ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ
&
ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Δ.Π.ΜΣ. «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟΝ ΑΡΧΑΙΟ ΚΟΣΜΟ

ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΜΠ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΑΜΑΣΗΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ

Περιβάλλον και Ανάπτυξη

ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2015

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη Διπλωματική μου Εργασία στο πλαίσιο των σπουδών μου στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Περιβάλλον και Ανάπτυξη» του ΕΜΠ, υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κ. Μαμάση Νικόλαου, στον οποίο οφείλω πολλές ευχαριστίες τόσο για την ανάθεση και υποστήριξη της διπλωματικής εργασίας, όσο και για τη συμβολή του στην απόκτηση σημαντικών γνώσεων κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω με το θερμότερο τρόπο τους γονείς μου Λάμπρο και Μαρία για την αγάπη, τη στήριξη και τις συμβουλές τους που με συνοδεύουν σε κάθε βήμα της ζωής και των σπουδών μου.

“Water is the driving force of all nature”

-Leonardo da Vinci

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη

Η εξέλιξη των μεθόδων και μηχανισμών της αρχαιότητας για την επίλυση του προβλήματος της άντλησης των υδάτων, με χρονολογική σειρά και έμφαση στις σημαντικότερες εφευρέσεις, είναι το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Τα χαρακτηριστικά των αρχαίων τεχνολογιών άντλησης, η χωρική τους εμφάνιση, η πορεία τους διαμέσου του χρόνου και η βιωσιμότητα τους αποτελούν τα ζητήματα προς μελέτη. Πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ των τεχνολογιών και πραγματεύεται η ύπαρξη μηχανισμών στην σύγχρονη εποχή, βασιζόμενων στις αρχές των αειφόρων εφευρέσεων του παρελθόντος.

Αναλυτικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται σύντομη αναφορά στο πρόβλημα της ανύψωσης υδάτων στην αρχαιότητα και στο αντίκτυπο που είχε η ανάπτυξη τεχνολογιών άντλησης στην άνθιση των πολιτισμών, με αδιαμφισβήτητο παράδειγμα την Αίγυπτο της Ελληνιστικής εποχής. Παρουσιάζεται επίσης ο σκοπός και το περιεχόμενο της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρατίθενται με χρονολογική σειρά τα βιβλιογραφικά ευρήματα για τις μεθόδους που εφάρμοσαν οι λαοί για την άντληση των υδάτων, ενώ το τρίτο κεφάλαιο εστιάζει στις σημαντικότερες τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν για το σκοπό αυτό.

Στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας, γίνεται παρουσίαση των ποσοτικών μεγεθών λειτουργίας των μηχανισμών που παρατέθηκαν προηγουμένως, ενώ όπου είναι εφικτό, αναφέρονται τεχνικές λεπτομέρειες για την κατασκευή τους και γίνεται προσπάθεια για την συγκριτική αξιολόγηση τους.

Η χρήση των τεχνολογιών άντλησης στη σύγχρονη εποχή υπό το πρίσμα της βιωσιμότητας στο χρόνο, εξετάζεται στο πέμπτο κεφάλαιο και τέλος, στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη.

Abstract

Water is considered as an absolutely necessary element for any kind of life. The problem of water pumping has been the focal point of research, aiming to minimize the effects of water scarcity from ancient times as well as nowadays. Indeed, especially in the ancient times it is obvious the fact that the biggest civilizations were blossomed near abundant sources of water.

In the ancient times although, the absence of electrical energy and energy derived from fossil fuels was the reason that manually operated mechanical devices, water wheels and wind pumps made their appearance. These devices, also generally known as pumps, have been traditionally used in irrigation in a number places around the world and many of the technologies applied today have been used for thousand years.

The evolution of ancient methods and machines for solving the problem of water pumping are presented in this postgraduate thesis. A chronological order with emphasis on the major technologies through the centuries is followed. The characteristics, the spatial appearance, the development through the times and the sustainability of the pumping methods are provided. A comparison between the various technologies and the existence of ancient pumps in nowadays are examined in this study.

Chapter one, highlights the problem of water lifting in ancient times and the influence that the development of pumping technologies had in the first major civilizations, focusing in Egypt of Hellenistic times. The purpose and the structure of the thesis are also presented.

Second chapter, presents with a chronological order the methods which ancient civilizations had applied for pumping water and the third chapter focuses on the most valuable of these technologies.

Chapter four, refers to the operational and technical details of the major achievements in pumping water and when is feasible, a comparison of the technologies is provided.

The use of ancient pumping technologies in modern times is the purpose of chapter five and finally, the basic conclusions of the study are presented in chapter six.

The fact that the purpose of the study is the examination of ancient methods and machines for water lifting, is the reason that water pumping devices and not water transferring methods (as aqueducts, siphons etc) are presented.

The following table presents the characteristics of water pumping methods and mechanisms that have been used in ancient times.

Type	Power Source	Water Level	Manufacture	Maximum Lift (m)	Typical Flow Rate (m^3/h)	Typical Lift (m)	Efficiency (%)
Waterbowl/Jar	Human	Surface	Basic	1	3-4	0,2-0,5	5-10
Swing basket	Human	Surface	Basic	1,5	4-5	0,75	10-15
Rope and bucket	Human	Surface/Ground	Basic	100	<1	10	10-40
Cerd	Animal	Surface/Ground	Basic	100	9	15	10-40
Mohte	Animal	Surface/Ground	Basic/Traditional	100	8	9	10-40
Double mohte	Animal	Surface/Ground	Basic/Traditional	100	14	5	10-40
Shaduf	Human	Surface	Basic/Traditional	4	3-4	2-3	30-60
Picottah	Human	Surface	Basic/Traditional	5-8	4	7	30-60
Suspended scoop	Human	Surface	Basic/Traditional	1	10-15	0,3-1	<25
Dhone	Human	Surface	Basic/Traditional	2	13	1	20-50
Archimedes' Screw	Human	Surface	Traditional/Industrial	1,2	20-50	0,2-1	50-60
Ctesibius' Pump	Human	Surface/Ground	Traditional/Industrial	1,5	<1	1	80
Suction Pump	Human	Surface/Ground	Traditional/Industrial	6	1,5-2	6	60-85
Rower Pump	Human	Surface/Ground	Traditional/Industrial	7	5-6	4	-
Treadle Pump	Human	Surface	Basic/Traditional	7	6	4	-
Chain/Rope and Washer Pump	Human	Surface/Ground	Basic/Traditional	35	0,6 - 2,4	10-35	50-80
	Animal	Surface/Ground	Basic/Traditional	35	3,6	20	50-80
Philo's Tympanum	Human/Animal	Surface	Traditional	1,5	48	1	-
Philo's Compartmented Wheel	Human/Animal	Surface	Traditional	3-4	5	3,5	60
Paddle wheel (Chakram)	Human	Surface	Basic/Traditional	1	18	0,5	20-50
Philo's Chain and Bucket Wheel	Human/Animal	Surface/Ground	Traditional	20	0,8	16	50
Saqiya	Animal	Surface/Ground	Traditional	20	10-16	3-9	40-70
Noria	Water Flow	Surface	Traditional	20	50	8	20-30
Wind Wheels (Kinderdijk, Holland)	Wind Flow	Surface	Traditional/Industrial	5	270	1	10-30

1. Εισαγωγή

Το νερό είναι απόλυτα συνδεδεμένο με τη ζωή και το βιοτικό επίπεδο του ανθρώπου. Η διαθεσιμότητα του, διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των πολιτισμών της αρχαιότητας, οι οποίοι άκμασαν σε περιοχές που το νερό ήταν άφθονο, κοντά σε πηγές, ποτάμια και λίμνες. Για τη μεταφορά του, κατασκευάστηκαν μεγάλα υδραγωγεία, που πολλές φορές ξεπερνούσαν τα 100 χλm μήκος, ωστόσο, η ανάγκη ανύψωσης του νερού ώθησε τους λαούς να εφεύρουν λύσεις για τη αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού. Η απουσία ηλεκτρικής ενέργειας και ορυκτών καυσίμων, οδήγησε στην δημιουργία απλών στην αρχή και πολύπλοκων αργότερα αντλητικών μηχανισμών.

Η ύπαρξη των αντλιών εντοπίζεται από την 3^{η} χιλιετία π.Χ. και η μορφή τους είχε διάφορες παραλλαγές. Κάποιες αξιοποιούσαν τη δύναμη του ανθρώπου, άλλες τη δύναμη του ζώου, ενώ οι υδροτροχοί και οι ανεμόμυλοι έπαιρναν κίνηση από τη ροή των ποταμών και του ανέμου αντίστοιχα.

Στην Αίγυπτο των Πτολεμαίων (323 π.Χ. - 30 π.Χ.), άκμασε όσο ποτέ η μηχανική και η τεχνολογία των Ελλήνων, γεγονός που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στα άφθονα νερά του ποταμού Νείλου, των οποίων η άμεση οικονομικοτεχνική διαχείριση ήταν τόσο αναγκαία όσο πουθενά αλλού. Ωστόσο, εντύπωση προκαλεί το γεγονός πως ενώ ο Νείλος διέθετε κάθε χρόνο την ίδια θεωρητικά ποσότητα υδάτων, οι μηχανισμοί που είχαν εφευρεθεί από τους Αιγύπτιους ήταν ελάχιστοι και απλής κατασκευής (π.χ. σαντούφ).

Καθοριστικό ρόλο στην ακμή της χώρας συντέλεσε ο Ελληνισμός, καθώς τόσο το κλίμα του τόπου, τα άφθονα νερά, η φυσιολογία του εδάφους όσο και οι παροχές των Πτολεμαίων, έδωσαν την απαιτούμενη ώθηση στους έλληνες μηχανικούς να εφεύρουν πλήθος μηχανισμών για την άντληση των υδάτων, με αποτέλεσμα τεράστιες άνυδρες εκτάσεις να μετατραπούν σε τόπους αφθονίας και πρασίνου. Εξάλλου, οι επιστήμες την εποχή εκείνη, άνθισαν σε τόσο μεγάλο βαθμό, που πολλοί ιστορικοί υποστηρίζουν πως η ελληνιστική Αλεξάνδρεια είχε φτάσει στα πρόθυρα της Βιομηχανικής Επανάστασης (Λάζος Δ., 1999).

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας, είναι να γίνει μια προσέγγιση στις τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν ανά τους αιώνες, προκειμένου να επιλυθεί το σοβαρό πρόβλημα της ανύψωσης του νερού. Η εξέλιξη των μηχανισμών διαμέσου του χρόνου, με έμφαση στις σημαντικότερες εφευρέσεις, είναι αντικείμενο που αναλύεται στο παρόν πόνημα, ενώ παράλληλα, πραγματοποιείται όσο καθίσταται δυνατόν μια σύγκριση μεταξύ τους. Τέλος, πραγματεύεται η ύπαρξη μηχανισμών στη σημερινή εποχή, βασιζόμενες στις αρχές των αειφόρων μηχανισμών που εφευρέθηκαν παλαιότερα.

Στο σημείο αυτό, διευκρινίζεται πως οι μέθοδοι που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία, είναι μηχανισμοί με σκοπό την άντληση – ανύψωση των υδάτων και όχι την μεταφορά τους, όπως για παράδειγμα ο (ανεστραμμένος) σίφωνας και τα υδραγωγεία της αρχαιότητας.

Η εργασία αποτελείται από πέντε (5) κεφάλαια:

Στο παρόν *κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή*, παρουσιάζεται συνοπτικά ο σκοπός και το περιεχόμενο της παρούσας εργασίας.

