν να αντέξουν την πρόσκρουση.» (Salmon T. 2020 p,438), (Haldon J. 2003 p. 136), (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 262,263)

Η περιγραφή δεν αφήνει αμφιβολίες για το δυναμικό σύστημα έλξης που χρησιμοποιούσαν τα πρωτοεμφανιζόμενα στην Ανατολική Αυτοκρατορία όπλα.

Αποτελούνταν από μία μεγάλη διαστάσεων δοκό, που στο ένα άκρο της ήταν αναρτημένη η σφενδόνη και το άλλο ήταν δεμένο με μεγάλο αριθμό σκοινιών. Η δοκός ήταν στερεωμένη σε ξύλινο πλαίσιο και μπορούσε να περιστρέφεται κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, ενώ το πλαίσιο αποτελούνταν άλλοτε από τρία δοκάρια σε σχήμα "λάμδα" και άλλοτε από τέσσερα. Οι καταπέλτες αυτοί συναντώνται στις βυζαντινές πηγές με τα ονόματα «λαμδαρέα» και «τετραρέα» αντίστοιχα. Για την εκτόξευση των λίθων μεγάλος αριθμός ανδρών τραβούσε

απότομα τα σκοινιά προς τα κάτω, περιστρέφοντας τη δοκό που έφερε τη σφενδόνη και απελευθερώνονταν οι πέτρες. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 263), (Haldon J. 2003 p. 136, 137)

Το νέο είδος πετροβόλων όπλων, χαμηλότερου τεχνολογικού ενδιαφέροντος, υιοθετήθηκε από τους Βυζαντινούς στις αρχές του 7^{ου} αιώνα και αντικατέστησε πλήρως τους καταπέλτες συνεστραμμένων ινών, καθώς η κατασκευή του αλλά και η συντήρησή του ήταν πολύ απλούστερη σε σύγκριση με τα όπλα συστροφικής δύναμης.

Το λιθοβόλο έλξης ήταν κινεζική εφεύρεση του 3^{ου} αιώνα π.Χ. που έγινε γνωστή σε γειτονικούς λαούς και χρησιμοποιούνταν για αρκετού αιώνες στη Άπω Ανατολή. Μεταφέρθηκε στους Αβάρους μέσω πληθυσμών που μετακινούνταν, από αυτούς στους Βυζαντινούς και από τους τελευταίους στη Δύση αλλά και στα ισλαμικά στρατεύματα. Ήταν σε χρήση μέχρι και τον 12^ο αιώνα. (Μακρυπούλιας Χ, 2011 p. 269, 280, 281)

Το επόμενο βήμα εξέλιξης των πετροβόλων έλξης, έλαβε χώρα στη δύση και αφορούσε την αντικατάσταση του συστήματος έλξης από σύστημα αντιβάρου. Ο μηχανισμός προώθησης λίθων του καταπέλτη με αντίβαρο αποτελούνταν από ένα θάλαμο γεμάτο με βάρη, συνήθως πέτρες, στο τέλος του βραχίονα. Η σφενδόνα στο άλλο άκρο του βραχίονα φορτωνόταν με την πέτρα προς εκτόξευση και κάτω από την επίδραση των βαρών απελευθερώνόταν και έβαλε τον λίθο. (Salmon T. 2020 p. 439)

Αν και κάποιοι μελετητές θεωρούν ότι το πετροβόλο με αντίβαρο ήταν βυζαντινή επινόηση που έκανε την εμφάνισή του πριν από τον 13^ο αιώνα, στηριζόμενοι στο έργο του Νικήτα Χωνιάτη *Ιστορία* όπου περιγράφεται η πολιορκία του Ζέβγιμον το 1165, αυτό δεν είναι πολύ πιθανό. (βλ. Salmon T. 2020 p.438, 439) Στο συγκεκριμένο κείμενο δεν γίνεται σαφές αν τα πετροβόλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν με αντίβαρο. Εξάλλου υπάρχει πληθώρα δυτικών πηγών που αναφέρουν τα ονόματα «trebuchet», «bricola», «biffa» κ.α. για αυτό το είδος του καταπέλτη, ενώ οι αντίστοιχες βυζαντινές πηγές αποδίδουν τα ίδια ονόματα παραφρασμένα όπως «τριπουτσέτο» και «πρέκουλα» που φανερώνει ότι τα ονόματα αυτά χρησιμοποιούνταν ήδη από τους δυτικούς. Το πετροβόλο με αντίβαρο αντικατέστησε τον προηγούμενο τύπο στις αρχές του 13^{ου} αιώνα και χρησιμοποιήθηκε μέχρι το τέλος της Ανατολικής Αυτοκρατορίας. (Μακρυπούλιας Χ. 2011 p. 285-288)