Στο *κεφάλαιο 2 – Η Άντληση Νερού στο Πέρασμα των Αιώνων*, όπως μαρτυρά και ο τίτλος, παρουσιάζονται με χρονολογική σειρά τα βιβλιογραφικά ευρήματα για τις μεθόδους που χρησιμοποιούσαν οι λαοί για την άντληση των υδάτων.

Στο *κεφάλαιο 3 – Μηχανισμοί Ανύψωσης Νερού στον Αρχαίο Κόσμο*, παρουσιάζονται εκτενέστερα οι σημαντικότεροι μηχανισμοί ανύψωσης νερού της αρχαιότητας.

Στο *κεφάλαιο 4 – Παρουσίαση Ποσοτικοποιημένων Μεγεθών και Αξιολόγηση Μηχανισμών*, παρατίθενται τεχνικές λεπτομέρειες για τον κάθε μηχανισμό, παρουσιάζονται ποσοτικά στοιχεία και γίνεται προσπάθεια για την συγκριτική αξιολόγηση τους.

Η χρήση των τεχνολογιών αυτών στη σύγχρονη εποχή, εξετάζεται στο *κεφάλαιο 5 – Χρήση Αρχαίων Μηχανισμών Ανύψωσης Νερού στη Σύγχρονη Εποχή*.

Στο *κεφάλαιο 6 – Συμπεράσματα*, αναφέρονται τα βασικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν στην παρούσα εργασία.

2. Η Άντληση Νερού στο Πέρασμα των Αιώνων

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα βιβλιογραφικά ευρήματα σχετικά με τους τρόπους άντλησης νερού στο πέρασμα των αιώνων από την Προϊστορική έως τη Σύγχρονη Εποχή. Η σειρά με την οποία παρατίθενται είναι χρονολογική, όσο αυτό είναι εφικτό, δεδομένης της αβεβαιότητας αναφορικά με την προέλευση ορισμένων τεχνικών ή μηχανισμών, συνεπώς και την χρονική τους εμφάνιση ανά τους αιώνες. Εδώ, θα πρέπει να αναφερθεί το γεγονός ότι σκόπιμα στο παρόν κεφάλαιο δεν γίνεται εκτενής παρουσίαση και αξιολόγηση των σημαντικότερων μηχανισμών, καθώς αυτή η επεξεργασία πραγματοποιείται στα επόμενα κεφάλαια.

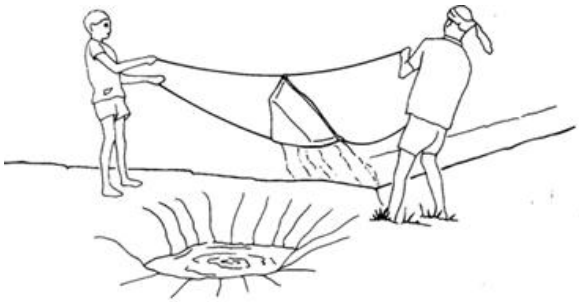
2.1 Προϊστορική Εποχή (4000 – 67 π.Χ.)

Η ανάγκη ανύψωσης του νερού από την Προϊστορική Εποχή (4000-67 π.Χ.), ώθησε τον άνθρωπο αρχικά να επινοήσει απλούς τρόπους και να κατασκευάσει μικρούς μηχανισμούς και εργαλεία για την επίτευξη του στόχου του. Στη συνέχεια ωστόσο, η ανάγκη για μεγαλύτερη απόδοση, έφερε την βελτίωση στα ήδη υπάρχοντα εργαλεία και μηχανισμούς αλλά και την εφεύρεση σχετικά πιο πολύπλοκων τρόπων ανύψωσης νερού.

Αρχικά εντοπίζονται οι σάκοι από δέρματα ζώων ή τα κεραμικά αγγεία για την άντληση και μεταφορά νερού. Είναι χαρακτηριστική εξάλλου η εικόνα στην αρχαιότητα που αναπαριστά γυναίκες να κουβαλούν νερό σε αγγεία τοποθετημένα στο κεφάλι τους (εικ.2.1.1).

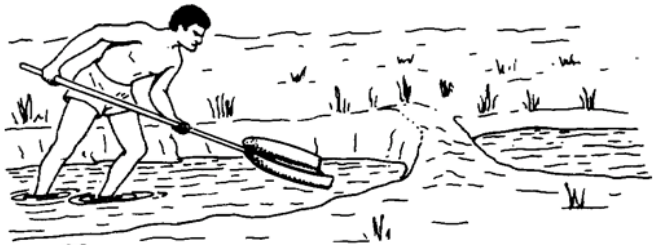
Εικόνα 2.1.1 Η μεταφορά του νερού σε δοχείο (Ewbank T., 1842)

Εκτός από την βύθιση του δοχείου στο νερό με σχοινί ή χωρίς, αναφέρεται η ύπαρξη καλαθιού με ζεύγος σχοινιών στις άκρες του, με σκοπό την άντληση από δύο άτομα ταυτόχρονα. Στην παρακάτω εικόνα 2.1.2 φαίνονται οι δύο χειριστές να αντλούν νερό.

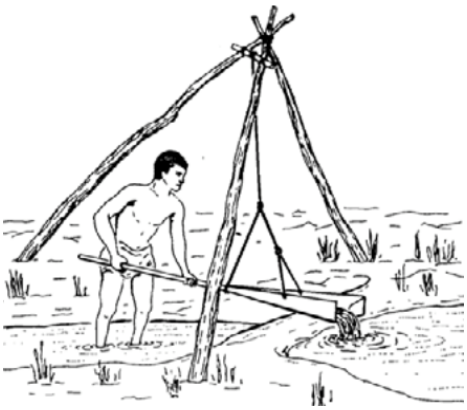


Εικόνα 2.1.2 Άντληση νερού μέσω καλαθιού από δύο άτομα (www.practicalaction.com)

Αρχικό επίσης εργαλείο για την ανύψωση νερού θεωρείται αυτό του ξύλινου αντλητή (scoop) (εικ.2.1.3). Ο χειριστής βυθίζει στο νερό τον αντλητή και με την δύναμη του τον ανυψώνει και τον αποθέτει στο επιθυμητό μέρος. Εξέλιξη του, αποτελεί ο κρεμαστός αντλητής (suspended scoop) στον οποίο ο αντλητής δεμένος με σχοινί κρεμόταν από την κορυφή της κατασκευής αποτελούμενη από τρείς δοκούς σε ισορροπία (εικ.2.1.4). Ο άνθρωπος μετά τη βύθιση του αντλητή στο νερό, έβαζε την δύναμη ως αντίβαρο έχοντας σαφώς μικρότερη καταπόνηση σε σχέση με πριν (Kennedy et al., 1985).



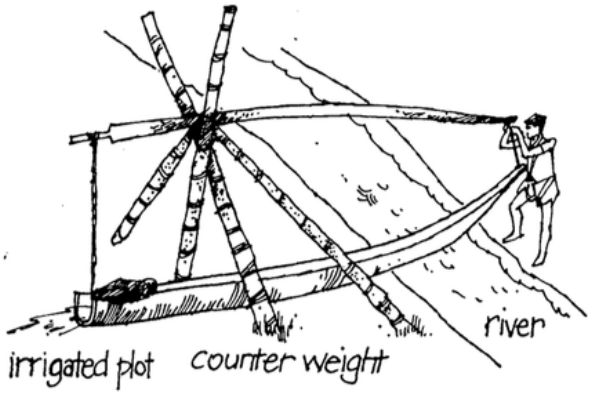
Εικόνα 2.1.3 Ξύλινος αντλητής (Fraenkel P.L., 1986)



Εικόνα 2.1.4 Κρεμαστός αντλητής (Kennedy et al., 1985)

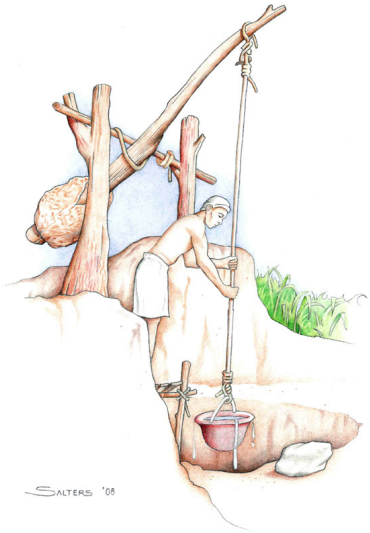
Βελτίωση των παραπάνω αποτελεί ο παρακάτω μηχανισμός τύπου κρεμαστού κανό (canoe-type suspended channel) ή αλλιώς dhone (εικ.2.1.5). Αποτελείται από ένα «κανάλι νερού» σε σχήμα κανό, φτιαγμένο από σκαλιστό κορμό δέντρου. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, το κανό κρέμεται από την κορυφή δοκών που ισορροπούν. Ωστόσο, θεωρείται ότι ισορροπούσε και πάνω σε υποστηρίγματα στο έδαφος, κυρίως στο Μπαγκλαντές (εικ.2.1.6) (Fraenkel P.L., 1986). Στο ένα άκρο βρίσκεται ο χειριστής και στο άλλο ένα αντίβαρο, με την αλληλουχία των σταδίων

λειτουργίας να είναι η εξής: ο χειριστής σπρώχνει κάτω το ένα άκρο του κανό μέχρι να βυθιστεί το μέρος που γίνεται η συλλογή του νερού. Έπειτα ανεβάζει το κανό έως ότου το αντίβαρο να παίξει τον κύριο ρόλο στην άντληση του νερού. Ωστόσο, υποστηρίζεται ότι συνήθως ο μισός περίπου όγκος νερού χάνεται την στιγμή που το κανό βγαίνει στην επιφάνεια, με αποτέλεσμα να χρειάζονται αρκετά διαλλείματα κατά την λειτουργιά για την ανάπαυση του χειριστή (Kennedy et al., 1985).



Εικόνα 2.1.5 Κρεμαστό κανό ή dhone (Kennedy et al., 1985)

Το κηλώνειον επίσης γνωστό και ως shaduf (ή shadoof) (εικ.2.1.6) πρωτοεμφανίζεται στην Μεσοποταμία στα 2500 π.Χ., ενώ στην Ινδία συναντάται με το όνομα picottah. Είναι ένας μηχανισμός που διακρίνεται για την απλότητα στην κατασκευή και την ευκολία στην λειτουργία του. Αποτελείται από έναν μοχλό, ο οποίος στην μια του άκρη φέρει σχοινί που συγκρατεί το μέσο για την ανύψωση του νερού και στην άλλη του άκρη φέρει αντίβαρο. Η διαφορά μεταξύ shaduf και picottah, έγκειται στο ότι στο πρώτο το αντίβαρο είναι η πέτρα, ενώ στο δεύτερο ο άνθρωπος.



Εικόνα 2.1.6 Το shaduf (Salters B., W.P. Law Inc)

Κατά την Εποχή του Χαλκού (3200 – 1100 π.Χ.) στα Μινωικά παλάτια η παροχή νερού διέφερε ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες, τη βροχόπτωση, τον υδροφόρο ορίζοντα και τη μορφολογία του εδάφους. Ωστόσο σε εγκαταστάσεις στην Νοτιοανατολική Κρήτη (Ζάκρος, Παλαιόκαστρο), αποδεικνύεται ότι η παροχή του νερού ήταν συνάρτηση των υπόγειων υδάτων. Στο Παλαιόκαστρο πολλές πηγές

ανακαλύφθηκαν με βάθος 10 έως 15 m (Angelakis et al., 2012). Παράλληλα υπάρχουν ενδείξεις ότι ο Μινωίτες είχαν εφεύρει και αυτοί το shaduf μεταξύ του 2100 και 1600 π.Χ., όπως και οι Αιγύπτιοι μερικές εκατοντάδες χρόνια πριν (Yannopoulos et al., 2014).

Θεωρείται ότι κατά την Εποχή του Χαλκού, δεν συνέβησαν αξιοσημείωτες αλλαγές στους τρόπους άντλησης νερού σε σχέση με την Προϊστορική εποχή. Οι πηγές παρείχαν νερό μέσω της άντλησης με καλάθια και δοχεία, συνήθως δεμένα από σχοινί σε συνεργασία με τροχό που χρησίμευε για την κάθοδο και την ανέλκυση των μέσων άντλησης. Στους ποταμούς εκτός από την άντληση με τα παραπάνω, μηχανισμοί όπως το shaduf και το picottah, λειτουργούσαν στην καθημερινότητα των λαών για την παροχή νερού από χαμηλότερα ύψη.

Μετά το 3000 π.Χ. και έως το τέλος της Προϊστορικής Εποχής στην Αρχαία Αίγυπτο πηγές αναφέρουν ότι οι λαοί της Μεσοποταμίας ευθύνονται για την άντληση νερού με αξιοσημείωτες μεθόδους. Οι Αιγύπτιοι όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αποδεικνύεται ότι εφηύραν το shaduf στα 2000 π.Χ., ωστόσο αρκετά χρόνια μετά, στην Ελληνιστική εποχή, κάνουν την εμφάνιση τους οι πρώτες αντλίες με τη μορφή υδρόμυλων (Yannopoulos et al., 2014).

2.2 Ιστορική Εποχή (480 π.Χ. – 330 mX.)

Η μεγαλύτερη εφεύρεση κατά την Κλασσική και Ελληνιστική περίοδο (480 – 67 π.Χ.) οφείλεται σε έναν μεγάλο Έλληνα μαθηματικό, φυσικό, μηχανικό και αστρονόμο, τον Αρχιμήδη (περ. 287 - 212 π.Χ.). Ο ατέρμων κοχλίας (εικ.2.2.1), γνωστός και ως υδρόβιδα ή έλικα είναι μια από τις παλαιότερες μηχανές άντλησης, η οποία διαδραμάτισε καταλυτικό ρόλο στο πέρασμα των αιώνων στην προσπάθεια του ανθρώπου να επιλύσει το πρόβλημα της ανύψωσης των υδάτων. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα για την άρδευση καλλιεργειών, άντληση υδάτων από έγκατα πλοίων ή μεταλλεία κ.α. Πρόκειται για μηχανισμό κατάλληλο για άντληση ύδατος αξιόλογης παροχής αλλά μικρής υψομετρικής διαφοράς. Αποτελούνταν αρχικά από ξύλινο άξονα που έφερε περιελίξεις από λεπτά και εύκαμπτα κλαδιά κολλημένα το ένα πάνω στο άλλο, ώστε να δημιουργείται ένας ατέρμονας κοχλίας που εφαπτόταν εσωτερικά ενός ξύλινου αγωγού. Η άντληση πραγματοποιούνταν με περιστροφή του κοχλία, ενώ ο μηχανισμός τοποθετούνταν με κλίση 30-40 μοιρών στο νερό. Σταδιακά σε κάθε περιέλιξη, το νερό ανυψωνόταν και τελικά έρρεε από το στόμιο του σωλήνα (Βιτρούβιος Χ).

Εικόνα 2.2.1. Ο ατέρμων κοχλίας του Αρχιμήδη (www.thehomesteadsurvival.com)

Η δεύτερη μεγαλύτερη εφεύρεση κατά την Κλασσική και Ελληνιστική περίοδο (480 – 67 π.Χ.) οφείλεται σε έναν επίσης μεγάλο μαθηματικό, μηχανικό και εφευρέτη της αρχαίας Ελλάδας, τον Κτησίβιο (285 - 222 π.Χ.) λογιζόμενος κατά ιδιοφυία μετά τον Αρχιμήδη. Η καταθλιπτική αντλία του Κτησίβιου (εικ.2.2.2) γνωστή και ως σίφων είναι μια θαυμαστή εφεύρεση που βρίσκει εφαρμογή ακόμη και σήμερα. Πρόκειται για μια δίδυμη αντλία που αποτελείται από δύο έμβολα που παλινδρομούν με τη βοήθεια αρθρωτών μοχλών και χειρομοχλών εντός δύο κατακόρυφων κυλινδρικών δοχείων που είναι βυθισμένα στο νερό. Το ένα έμβολο πιέζει και το άλλο απορροφά. Η κίνηση των εμβόλων δημιουργεί κενό αέρος και αναρρόφηση νερού το οποίο μέσω σωλήνα εκρέει από τον μηχανισμό (Βιτρούβιος Χ). Η αντλία έβρισκε εφαρμογή στην άντληση υδάτων από πηγή, από πλοία ή ορυχεία αλλά και ως πυροσβεστικός μηχανισμός (Koytsogiannis D. et al. 2003). Περισσότερη ανάλυση για την λειτουργία της αντλίας του Κτησίβιου πραγματοποιείται στο επόμενο κεφάλαιο.

Εικόνα 2.2.2. Η καταθλιπτική αντλία του Κτησίβιου (Ανακατασκευή Διονύσης Κριάρης. Παραχώρηση του Τ.Μ.Θ.)

Στο σημείο αυτό θα γίνει αναφορά στον παλαιότερο τύπο τροχού που υπήρξε, γνωστός και ως υποδιαιρεμένος τροχός του Φίλωνος (260 – 180 π.Χ.) τύπου τυμπάνου (tympanum) στη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία. Το τύμπανο (εικ.2.2.3) ήταν αντλητικός μηχανισμός μεγάλης παροχής αλλά μικρής ανύψωσης υδάτων. Η κατασκευή περιλαμβάνει τύμπανο χωρισμένο ακτινικά σε οκτώ τριγωνικά διαμερίσματα, τα οποία στην εξωτερική μεριά τους έφεραν ανοίγματα για την εισροή

του νερού το οποίο διέφευγε από οπές στο κέντρο του τυμπάνου (Λάζος, 1999). Η ενέργεια για την κίνηση προερχόταν από έναν ενσωματωμένο στο τύμπανο ποδοκίνητο τροχό και από περιφερειακά πτερύγια που κινούνταν από το νερό.

Εικόνα 2.2.3. Υποδιαιρεμένος τροχός τύπου τυμπάνου του Φίλωνος (www.kotsanas.com)

Σύμφωνα με το Βιτρούβιο, υπήρξε και δεύτερος είδος υποδιαιρεμένου τροχού, τύπου πολυκαδίας (εικ.2.2.4). Ήταν ιδιαίτερα δημοφιλής μηχανή για την άντληση νερού μεγαλύτερης υψομετρικής διαφοράς σε σχέση με τον απλό τύπο τυμπάνου. Τα αντλητικά τμήματα (κύβοι) περιορίζονταν στην περιφέρεια του τροχού, όπου υπήρχαν σφήνες ως στηρίγματα για τους ανθρώπους που βάδιζαν στην κορυφή, παρέχοντας την απαιτούμενη ενέργεια για την κίνηση του μηχανισμού (Βιτρούβιος Χ).

Εικόνα 2.2.4. Υποδιαιρεμένος τροχός τύπου πολυκαδίας του Φίλωνος (www.kotsanas.com)

Εξέλιξη της δεύτερης μορφής τυμπάνου του Φίλωνος τύπου πολυκαδίας αποτελεί η αλυσιδωτή αντλία γνωστή και ως μαγγάνι (εικ.2.2.5). Ο μηχανισμός αποτελείται από αλυσιδωτή ταινία η οποία τυλίγεται γύρω από περιστρεφόμενο τροχό και στην οποία έχουν προσαρτηθεί δοχεία για την άντληση του νερού. Η κατασκευή του μηχανισμού επιτρέπει την άντληση νερού από ακόμα μεγαλύτερα ύψη σε σχέση με τους προαναφερθέντες μηχανισμούς (Βιτρούβιος Χ).

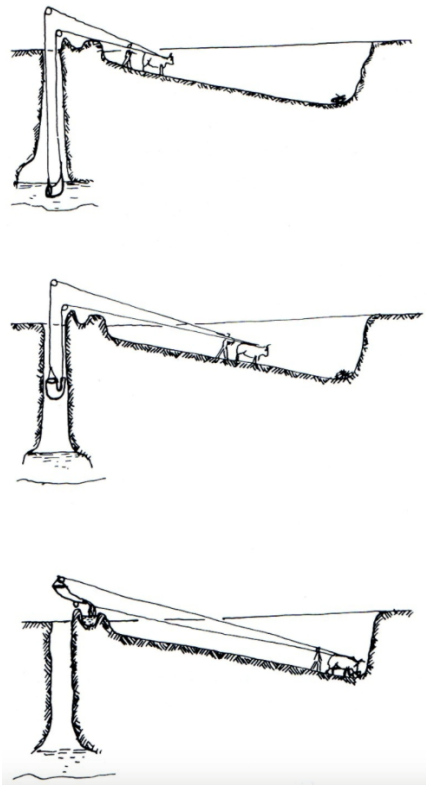
Εικόνα 2.2.5. Η αλυσιδωτή αντλία του Φίλωνος (Ανακατασκευή Διονύσης Κριάρης, www.archimedesclock.gr)

Η νορία ή noria (εικ.2.2.6) περιγράφει γενικά έναν υδραυλικό τροχό που εντοπίζεται στην αρχαία Αίγυπτο. Η κινητήρια δύναμη προερχόταν από τη ροή του ποταμού. Τα νερά εισρέουν στα ειδικά διαμορφωμένα μέρη περιφερειακά του τροχού, ανυψώνονται και διοχετεύονται σε διώρυγες (υδραγωγεία) που οδηγούν το νερό στις αγροτικές καλλλιέργειες ή στις πόλεις. Η λέξη νορία προέρχεται από τον αραβικό όρο «να' ούρα» και υποδηλώνει μια ανυψωτική μηχανή που χρησιμεύει στην άρδευση (Jacomy B., 1995).

Εικόνα 2.2.6. Noria στη Hama της Συρίας (ASME, 2006)

Στο σημείο αυτό γίνεται αναφορά για τον ρόλο που διαδραμάτισαν τα ζώα στην άντληση των υδάτων την εποχή αυτή. Σε πολλές περιπτώσεις τα ζώα, λόγω της εκ φύσης μεγαλύτερης ισχύς που αποδίδουν συγκριτικά με τον άνθρωπο, τον αντικατέστησαν, με αποτέλεσμα την ταχύτερη άντληση των υδάτων. Τα ζώα μπορούσαν να είναι βόδια, καμήλες ή μουλάρια.

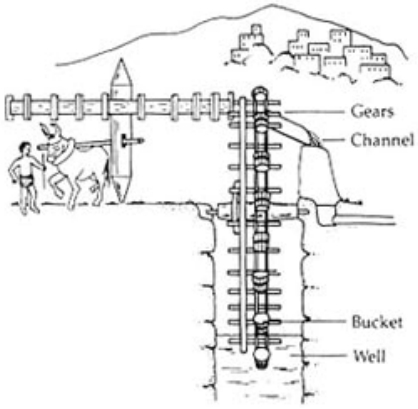
Η πιο παλαιά μέθοδος άντλησης με ζώα ήταν η σέρντ (cerd) στην Ινδία, κατά την οποία το νερό αντλείται από πηγή με δερμάτινους ασκούς που έλκονται από βόδια (εικ.2.2.7). Στο τέλος της διαδρομής, ως κίνητρο για το ζώο υπήρχε φαγητό ή νερό.