Εικόνα 26: Λιθοβόλο με αντίβαρο

6.2.ζ Υγρό Πυρ

Ένα επιθετικό όπλο που είχαν κατ' αποκλειστικότητα οι Βυζαντινοί ήταν το «υγρό πυρ». Οι διάφορες πηγές που υπάρχουν δεν καθιστούν σαφές τον τρόπο λειτουργίας του όπλου, που αποκαλούνταν «ελληνική φωτιά». Από τα διάφορα αποσπάσματα που είναι διαθέσιμα μπορεί να περιγραφεί ως μία μεγάλη συσκευή που αποτελούνταν από ένα ερμητικά κλειστό δοχείο, όπου περιεχόταν κάποιο είδος ελαίου ή πετρελαίου υπό πίεση. Το δοχείο συνδεόταν μέσω μιας δερμάτινης περιστροφικής άρθρωσης με έναν χάλκινο σωλήνα και πιθανόν να διέθετε κάποιο τύπο αντλίας. Από τον σωλήνα εκτοξευόταν (άγνωστο πως) το περιεχόμενο του δοχείου και αναφλεγόταν, έχοντας τη χαρακτηριστική ιδιότητα να μην σβήνεται από το νερό.

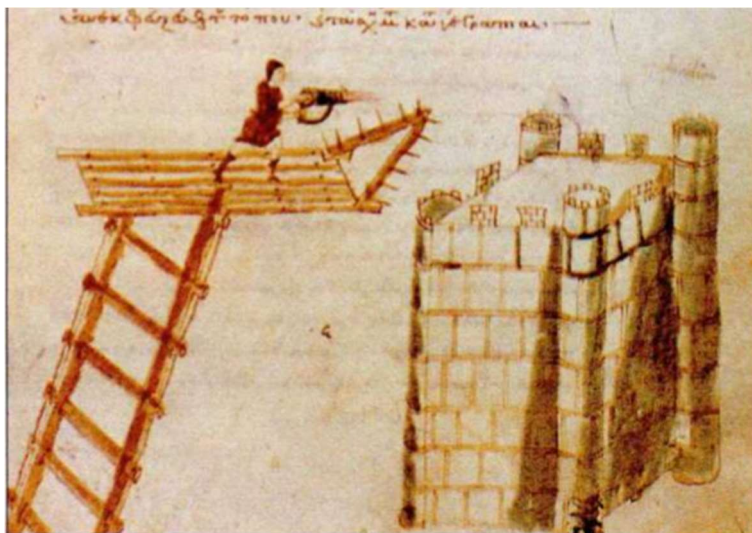
Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνταν τόσο στη θάλασσα για την πυρπόληση των εχθρικών πλοίων, όσο στην ξηρά σε πολιορκίες για το κάψιμο ξύλινων κατασκευών. Οι βυζαντινές πηγές εκθειάζουν την αποτελεσματικότητα του όπλου και μόνο από τις ψυχολογικές επιδράσεις που προκαλούσε στους αντιπάλους, πέραν των εκβάσεων των εχθροπραξιών.

Το υγρό πυρ ήταν σε χρήση από τον 7ο αιώνα, κάτι που επιβεβαιώνεται από την αναφορά σε αυτό, από τον χρονογράφο Θεοχάρη, ο οποίος περιέγραψε ότι ο Καλλίνικος από την Ηλιούπολη της Συρίας, το χρησιμοποίησε για πρώτη φορά εναντίον του στόλου των Αράβων στη διάρκεια της πολιορκίας της Κωνσταντινούπολης (674-678). Το αποτέλεσμα ήταν η νίκη

των Βυζαντινών μετά την πυρπόληση και την ολοσχερή καταστροφή των αραβικών πλοίων μαζί με τα πληρώματά τους.