Εικόνα 2.2.7. Η μέθοδος σέρντ (Schioler T., 1973)

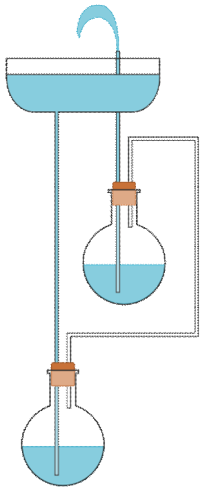
Ωστόσο, αναφορές υπάρχουν για υδρόμυλους κινούμενους από καμήλες στο Αφγανιστάν και σε άλλες Ασιατικές χώρες. Περιορισμένος αριθμός αυτών χρησιμοποιείται ακόμη και στις μέρες μας, όπως στο Σουδάν, που ακόμη λειτουργεί σύστημα άρδευσης μέσω βοδιών (Yannopoulos et al., 2014).

Η αντλητική μηχανή με γρανάζια κινούμενη από ζώα με ονομασία saqiya (εικ.2.2.8) είναι παράδειγμα που αποδεικνύει την συνδυαστική αξιοποίηση μηχανικής γνώσης και ισχύος των ζώων. Μέσω συστήματος γραναζιών εμπλεκομένων μεταξύ τους σε ορθή γωνία, μεταφέρεται η δύναμη που ασκεί το ζώο στον τροχό με αποτέλεσμα την άντληση νερού.



Εικόνα 2.2.8. Η saqiya (www.nationaldriller.com)

Στη Ρωμαϊκή περίοδο το μαγικό συντριβάνι ή κρήνη (εικ.2.2.9) εφευρέθηκε από τον Ήρωνα τον Αλεξανδρεύς (10-70 mX.), έλληνα μηχανικό και γεωμέτρη που έζησε στην Αλεξάνδρεια και θεωρείται μαθητής του Κτησίβιου. Πρόκειται για κρήνη που φαινομενικά καταργούσε τις αρχές της υδροστατικής πίεσης και συγκοινωνούντων δοχείων, εκτοξεύοντας νερό υψηλότερα από τη στάθμη της δεξαμενής (Kotsanas K., 2013). Ο Κωνσταντίνος Κοτσανάς αναφέρει χαρακτηριστικά: *«αποτελούνταν από ένα ανοικτό και δύο στεγανά δοχεία τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο. Το ενδιάμεσο στεγανό δοχείο ήταν γεμάτο με νερό και ένας σωληνίσκος ξεκινούσε λίγο πάνω από τον πυθμένα του και κατέληγε σε ένα ακροφύσιο πάνω από το ανώτερο ανοικτό δοχείο. Ρίχνοντας νερό στο ανώτερο ανοικτό δοχείο τότε αυτό μέσω ενός σωληνίσκου έρρεε στο κατώτερο στεγανό δοχείο. Ο εγκλωβισμένος αέρας σε αυτό πιεζόταν και μέσω ενός άλλου σωληνίσκου εκτόπιζε το νερό του ενδιάμεσου δοχείου εξαναγκάζοντάς το να ανέλθει στο ακροφύσιο και να σχηματίσει ένα μικρό πίδακα. Το νερό του πίδακα συμπλήρωνε το νερό του ανώτερου δοχείου (διατηρώντας τη στάθμη του σταθερή). Έτσι η διαδικασία αυτή ήταν αυτοσυντηρούμενη και συνέχιζε αυτόματα μέχρι να αδειάσει όλο το νερό από το ενδιάμεσο δοχείο»* (Ήρων ο Αλεξανδρεύς, Πνευματικά).



Εικόνα 2.2.9. Το μαγικό συντριβάνι του Ήρωνα (Daniel Martinez, www.wikimedia.com)

2.3 Μεσαιωνική Εποχή (5^{ος} - 15^{ος} αι.)

Στην εποχή του Μεσαίωνα και πιο συγκεκριμένα κατά την Βυζαντινή περίοδο (330 – 1204 mX) μεταξύ 5^{ου} και 9^{ου} αιώνα στην Περσία, κάνουν την εμφάνιση τους οι πρώτοι ανεμόμυλοι με κατακόρυφο άξονα (εικ.2.3.1). Βασική χρήση τους ήταν η άντληση νερού και η άλεση υλικών (Yannopoulos et al., 2014). Οι πρώτοι ανεμόμυλοι που εντοπίζονται στην Ευρώπη αποτυπώνονται σε γραπτά του 1270 και απεικονίζουν 4 έλικες σε οριζόντιο άξονα (εικ.2.3.2).

Εικόνα 2.3.1 Ανεμόμυλοι στην αρχαία Περσία (www.renewableenergyworld.com)

Εικόνα 2.3.2 Ανεμόμυλος στη Μεσόγειο (Dodge, 2006)

2.4 Σύγχρονη Εποχή (16^{ος} αι. – 21^{ος} αι.)

Στα τέλη του 17ου αιώνα, ο Ντενί Παπέν (1647 - 1712) Γάλλος φυσικός, μαθηματικός και εφευρέτης εφευρίσκει τη φυγοκεντρική αντλία. Η μηχανοκίνητη αυτή αντλία δημιουργεί αναρρόφηση για να τραβήξει το νερό. Λίγο αργότερα εμφανίζεται η αντλία με γρανάζια (Rosen, 2010).

Το 1650 ο Ότο φον Γκέρικε (1602 –1686) Γερμανός φυσικός επιστήμονας, εφευρέτης και πολιτικός, παρουσιάζει την αντλία κενού που την αποτελούσαν ένα έμβολο και ένας κύλινδρος που μπορούσαν να αφαιρέσουν τον αέρα μέσα από δοχεία. Ο Γκέρικε τη χρησιμοποίησε για να διερευνήσει τις ιδιότητες του κενού σε πολλά πειράματα.

Επίσης, ο Σάμιουελ Μόρλαντ (1625-1695) διακεκριμένος Άγγλος ακαδημαϊκός τους 17^{ου} αιώνα, το 1675 παρουσιάζει αντλία με έμβολο, ικανή να αντλήσει μεγάλη ποσότητα νερού με σημαντικά μικρότερη προσπάθεια σε σχέση με αρκετές αντλίες (Rosen, 2010).

Η Βιομηχανική Επανάσταση και η εφεύρεση της ατμομηχανής στα τέλη του 18ου αιώνα από τον Σκωτσέζο μηχανουργό, μηχανικό και εφευρέτη Τζέημς Βατ (1736 – 1819) έφερε καινοτόμες αλλαγές στο χώρο των αντλιών. Το 19^{ο} αιώνα η παραγωγή θερμικών και ηλεκτρικών μηχανών και η γρήγορη ανάπτυξη της βιομηχανίας σε

συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού δημιούργησαν ανάγκες που δύσκολα θα καλύπτονταν χωρίς τη χρήση αντλιών. Από το σημείο εκείνο και έπειτα η βιομηχανία των αντλιών έγινε σημαντικός τομέας της εμπορικής δραστηριότητας, με χαρακτηριστικό τη παραγωγή αξιόπιστων, αποδοτικών και οικονομικά προσιτών αντλιών (Sava Pump, 2012).

Στη σύγχρονη εποχή, οι αντλίες εμβόλου και οι φυγοκεντρικές αντλίες, ανοίγουν νέους ορίζοντες για την αξιοποίηση και διαχείριση υδατικών πόρων (Yannopoulos et al., 2014). Σημειώνεται ότι στο τέλος του κεφαλαίου 5 γίνεται σύντομη αναφορά στους τύπους και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των σύγχρονων αντλιών.

3. Μηχανισμοί Ανύψωσης Νερού στον Αρχαίο Κόσμο

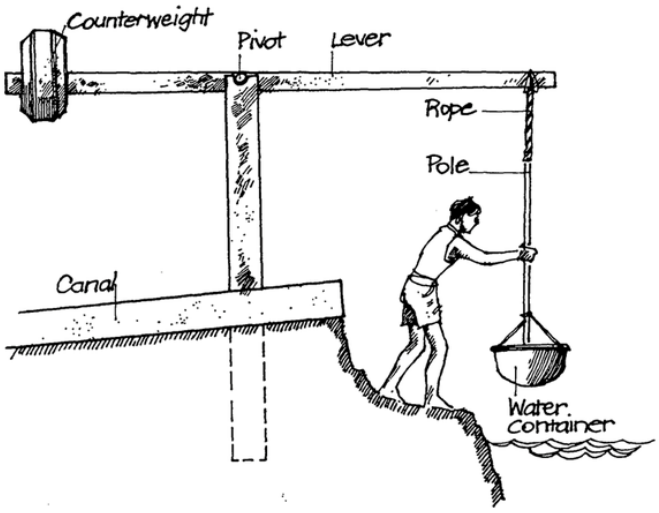
Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι σημαντικότερες μηχανές ανύψωσης νερού στον αρχαίο κόσμο, καθώς είναι εφικτό πλέον να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα γύρω από το ποιες μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό. Στο σημείο αυτό, αναφέρεται ότι κατά την αναζήτηση των πληροφοριών για το αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου, δεν ήταν πάντοτε σε συμφωνία οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν. Αυτό εξάλλου είναι χαρακτηριστικό του θέματος των αντλητικών μηχανισμών στην αρχαιότητα, δεδομένης της ιστορικής διαμάχης για την προέλευση τους.

3.1 Το κηλώνιον (shaduf)

Το κηλώνιο ή shaduf (εικ.3.1.1, 3.1.2) ήταν ο πρώτος προϊστορικός μηχανισμός ανύψωσης νερού με αξιοποίηση της δύναμης του ανθρώπου. Αν και θεωρούνταν ότι τον μηχανισμό εφηύραν οι αιγύπτιοι και επεκτάθηκε σε όλη τη Μέση Ανατολή μετά το 700 π.Χ., στις αρχές του 20^{ου} αιώνα ανακαλύφθηκε σφραγίδα που απεικόνιζε ξεκάθαρα ένα shaduf στην Μεσοποταμία της περιόδου του 2500 π.Χ. Θεωρείται λοιπόν ότι ο μηχανισμός αυτός πρωτοεμφανίστηκε στη Μεσοποταμία σε άγνωστη εποχή και από εκεί μέσω εμπορικών συναλλαγών, πολέμων και άλλων συνθηκών επεκτάθηκε σε άλλες περιοχές. (Λάζος Χ., 1999).

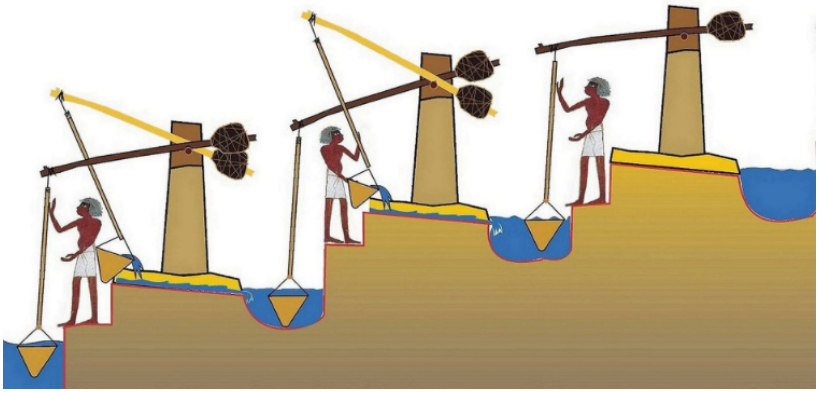
Το shaduf αποτελεί ενδιάμεση μέθοδο άντλησης νερού ανάμεσα στις τεχνικές με το χέρι και τις εξ ολοκλήρου μηχανικές τεχνικές. Έφερε ιστό με σχοινί στην μια άκρη του και από εκεί κρεμόταν σάκος από δέρμα ζώου ή δοχείο για την βύθιση στο νερό. Στην άλλη άκρη έφερε το αντίβαρο που ήταν μεγάλη πέτρα. Η δοκός τοποθετημένη στην μέση ενός διχαλωτού κάθετου δοκαριού ή κρεμασμένη από σχοινί τυλιγμένο σε οριζόντιο άξονα, ζυγιζόταν. Ανάλογα τη δύναμη που εφάρμοζε ο άνθρωπος στην άκρη της (σχοινί) κατέβαινε, το δοχείο ή ο σάκος βυθιζόταν στο νερό και έπειτα, ο χειριστής άφηνε ελεύθερο το σχοινί με αποτέλεσμα ο μηχανισμός να ανεβαίνει καθώς στην πίσω πλευρά του shaduf, το αντίβαρο λόγω του βάρους του κατερχόταν.

Για λόγους αύξησης της άντλησης, περισσότερα από ένα shaduf τοποθετούνταν το ένα δίπλα στο άλλο, ενώ εάν απαιτούνταν άντληση νερού από μεγάλο βάθος, τα shaduf τοποθετούνταν σε διαφορετικά επίπεδα το ένα πάνω από το άλλο (εικ.3.1.3). Το shaduf που βρισκόταν χαμηλότερα άδειαζε το νερό σε λεκάνη απ' όπου αντλούνταν από το επόμενο και έτσι τελικά το νερό έφτανε στο ανώτερο επίπεδο όπου και γινόταν η απόληψη του.



Εικόνα 3.1.1 Το shaduf (Kennedy et al., 1985)

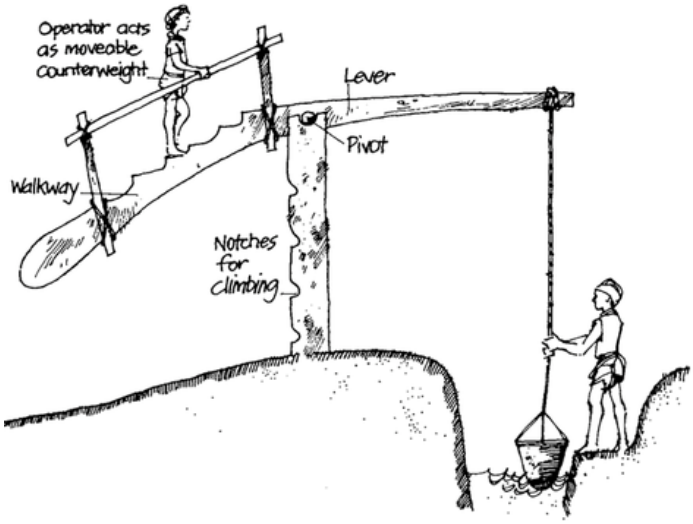
Εικόνα 3.1.2 Απεικόνιση shaduf σε Αιγυπτιακό τάφο του 1275 π.Χ. (Granger Collection, αρ. κατ. 0021190)



Εικόνα 3.1.3 Shaduf σε διαφορετικά επίπεδα σε σχέδιο του Helios Gomez (Gomez H.)

Ο μηχανισμός picottah (εικ.3.1.4) έχει παρόμοια λειτουργία, αλλά κατασκευαστικά είναι μεγαλύτερος και βαρύτερος από το shaduf. Τοποθετείται χρονικά στην ίδια εποχή με το shaduf ωστόσο εντοπίζεται κυρίως στην Ινδία. Στην περίπτωση αυτή το αντίβαρο είναι ο ίδιος ο άνθρωπος, συνήθως δύο άτομα που περπατούν στο ειδικά διαμορφωμένο με σκαλοπάτια και κουπαστή πίσω μέρος του μηχανισμού. Το τρίτο

άτομο χειρίζεται το μπροστινό μέρος του μηχανισμού, αντλώντας το νερό. (Kennedy et al., 1985).



Εικόνα 3.1.4 Picottah (Kennedy et al., 1985)

3.2 Ο ατέρμων κοχλίας του Αρχιμήδη

Ο ατέρμων κοχλίας, υδρόβιδα ή έλικα (εκ. 3.2.1, 3.2.2) του Αρχιμήδη (περ. 287 - 212 π.Χ.), είναι μια από τις παλαιότερα γνωστές αντλητικές μηχανές, η οποία στο πέρασμα των αιώνων χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο εύρος. Διαδόθηκε αρχικά στις χώρες της Μεσογείου και της Αραβίας και χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα.

Μεγάλο μέρος του έργου του Αρχιμήδη προέκυψε από τις ανάγκες της γενέτειράς του, τις Συρακούσες. Λέγεται ότι ο βασιλιάς Ιέρων Β' ανέθεσε στον Αρχιμήδη να σχεδιάσει ένα τεράστιο πλοίο, τη Συρακουσία και δεδομένου ότι σε ένα μεγάλο πλοίο θα διέρρεε αρκετό νερό, ο κοχλίας αναπτύχθηκε για την άντληση και απομάκρυνση του (www.wikipedia.com)

Ωστόσο, την εφεύρεση του κοχλία από τον Αρχιμήδη, αποδίδουν πολλοί πρώτα στην επίσκεψη που πραγματοποίησε ο τελευταίος στην Αίγυπτο μετά από πρόσκληση του Πτολεμαίου Β' του Φιλάδελφου. Ο Αρχιμήδης στην προσπάθεια του να βοηθήσει τους χωρικούς να αντλήσουν νερό από τον Νείλο, κατασκεύασε τον κοχλία. Ο Αγαθαρχίδης ο Κνίδιος (180-116 π.Χ.) χαρακτηριστικά αναφέρει ότι *«…οι άνθρωποι αρδεύουν όλη την περιοχή με την μηχανή που επινόησε ο Αρχιμήδης ο Συρακούσιος και ονομάζεται λόγω του σχήματος της κοχλίας»* (Διόδωρος ο Σικελιώτης)

Ο κοχλίας αποτελούνταν από ξύλινο άξονα που έφερε περιελίξεις από λεπτά και εύκαμπτα κλαδιά κολλημένα το ένα πάνω στο άλλο ώστε να δημιουργείται ένας ατέρμονας κοχλίας που εφαπτόταν εσωτερικά ενός ξύλινου αγωγού. Η άντληση πραγματοποιούνταν με περιστροφή του κοχλία είτε με τα χέρια είτε με τα πόδια. Η

μηχανή τοποθετούνταν με κλίση 30-40 μοιρών στο νερό και καθώς το νερό ανυψωνόταν σταδιακά σε κάθε περιέλιξη, τελικά έρρεε από το στόμιο του σωλήνα.

Παραθέτεται η περιγραφή του Ρωμαίου συγγραφέα, αρχιτέκτονα και μηχανικού Βιτρούβιου (80 π.Χ. – 15 π.Χ.), στο μοναδικό κείμενο αρχιτεκτονικής θεωρίας και πρακτικής που διασώζεται από εκείνη την εποχή, *Περί Αρχιτεκτονικής*:

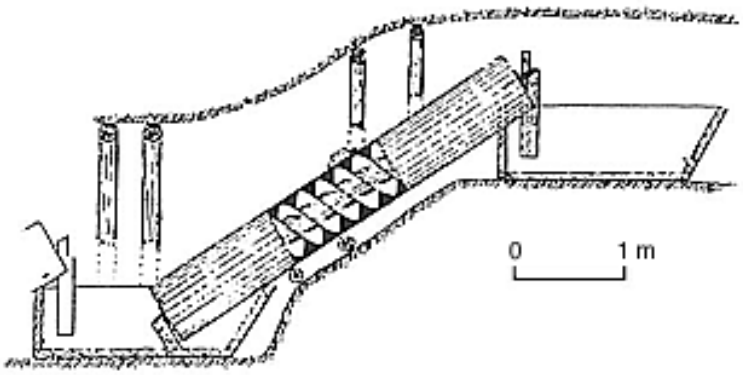
«1. Υπάρχει όμως ακόμη μια μηχανή, ο κοχλίας, η οποία δύναται να αντλήση μεγάλην ποσότητα ύδατος αλλά όχι εις μεγάλο ύψος όπως ο αντλητικός τροχός. Η κατασκευή της έχει ως εξής: λαμβάνουν μιαν δοκόν. Όσον είναι το μήκος της εις πόδας τόσο κατασκευάζεται το πάχος της εις δακτύλους (σημ. πους = 0,296 m επί ρωm χρόνων, δάκτυλος = 0,019 m Επομένως η σχέσις πους:δάκτυλος = 0,296:0,019 = 15 m περίπου. Εάν το μήκος της δοκού είναι 5 m το πάχος λαμβάνεται 0,33 m). Η δοκός αποστρογγυλούται ακριβώς και γίνεται κύλινδρος. Αι δύο περιφέρειαι των βάσεων της κυλινδρικής δοκού υποδιαιρούνται εις τέσσερα ή οκτώ ίσα μέρη, τα οποία συνδέονται κατόπιν μεταξύ των δι' ευθειών γραμμών (χορδών), και η διαίρεσις έχει γίνει κατά τοιούτον τρόπον, ώστε όταν η δοκός είναι οριζοντία, αι γραμμικαί διαιρέσεις της μιας βάσεως να αντιστοιχούν ακριβώς με τας γραμμικάς διαιρέσεις της άλλης βάσεως. Ακολούθως συνδέουν δι' ευθειών οριζοντίων γραμμών επι της κυλινδρικής επιφανείας τα αντίστοιχα σημεία των περιφερειών των δύο βάσεων και υποδιαιρούν εκάστην τοιαύτην οριζοντίαν γραμμήν εις ίσα μέρη, έκαστον των οποίων να ισούται με το όγδοον της περιφέρειας της βάσεως, οπότε οι χαραζόμενοι ούτως πως άτρακτοι (τμήματα της δοκού) τόσον κατά το πάχος, όσον και κατά το μήκος είναι ίσοι. (Χαράσσονται δηλ. παράλληλοι κύκλοι προς τας δυο βάσεις.) Σημειούνται τα σημεία τομής των ευθειών γραμμών των κύκλων.