Στον 9ο αιώνα υπήρξε μία εξέλιξη στο όπλο αυτό, καθώς κατασκευάστηκαν φορητές συσκευές χειρός, οι οποίες μπορεί να μην λειτουργούσαν υπό τις ίδιες αρχές, τα «χειροσίφωνα», που χειριζόταν ειδική ομάδα ανδρών, οι «σιφωνάτορες», προκαλώντας τρόμο στους αντιπάλους.

Φαίνεται ότι το υγρό πυρ θεωρούνταν σημαντικό στοιχείο του βυζαντινού οπλοστασίου, διότι υπήρχαν άνωθεν εντολές να μην διαρρεύσει σε ξένες δυνάμεις η σύσταση και η αρχή λειτουργίας του. Αν αυτό συνέβη ή όχι παραμένει ασαφές από τις πηγές. Γεγονός είναι ότι υπήρχαν και άλλες εμπρηστικές μηχανές, αλλά η συσκευή η ίδια και το σχήμα του εκτοξευτήρα, διαφοροποιούσαν το υγρό πυρ από τις υπόλοιπες. Από την πρώτη σταυροφορία και μετά, οι δυτικοί ιππότες που πολέμησαν στην ανατολή, χρησιμοποιούσαν τον όρο «ελληνική φωτιά» για όλες τις εμπρηστικές μηχανές χωρίς διάκριση με αποτέλεσμα να προκαλείται σύγχυση. (Κόλλιας Τ. 2005), (Haldon J. 2003 p.138), (Salmon T. 2020 p.445, 446)



Εικόνα 27: Επίθεση <<σιφωνάτορα>> σε εχθρικά τείχη

Συμπεράσματα

Στο παρελθόν υπήρχε μία προκατάληψη της επιστημονικής κοινότητας σχετικά με τις τεχνολογικές δυνατότητες των αρχαίων Ελλήνων. Ναι μεν ήταν παγκοσμίως αποδεκτό ότι η Αρχαία Ελλάδα ήταν η κοιτίδα του πολιτισμού και της Δημοκρατίας, αλλά επίσης και ότι οι άνθρωποι εκείνης της εποχής δεν είχαν επιδείξει κάποιο ενδιαφέρον για τις μηχανικές κατασκευές. Όλα έμελλαν να αλλάξουν σταδιακά, όπως συμβαίνει σε αυτές τις περιπτώσεις, μετά την ενασχόληση του καθηγητή Derek J. de Solla Price με τον επονομαζόμενο «Μηχανισμό των Αντικυθήρων» (Wright T. 2005).

Γρήγορα έγινε αντιληπτή η πολυπλοκότητα του οργάνου και οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν και συνεχίζονται μέχρι σήμερα, απέδειξαν ότι ο αρχαιότερος συναρμολογούμενος μηχανισμός που ανακαλύφθηκε, μηχανοποιούσε τις προβλέψεις των επιστημονικών θεωριών και μπορούσε να αυτοματοποιήσει πολλούς από τους υπολογισμούς που απαιτούνταν για τον ίδιο του τον σχεδιασμό. Είναι δηλαδή μία συσκευή μηχανοποίησης των μαθηματικών και της επιστήμης. (Freeth T.- Higgon D.- Dacanalis A.- MacDonald L- Georgakoroulou M.- Wojcik A. 2021). Το σίγουρο είναι ότι δεν ήταν το μόνο όργανο αυτού του επιπέδου αλλά το αποτέλεσμα μιας μακράς εξελικτικής πορείας που βασιζόταν δε μία κατασκευαστική παράδοση που ήδη υπήρχε

Το υψηλό επίπεδο της τεχνολογίας και η σύνδεσή της με τα επιστημονικά επιτεύγματα στην αρχαία Ελλάδα, εμφανίζεται ξεκάθαρα στην ανάλυση των διαφόρων οργάνων, του σχετικά μικρού δείγματος πεδίων που επιλέχθηκε για την παρούσα εργασία.