2. Αφού κατ' αυτόν τον τρόπον έχει γίνει ακριβώς η σχεδίασις, λαμβάνουν λεπτόν ξύλινον έλασμα, το οποίο έχει κοπή από ιτιά ή λυγαριά, και αφού το επαλείψουν με υγράν πίσσαν, το στερεώνουν εις το πρώτον σημείον τομής (κύκλου παράλληλου και οριζοντίας ευθείας). Κατόπιν το στρέφουν πλαγίως προς το επόμενον σημείον τομής κύκλου και ευθείας. (σημ. Από το πρώτον σημείον τομής μεταβαίνομεν εις το αμέσως επόμενον σημείον επι της οριζοντίας γραμμής και από εκεί εις το σημείον ίσης αποστάσεως, το ευρισκόμενον επί του καθέτου κύκλου, όπου και στερεώνομεν). Κατ' αυτό τον τρόπον, γίνεται η στερέωσις, αφού το έλασμα περιστρέφεται περί την δοκόν και προχωρεί κατά μήκος. Και αφού από του πρώτου σημείου, κατ' αυτόν τον τρόπον, φθάνη κανείς είς το όγδοον σημείον, έχει φθάσει εις την αυτήν οριζοντίαν γραμμήν, εις το άκρον της οποίας εστερεώθη κατ' αρχάς το έλασμα, και εδώ το τέρμα του στερεώνεται επίσης. Κατά τον τρόπον αυτόν προχωρεί το έλασμα πλαγίως (ελικοειδώς) δια των οκτώ σημείων και κατά μήκος συγχρόνως προς το όγδοον σημείον. Κατά τον ίδιο τρόπον, αφού εις όλον το μήκος και το πλάτος εις έκαστον σημείον στερεώνονται στελέχη, σχηματίζονται δίαυλοι, οι οποίοι διήκουν περιστροφικώς (ελικοειδώς) δια των οκτώ υποδιαιρέσεων της δοκού, και δίδουν ακριβή και φυσικήν απομίμησιν ενός ελικοειδούς οστράκου κοχλίου.

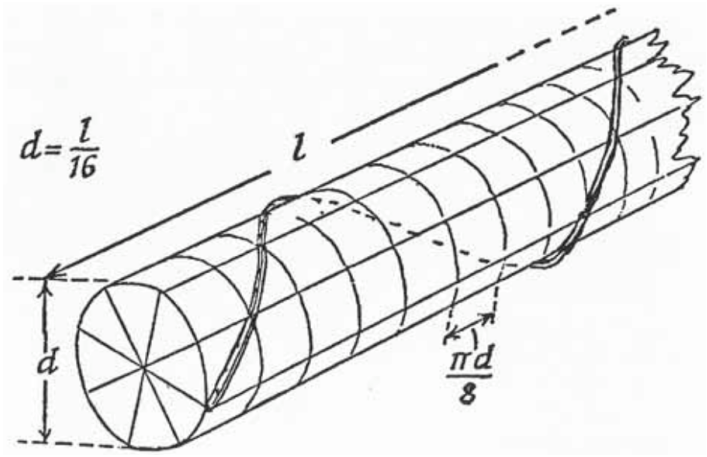
3. Κατ' αυτόν τον τρόπον στερεώνονται και άλλα στελέχη, το εν υπέρ το άλλον, μέχρι τοιούτου ύψους, ώστε όλον το πάχος να είναι το εν όγδοον του μήκους (της δοκού). Περιστροφικώς περί τα στελέχη αυτά τοποθετούνται και στερεώνονται ελάσματα (ξύλινα), τα οποία προστατεύουν τον κοχλίαν. Κατόπιν τα ελάσματα αυτά επαλείφονται με πυκνήν πίσσαν και στερεώνονται με σιδηράς ταινίας, δια να μη

θρύωνται εκ της πιέσεως του ύδατος. Τα πέρατα του ξύλινου κυλίνδρου (της δοκού) επενδύονται με σίδηρον. Δεξιά και αριστερά όμως του κοχλίου τίθενται παραστάδες, αι οποίαι εις τας δύο πλευράς, εις τα πέρατα, έχουν προσαρμοσθή με οριζόντια στελέχη. Εις αυτά έχουν εμπηχθή σιδηρά έμβολα και εις αυτά εισάγονται τα έμβολα του κοχλίου. Και ούτω ο κοχλίας περιστρέφεται σι' ανθρώπινης δυνάμεως εφαρμοζόμενης εις περιστροφικήν συσκευήν.

4. Η διάταξις του κοχλίου, όμως, εις ό,τι αφορά εις την κλίσην του, ρυθμίζεται, ώστε να ανταποκρίνεται εις το Πυθαγόρειον ορθογώνιον τρίγωνον. Το μήκος του κοχλίου χωρίζεται δηλ. εις πέντε ίσα μέρη, και το εν άκρον του κοχλίου τίθεται εις ύψος τριών τοιούτων μερών. Τότε η απόστασις της κατακορύφου από του υψωμένου άκρου του κοχλίου μέχρι του χαμηλότερου αυτού άκρου ισούται με τέσσερα τοιαύτα μέρη. Κατά ποίον τρόπον τούτο πρέπει να γίνεται δεικνύει το σχήμα, το οποίο έχει σχεδιασθή εις το τέλος του βιβλίου» (Βιτρούβιος Χ).



Εικόνα 3.2.1 Γραμμική αναπαράσταση του κοχλία του Αρχιμήδη βασισμένο σε αρχαιολογικά ευρήματα από το Centenillo της Ισπανίας (Palmer R. E., 1926-27)



Εικόνα 3.2.2 Η σχεδίαση του κοχλία του Αρχιμήδη βάσει της περιγραφής του Βιτρούβιου (Landels J. G., 1978)

Εικόνα 3.2.2 Σημερινή χρήση του κοχλία στην Αίγυπτο (www.cs.drexel.edu)

3.3 Η αντλία του Κτησίβιου

Η καταθλιπτική αντλία ή σίφων (εικ. 3.3.1) οφείλει την ύπαρξη της στον Κτησίβιο (285 - 222 π.Χ.), γιό κουρέα, δεύτερο μεγάλο εφευρέτη και μηχανικό της αρχαίας Ελλάδας μετά τον Αρχιμήδη. Θεωρείται ο πατέρας της πνευματικής επιστήμης που ασχολείται με τον αέρα και τις χρήσεις του και ο ιδρυτής του πρώτου πολυτεχνείου της εποχής, της ξακουστής Αλεξανδρινής σχολής των μηχανικών. Σταθμοί στην ιστορία της μηχανικής αποτέλεσαν και άλλα έργα του όπως το υδραυλικό ρολόι, το μουσικό όργανο ύδραυλις και το χαλκότονο, όπλο με μεταλλικά ελάσματα. Η ελαστικότητα του αέρα και το ασυμπίεστο του νερού ήταν οι νόμοι στους οποίους ο Κτησίβιος στηρίχτηκε για την έρευνα του. Τα πρωτότυπα κείμενα του Κτησίβιου είναι σχεδόν βέβαιο ότι δεν υπάρχουν, ωστόσο οι πηγές που αναφέρουν την αντλία προέρχονται από τον Φίλων Βυζάντιο, μαθητή του Κτησίβιου όπως την περιγράφει στα *Πνευματικά* (εικ. 3.3.2), τον Βιτρούβιο στο έργο του *Περί Αρχιτεκτονικής* και τον Ήρων τον Αλεξανδρέα στα *Πνευματικά* (εικ. 3.3.3) (Λάζος Χ., 1999).

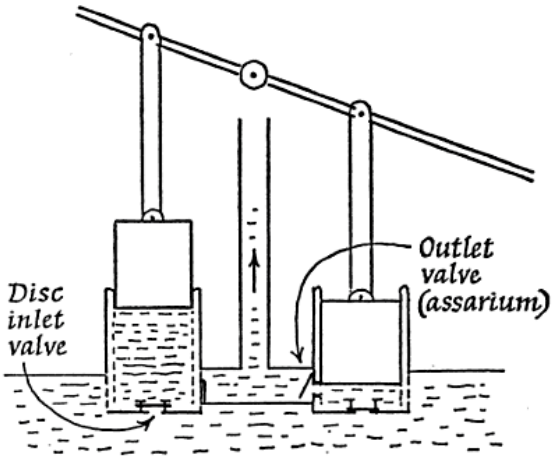
Η αντλία του Κτησίβιου αποτελεί μια θαυμαστή εφεύρεση που βρίσκει εφαρμογή ακόμη και σήμερα σε αρδευτικά, υδρευτικά, αποστραγγιστικά έργα, σε κατασβέσεις πυρκαγιών, ορυχεία κ.α. Πρόκειται για μια δίδυμη αντλία που αποτελούνταν από δύο έμβολα που παλινδρομούσαν με τη βοήθεια αρθρωτών μοχλών και χειρομοχλών εντός δύο κατακόρυφων κυλινδρικών δοχείων που ήταν βυθισμένα στο νερό. Το ένα έμβολο πιέζει και το άλλο απορροφά. Η κίνηση των εμβόλων δημιουργεί κενό αέρος και αναρρόφηση νερού, το οποίο μέσω σωλήνα εκρέει από τον μηχανισμό (Βιτρούβιος Χ).

Εικάζεται ότι ο Βιτρούβιος είχε στην κατοχή του το πρωτότυπο κείμενο του Κτησίβιου, τα *Απομνημονεύματα*, καθώς γίνονται παραπομπές σε αυτό για όσους θέλουν περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την αντλία. Σε ελεύθερη μετάφραση από την απόδοση του Χ. Ζερεφού του έργου του Βιτρούβιου *Περί Αρχιτεκτονικής*, ο Λάζος μας μεταφέρει (Λάζος Χ., 1999):

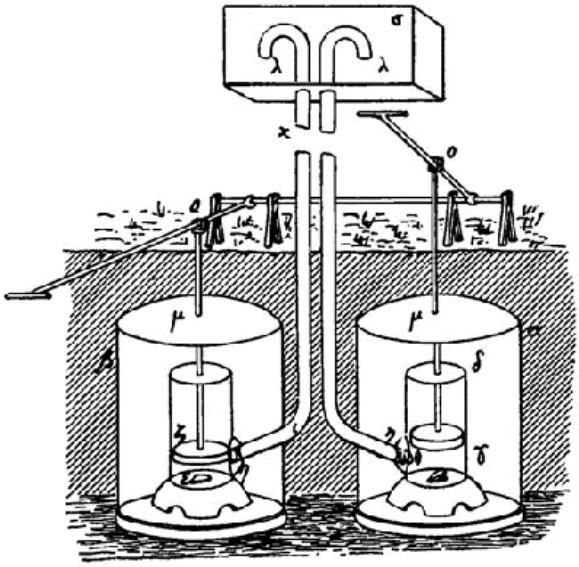
«1. Στη συνέχεια θα μιλήσω για την μηχανή του Κτησίβιου, η οποία ανεβάζει ψηλά το νερό. Είναι φτιαγμένη από μπρούντζο και έχει στο κάτω μέρος της ένα ζευγάρι κυλίνδρους, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι λίγο μακριά ο ένας από τον άλλο. Ένας αγωγός είναι συνδεδεμένος με τον κάθε κύλινδρο. Οι αγωγοί που ξεκινάνε από τον κάθε κύλινδρο ανυψώνονται σαν διχάλα ενός πιρουνιού παράλληλα με το δοχείο που βρίσκεται ανάμεσα στους κυλίνδρους. Μέσα σ' αυτό το δοχείο υπάρχουν βαλβίδες που εφαρμόζουν επακριβώς στα ανώτερα στόμια των αγωγών και φράζουν τις οπές εξαερισμού. Έτσι συγκρατούν ό,τι με πίεση διοχετεύεται στο δοχείο και δεν αφήνουν να ξανακατέβει.

2. Πάνω από το δοχείο εφαρμόζεται ένα κάλυμμα σαν ανάστροφο χωνί και δένεται στο δοχείο με τη βοήθεια ενός καλά σφηνωμένου καρφιού, έτσι ώστε να το εμποδίσει να ανυψωθεί από την πίεση του νερού που εισβάλει μέσα. Πάνω απ' αυτό συνδέεται ένας αγωγός, που λέγεται τρομπέτα και στέκεται κάθετα. Εισάγονται βαλβίδες στους κυλίνδρους κάτω από τα κατώτερα στόμια των αγωγών και πάνω από τα ανοίγματα που βρίσκονται στο κάτω μέρος των κυλίνδρων.

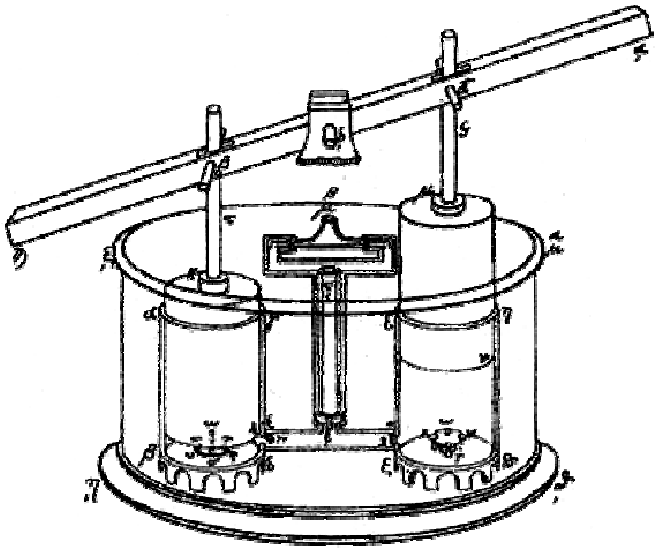
3. Πιστόνια που γυρίζουν μαλακά, στιλβωμένα με λάδι και που έχουν εισαχθεί από το πάνω μέρος στους κυλίνδρους, επιδρούν με τις ράβδους και τους μοχλούς τους στον αέρα και το νερό των κυλίνδρων και καθώς οι βαλβίδες φράζουν τα ανοίγματα, τα πιστόνια οδηγούν το νερό με την επαναλαμβανόμενη πίεση και διαστολή τους δια μέσου των στομίων των αγωγών μέσα στο δοχείο. Από το δοχείο το κάλυμμα δέχεται τα φουσκωμένα ρεύματα και τα στέλνει προς τα πάνω στην κορυφή δια μέσου ενός αγωγού. Κι έτσι μπορούμε να έχουμε νερό για ένα συντριβάνι που προέρχεται από μια δεξαμενή σε κατώτερο επίπεδο» (Βιτρούβιος, Χ).



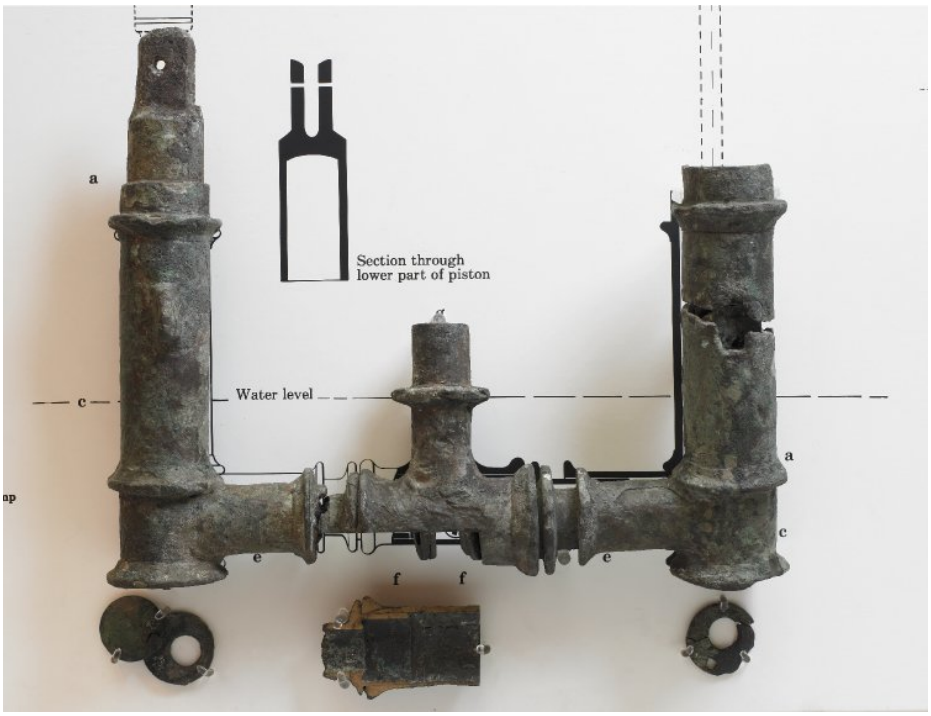
Εικόνα 3.3.1 Η αντλία του Κτησίβιου (Landels, 1978)



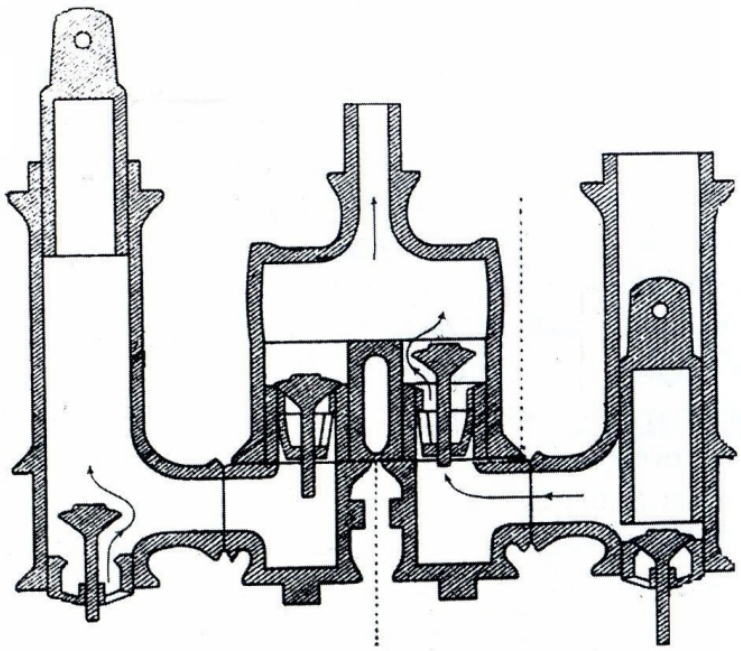
Εικόνα 3.3.1 Αναπαράσταση της αντλίας από τον Φίλωνα στα *Πενυματικά* (Carra de Vaux, 1903)



Εικόνα 3.3.2 Η αντλία όπως περιγράφεται στο έργο του Ήρωνα *Πενυματικά* (Schmidt, 1899)



Εικόνα 3.3.3 Απεικόνιση της αντλίας που βρέθηκε στη Bolsena της Ιταλίας το 3ο αι. mX. (Βρετανικό Μουσείο, αρ. κατ. 1892, 0517.1)



Εικόνα 3.3.4 Γραμμική αναπαράσταση της αντλίας της Bolsena (Walters, 1929)

3.4 Ο υποδιαιρεμένος τροχός του Φίλωνα

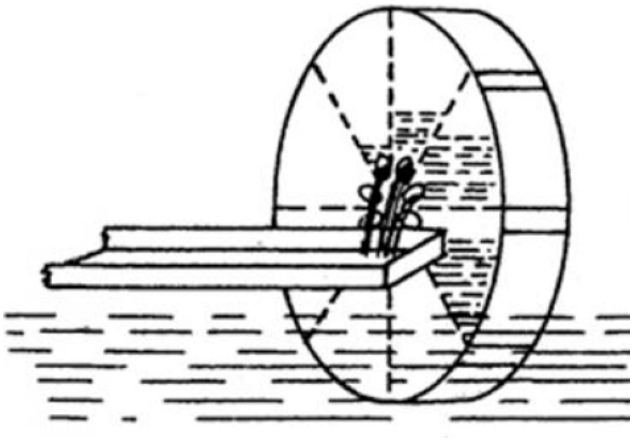
Με τον υποδιαιρεμένο τροχό, γίνεται η είσοδος στο χώρο των μηχανισμών που οι Άραβες ονομάζουν γενικά «νορίες» δηλαδή (υδραυλικός) τροχός. Η παλαιότερη αναφορά για τον υποδιαιρεμένο τροχό, συναντάται στο έργο του Φίλωνα (260 – 180 π.Χ.) του Βυζαντίου, *Πνευματικά*, σε αραβικό αντίγραφο του 14^{ου} αιώνα και εικάζεται ότι αναπαράγει κάποιο κείμενο του 3^{ου} αιώνα mX. (Λάζος, 1999).

Οι δύο παραλλαγές αυτού του μηχανισμού είναι το τύμπανο (εικ. 3.4.1) και η πολυκαδία (εικ.3.4.3). Το τύμπανο, είναι μηχανισμός για την άντληση νερού μικρής υψομετρικής διαφοράς και είναι απλούστερη κατασκευή. Περιλαμβάνει τύμπανο χωρισμένο ακτινικά σε οκτώ ή δέκα ισοσκελή τριγωνικά διαμερίσματα. Σε κάθε διαμέρισμα υπάρχει άνοιγμα στην περιφέρειά του για την εισροή του νερού όταν βρίσκεται στο χαμηλότερο σημείο της τροχιάς του και μια οπή στην κορυφή για την εκροή του νερού που εγκλωβίστηκε όταν αυτό βρίσκεται στο ανώτερο σημείο της τροχιάς. Η ενέργεια για την κίνηση προερχόταν από έναν ενσωματωμένο στο τύμπανο ποδοκίνητο τροχό ή/και από περιφερειακά πτερύγια που κινούνταν από το νερό (Λάζος, 1999).

Ο Βιτρούβιος περιγράφει (Λάζος, 1999):

«1. Θα σας εξηγήσω τώρα την κατασκευή διαφορετικών ειδών οργάνων που εφευρέθηκαν για την ανύψωση νερού και θα μιλήσω πρώτα για το τύμπανο, το οποίο μολονότι δεν σηκώνει το νερό ψηλά, ανυψώνει πολύ γρήγορα μια μεγάλη ποσότητα. Ένας άξονας είναι τοποθετημένος πάνω σ' έναν τόρνο, έχοντας στις άκρες του σιδερένια στεφάνια και γύρω από τη μέση του ένα τύμπανο που αποτελείται από ενωμένες σανίδες. Στηρίζεται σε πασσάλους που έχουν κομμάτια από σίδερο πάνω τους κάτω από τις άκρες του ενός άξονα. Στο εσωτερικό αυτού του τυμπάνου υπάρχουν οχτώ τεμάχια τοποθετημένα σταυρωτά ανά διαστήματα που εκτείνονται από τον άξονα ως την περιφέρεια του τυμπάνου, χωρίζοντας τον εντός του τυμπάνου χώρο σε ίσα διαμερίσματα.

2. Γύρω από το χείλος του τυμπάνου καρφώνονται σανίδες αφήνοντας ανοίγματα των έξι ιντσών (περ. 15 εκ.), για να μπαίνει το νερό. Επί πλέον, κατά μήκος του άξονα ανοίγονται οπές, όπως αυτές του περιστερώνα, δίπλα στον άξονα μια για κάθε διαμέρισμα. Αφού πασαλειφτεί με πίσσα, όπως ένα πλοίο, το περιστρέφουν άντρες με έναν ποδόμυλο και καθώς υψώνεται το νερό με τη βοήθεια των ανοιγμάτων στη πρόσοψη του τυμπάνου, μεταφέρεται μέσω των οπών δίπλα στον άξονα σ' ένα ξύλινο κοίλωμα, που είναι συνδεδεμένο με μια σκάφη. Έτσι μια μεγάλη ποσότητα νερού είναι διαθέσιμη για την άρδευση των κήπων ή για να αραιώσει το αλάτι στις αλυκές.» (Βιτρούβιος, X).