Η αρχαία ελληνική τεχνογνωσία, σε κάποιους τομείς πέρασε αρχικά στους Ρωμαίους και από αυτούς στους Βυζαντινούς και σε άλλους τομείς απ' ευθείας στους Βυζαντινούς. Για παράδειγμα η πολεμική τεχνολογία υιοθετήθηκε πρώτα από τους Ρωμαίους, ενώ οι μηχανισμοί με γρανάζια και η μουσική τεχνολογία πέρασε απ' ευθείας στους Βυζαντινούς.

Μια σχετική προκατάληψη υπάρχει και για τη βυζαντινή τεχνολογία. Οι μελετητές που έχουν ασχοληθεί με το θέμα δεν είναι πολλοί παρόλα αυτά υπάρχουν ευρήματα που υποδεικνύουν το επίπεδο της τεχνολογίας και την εξέλιξή της στα βυζαντινά χρόνια.

Το Βυζαντινό Ρολόι/Ημερολόγιο για παράδειγμα είναι πολύ σημαντικό εύρημα, τόσο γιατί αποδεικνύει την ύπαρξη μηχανισμών με γρανάζια κατά τη βυζαντινή εποχή, όσο και γιατί αποτελεί τον συνδετικό κρίκο που έλειπε μέχρι προσφάτως της τεχνολογίας της ελληνιστικής εποχής με την αραβική και κατ' επέκταση με τη δυτική. Έτσι μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα

ότι από την ελληνιστική εποχή, αυτή η τεχνολογική παράδοση πέρασε στη βυζαντινή (το όργανο χρονολογείται στον 5^ο ή πρώτο μισό του 6^{ου} αιώνα), μετά στην αραβική (το Κουτί της Σελίνης του Al-Biruni χρονολογείται στον 10^ο ή αρχές 11^{ου} αιώνα) και τέλος στη δυτική. Το Ρολόι των Φιλίππων από την άλλη είναι μοναδικό στο είδος του και πριν να ανακαλυφθεί θεωρούνταν ότι ο τύπος αυτός είχε εφευρεθεί κατά την Αναγέννηση.

Παράδειγμα τεχνολογικής εξέλιξης αποτελεί η Ύδραυλις που όχι μόνο δεν εξαφανίστηκε από το Βυζάντιο όπως έγινε στη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία μετά την πτώση της, αλλά επινοήθηκε μέθοδος εφοδιασμού των αυλών με αέρα σταθερής πίεσης, (το πρόβλημα που δεν μπορούσε να λύσει ο Κτησίβιος), καθιστώντας το όργανο πνευστό και φορητό χωρίς υποβάθμιση της ποιότητας του ήχου του και στη συνέχεια ως γνωστό πέρασε στη δύση και έγινε το επίσημο εκκλησιαστικό όργανο.

Η εξέλιξη που επιτεύχθηκε στην πολεμική τεχνολογία (πέραν του ότι ο Όναγρος ήταν καθαρά βυζαντινή εφεύρεση) υποδεικνύει ότι οι Βυζαντινοί αφού κληρονόμησαν την ελληνορωμαϊκή παράδοση, ήταν ικανοί να ξεχωρίσουν τι να κρατήσουν και τι ήταν απαρχαιωμένο από αυτήν και την εμπλούτισαν με καινοτόμα στοιχεία αφήνοντας το στίγμα τους σε αυτόν τον τομέα. (Salmon T. 2020 p.431, 435) Εξ' άλλου ο βυζαντινός στρατός φαίνεται να είχε πάντα έναν αριθμό ειδικών μηχανικών, που ήταν υπεύθυνοι για τον βαρύ οπλισμό και αναφέρονται στις περισσότερες πραμάτειες και σε άλλες πηγές. Για να κατασκευαστούν οι καταπέλτες και δη συστροφικής δύναμης, απαιτούνταν θεωρητική υποστήριξη και σχεδιασμός που ήταν διαθέσιμα στο βυζαντινό κόσμο. (Haldon J. 2003 p.137) Η εμπλοκή της επιστημονικής γνώσης στη βυζαντινή τεχνολογία είναι αυτονόητη, διότι τέτοιου επιπέδου κατασκευές βασίζονται σε θεωρητικό και επιστημονικό υπόβαθρο.

Οι βυζαντινοί λόγω της πρακτικής τους να μελετούν, να αντιγράφουν και να σχολιάζουν τα αρχαία κείμενα είχαν άριστη γνώση για το τι είχε επιτευχθεί στο παρελθόν από τους προγόνους τους. Η πρακτική τους αυτή ήταν ζωτική σημασίας για τη διάσωση των αρχαίων κειμένων, ειδικά μετά την τεράστια καταστροφή που άφησε πίσω της η άλωση της Κωνσταντινούπολης το 1204 από τους Σταυροφόρους. Πέραν της καταστροφής, η λεηλασία που υπέστη η Βασιλεύουσα δεν αφορούσε μόνο τους θησαυρούς, τα έργα τέχνη και τα τιμαλφή, αλλά και τα βιβλία και τα χειρόγραφα που συσσωρεύονταν και φυλάσσονταν από τους βυζαντινούς Αυτοκράτορες επί αιώνες. Πόσα από αυτά έχουν εξαφανιστεί και τι περιείχαν είναι άγνωστο.

Βιβλιογραφία

- Αναστασίου Μαγδαληνή, Μηχανισμός των Αντικυθήρων: Αστρονομία και Τεχνολογία στην Αρχαία Ελλάδα, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ιούνιος 2014
- Γούναρης Γεώργιος, «Χάλκινο Φορητό Ηλιακό Ωρολόγιο από τους Φιλίππους», Αρχαιολογική Εφημερίς, (1978), 181-191
- Καλλιγερόπουλος Δημήτριος, «Οι Αλεξανδρινοί Μηχανικοί και Αυτοματοποιοί: Κτησίβιος, Φίλων, Ήρων», Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.95 (Ιούνιος 2005),48-53.
- Κανάβας Κωνσταντίνος, «Θαυμαστές Μηχανές από την Ανατολή», Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.96 (Σεπτέμβριος 2005), 64-72.
- Καρασμάνης Βασίλης, «Η αρχαία Ύδραυλις και η ανακατασκευή της», Αρχαιολογία και Τέχνες». αρ.95, (Ιούνιος 2005), 61-67.
- Κόλλιας Ταξιάρχης, «Τεχνολογία και Πόλεμος στο Βυζάντιο», Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.96, (Σεπτέμβριος 2005), 18-24.
- Κορρές Μανώλης, «Αρχαία Τεχνολογία Υπερνίκησης Μεγάλων Βαρών». Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.95, (Ιούλιος 2005), 21-29
- Λαμπράκη Άννα, «Πως έχτιζαν οι Αρχαίοι», Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.9 (Νοέμβριος 1983), 27-34
- Μακρυπούλιας Χρήστος, Η Πολιορκητική Τέχνη των Βυζαντινών 4^{ος} -5^{ος} αι. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων 2011.
- Μαλιάρας Νίκος, «Μουσικά όργανα στους χορούς και τις διασκεδάσεις των Βυζαντινών», Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.91 (Ιούνιος 2004), 67-71.

- Μαμαλούκος Σταύρος, «Η Οικοδομική Τεχνολογία στο Βυζάντιο», Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.96 (Σεπτέμβριος 2005), 8-17.
- Μιχαηλίδης Σόλων, Τα κυριότερα μουσικά όργανα των αρχαίων Ελλήνων, Εγκυκλοπαίδεια της αρχαίας ελληνικής μουσικής, Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης 1982
- Μονιούδη- Γαβαλά Δώρα, Η Ελληνική Πόλη από τον Ιππόδαμο στον Κλεάνθη, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο 2015
- Μουσείο Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας, Κοτσανά Κώστα, <https://kotsanas.com/exh.php?exhibit=1401006>
- Νικολαΐδης Θύμιος, «Η Μέτρηση του Χρόνου στο Βυζάντιο», Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.75 (Ιούνιος 2000), 16-22
- Παπασπύρου Παναγιώτης – Κριάρης Διονύσιος -Στεργιάννη Ευλαμπία, «Το Βυζαντινό Ωρολόγιο και Ημερολόγιο», Ακαδημία Θεσμών και Πολιτισμών, Στοά των Επιστημών-Επιστημονική Επιθεώρηση, Τεύχος Γ' academy.eng.auth.gr/index.php/gr/scientific_reviews/stoa_of_sciences/thematic_volumes/Hellenistic_astronomy_and_mechanics/c_issue ημερομηνία ανάκτησης: 10/02/2023
- Πάνου Ευαγγελία, Μετρήσεις χρόνου και σχετικά αστρονομικά όργανα στην ελληνική αρχαιότητα: Το ρολόι του Ανδρόνικου Κυρρήστου (Πύργος των Ανέμων) και άλλα αρχαία ηλιακά ωρολόγια. Προτάσεις και εφαρμογές εκπαιδευτικών δράσεων για τη διδασκαλία σχετικών εννοιών στην εκπαίδευση, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2016
- Πετρόπουλος Μιχάλης – Καραπαναγιώτου Άννα (Καλάβρια Ελένη, Καραπαναγιώτου Άννα) Οικείες Ιστορίες, Οδηγός Έκθεσης Τρίπολης, Αρχαιολογικό Μουσείο Τρίπολης 2007

- Τανούλας Τάσος, «Η οικοδομική τέχνη των αρχαίων ελληνικών ναών», Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.95 (Ιούνιος 2005), 12-20
- Baldill Jonathan, (Ed.) Jeffreys Elizabeth – Haldon John – Cormack Robin, The Oxford Handbook of Byzantine Studies, Part II New York: Oxford University Press 2008
- Coulson Mary Lee, «Ηλιακά ρολόγια στη βυζαντινή Ελλάδα: Ανάλημμα ή ανάθεμα; », αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.75 (Ιούνιος 2000), 45-54
- Dalton O. M., The Byzantine Astrolabe at Brescia, Proceeding of the British Academy 1926, 133-146
- Filson Lilly, Special Topics Lecture 4: Byzantine Technology, January 16 2019 <https://filsonarthistory.wordpress.com/2019/01/special-topics-lecture-4-byzantine-technology/> ημερομηνία ανάκτησης 27/12/2022
- Freeth Tomy – Higgon David – Dacanaris Aris -MacDonald Lindsay -Georgakopoulou Myrto -Wojcik Adam, «A Model of Cosmos in the Ancient Greek Antikythera Mechanism», Science Reports, (2021/03/12) <https://doi.org/10.1038/s415898-021-84310-w> ημερομηνία ανάκτησης:07/02/2023
- Haldon John, (Ed.) Jeremy Black, Warfare State and Society in the Byzantine World, 565-1204. Vol. 14 London: Taylor & Francis Group UCL Press 2003
- Rossi Cesare – Russo Flavio – Russo Ferruccio, (Ed.) Ceccarelli Marco, Ancient Engineers' Inventions, History of Mechanism and Machine Science, Vol. 8 Naples: Springer 2009
- Salmon Thomas, (Ed.) Stavros Lazaris, A Companion to Byzantine Science. Vol. 6 Leiden/Boston: Brill 2020

- Tihon Anne, (Ed.) Anthony Kaldellis & Niketas Siniossoglou, The Cambridge Intellectual History of Byzantium. Part III Cambridge University Press 2017
- Valavanis K. P. - Vachtsevanos G. J. - Antsaklis P. J. , Technology and Mechanisms in the Mediterranean: From Ancient Greece to Byzantium, Proceedings of the European Control Conference 2007, Kos Greece, July 2-5, 2007
- West M. L. Ancient Greek Music, Oxford University Press 1992
- Wright T. Michael, «Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων. Η κατασκευή οργάνων στην αρχαιότητα», Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.95, (Ιούνιος 2005), 54-60
- Wright T. Michael, «Μηχανισμοί με γρανάζια από την αρχαιότητα ως σήμερα μια συνεχή παράδοση», Αρχαιολογία και Τέχνες, αρ.96, (Ιούνιος 2005), 58-63
- Wright T. Michael, «Greek and Roman Portable Sundials: An Ancient Essey in Approximation», Archive for History of Exact Sciences, Vol.55, No 2, (December 2000), p.177-187