Εικόνα 3.4.1. Υποδιαιρεμένος τροχός του Φίλωνος τύπου τυμπάνου (Landels, 1978)

Εικόνα 3.4.2. Η κίνηση μέσω ποδοκίνητου τροχού (www.kotsanas.com)

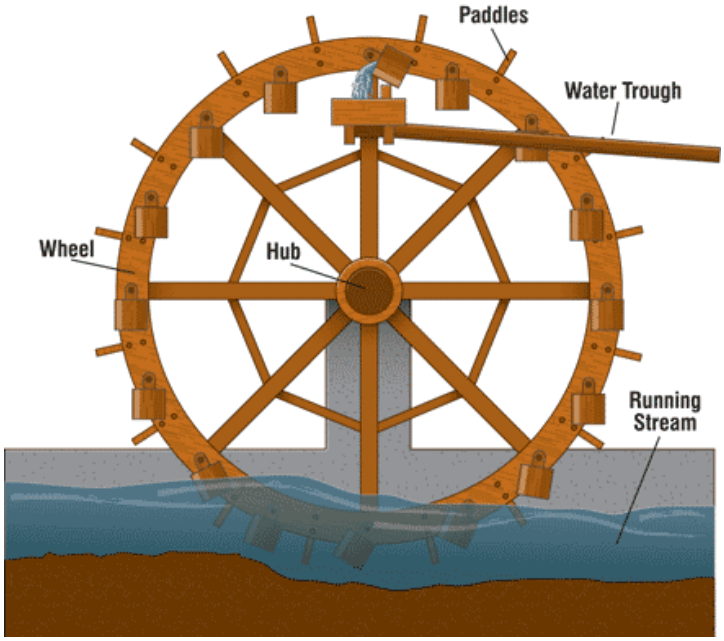
Το δεύτερο είδος υποδιαιρεμένου τροχού τύπου είναι ο τροχός τύπου πολυκαδίας (εικ.3.4.3). Ήταν ιδιαίτερα δημοφιλής μηχανή για την άντληση του νερού μεγαλύτερης υψομετρικής διαφοράς σε σχέση με τον απλό τύπο τυμπάνου. Αποτελούνταν από ένα μεγάλο περιστρεφόμενο ακτινωτό τροχό που πάνω του υπήρχαν υδατοστεγείς κύβοι (κουτιά) και όπως και στον προηγούμενο τύπο τυμπάνου, έφεραν άνοιγμα για την εισροή του νερού όταν βρίσκεται στο χαμηλότερο σημείο της τροχιάς του και για την εκροή του νερού όταν αυτό βρίσκεται στο ανώτερο σημείο της τροχιάς. Η κίνηση γινόταν μέσω του βηματισμού εργάτη στα περιφερειακά σκαλοπάτια του μηχανισμού ή από ποδοκίνητο τροχό. Σύμφωνα με το Βιτρούβιο (Λάζος, 1999):

«3. Όταν όμως το νερό πρέπει να υψωθεί ψηλότερα, η ίδια αρχή θα τροποποιηθεί ως εξής: πρέπει να κατασκευαστεί ένας τροχός πάνω στον άξονα αρκετά μεγάλος, ώστε να φτάνει στο απαιτούμενο ύψος. Γύρω από την περιφέρεια του τροχού θα υπάρχουν κύβοι που θα γίνουν υδατοστεγείς με πίσσα και κερί. Έτσι όταν ο τροχός θα γυρίζει με το βηματισμό, οι κύβοι-κουτιά θα ανεβαίνουν πάνω γεμάτοι, θα επιστρέφουν στο κάτω μέρος και θα αδειάζουν από μόνοι τους στη δεξαμενή το νερό που κουβάλησαν.» (Βιτρούβιος, Χ).

Εικόνα 3.4.3. Τμήμα τροχού τύπου πολυκαδίας (Ανακατασκευή Διονύσης Κριάρης, www.archimedesclock.gr)

Στην Συρία, τους υδροτροχούς τους ονομάζουν «νορίες» (εικ. 3.4.4) και χαρακτηριστικό είναι το μεγάλο τους μέγεθος. Εμφανίστηκαν μεταξύ 3^{ου} και 2^{ου} αιώνα π.Χ. στην περιοχή της Αιγύπτου, ενώ αρκετοί τέτοιοι μηχανισμοί χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα. Τα νερά αντλούνται από ποταμό μέσω της ενέργειας που ο ίδιος παρέχει και διοχετεύονται σε διώρυγες για την γεωργική χρήση τους και όχι μόνο. Ο Περσικός τροχός (εικ. 3.4.5) είναι μια ειδικά διαμορφωμένη νορία που αποτελείται από μια ατέρμονη σειρά από δοχεία τοποθετημένα στην περιφέρεια του τροχού. Στο χαμηλότερο σημείο της κίνησης του τροχού , το δοχείο βυθίζεται στο νερό και γεμίζει, ενώ στο υψηλότερο αδειάζει υπό κλίση σε ειδικά διαμορφωμένη διώρυγα που μεταφέρει το νερό (Λάζος, 1999).

Εικόνα 3.4.4. Νορία στη Συρία (φωτ. Bernard Gagnon)



Εικόνα 3.4.5. Τα μέρη του περσικού τροχού (www.machinerylubrication.com)

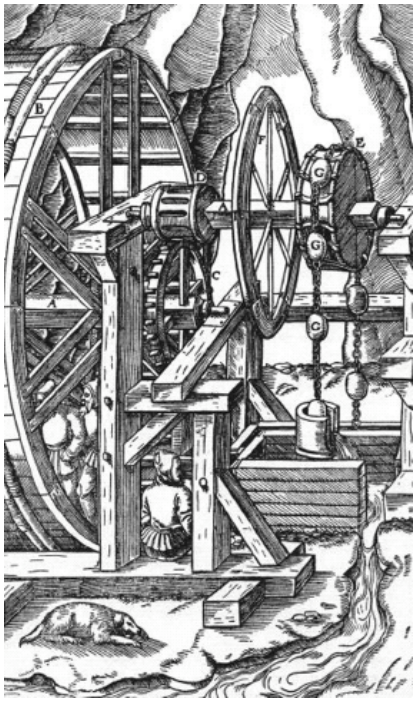
3.5 Η αλυσιδωτή αντλία του Φίλωνα

Η αλυσιδωτή αντλία ή μαγγάνι αποτελείται από αλυσιδωτή ταινία που πάνω της έχουν προσαρμοσθεί δοχεία. Η ταινία τυλιγμένη γύρω από άξονα, περιστρέφεται και τα δοχεία γεμίζουν στο κατώτερο σημείο της τροχιάς τους ενώ αδειάζουν στο ανώτερο. Η απαιτούμενη ενέργεια για την κίνηση παρέχεται από τον άνθρωπο (ή ζώο) μέσω ποδοκίνητου τροχού ή συστήματος γραναζιών (εικ. 3.5.1). Ο μηχανισμός είχε ευρεία χρήση ανά τους αιώνες ενώ συναντάται και σήμερα σε πολλές περιοχές του κόσμου. Για λόγους μείωσης του κόστους, αντί για αλυσίδα χρησιμοποιήθηκε μεταγενέστερα σχοινί και ξύλινοι κάδοι ή νεροκολοκύθες αντί για μεταλλικούς κάδους.

Στην περίπτωση αυτή είναι αδύνατο να προσδιοριστεί ο εφευρέτης και η ακριβής χρονολογία που πρωτοεμφανίστηκε ο μηχανισμός. Ωστόσο ο ο Oleson διατυπώνει την άποψη ότι ο εφευρέτης μπορεί να ήταν ο Φίλων (260 – 180 π.Χ.) καθώς *«…έχει την εμφάνιση μιας ακαδημαϊκής βελτίωσης της αρχής του υποδιαιρεμένου τροχού, που σημαίνει ότι ο μηχανισμός ήταν κατάλληλος για χρήση σε βαθιά, στενόχωρα φρεάτια και δεξαμενές και υπάρχει λογική στο να τον συνδέσουμε με το μουσείο της Αλεξάνδρειας».* Σημειώνει επίσης ότι «*Ίσως ο Κτησίβιος ή ο Φίλων να συνέλαβε την ιδέα της επέκτασης του μήκους του τροχού χωρίς να μεγαλώσει ταυτόχρονα τη διάμετρό του, με το να προσδέσει πολλά δοχεία σε μια εύκαμπτη αλυσίδα παρά πάνω σε ένα άκαμπτο κύκλο*» (Oleson, 1984). Όπως και με τον υποδιαιρεμένο τροχό έτσι και εδώ, εφόσον δεν υπάρχει διαθέσιμο το έργο του Κτησίβιου, θεωρείται ότι ο Φίλων ήταν ο εφευρέτης του μηχανισμού.

Η περιγραφή της αλυσιδωτής αντλίας από το Βιτρούβιο γίνεται μετά την αναφορά του στους τροχούς ανύψωσης ύδατος (Λάζος, 1999):

«Αλλά αν πρέπει το νερό να πηγαίνει σ' ένα μέρος ακόμη πιο ψηλά, μια διπλή σιδερένια αλυσίδα που θα φτάνει στην επιφάνεια, όταν θα αφήνεται κάτω, πρέπει να περάσει γύρω από τον άξονα του ίδιου τροχού με μπρούτζινους κουβάδες στερεωμένους πάνω της, από τους οποίους ο καθένας θα χωράει τριάμισι lt. Το γύρισμα του τροχού περιστρέφει την αλυσίδα γύρω από τον άξονα κι έτσι μεταφέρονται οι κουβάδες στην κορυφή και, καθώς περνάνε πάνω από τον άξονα, θα πρέπει να ανατρέπονται και να αδειάζουν στη δεξαμενή το νερό που μεταφέρουν» (Βιτρούβιος, X).



Εικόνα 3.5.1. Ποδοκίνητος τροχός σε σύστημα γραναζιών κινεί μια αλυσιδωτή αντλία (Agricola G., 1556)

3.6 Η αντλητική μηχανή με γρανάζια (saqiya)

Η αντλητική μηχανή με γρανάζια ή πιο γνωστή ως saqiya διαφέρει από τους προηγούμενους μηχανισμούς στο ότι η δύναμη που κινεί τον τροχό μεταφέρεται από ζώο μέσω συστήματος γραναζιών κάθετων μεταξύ τους. Εντοπίζεται στην αρχαία Αίγυπτο και Ινδία κατά τους Ελληνιστικούς χρόνους και η χρήση της πραγματοποιείται ακόμη και σήμερα στις περιοχές αυτές αλλά και στην Ιβηρική χερσόνησο.

Πρόκειται για μια σύνθετη μηχανή αποτελούμενη από δύο τμήματα: τα γρανάζια σε κάθετη συνεργασία (εικ.3.6.1) και την αλυσίδα ή σχοινί με δοχεία σε τροχό που παίρνει την κίνηση από τα προηγούμενα (εικ.3.6.2). Πιο συγκεκριμένα, ένα πηνίο συμπλέκεται με έναν κατακόρυφο τροχό και ένας άξονας που υπάρχει στο πηνίο φέρει μια οριζόντια ξύλινη δοκό (εικ.3.6.3) η οποία συνδέεται με το ζώο. Όπως κινείται κυκλικά το ζώο, το πηνίο γυρνά τον τροχό, θέτοντας σε λειτουργία τον

μηχανισμό. Τα δοχεία κατεβαίνουν μέσω του τροχού γεμίζουν και ανεβαίνοντας μεταφέρουν το νερό σε επιφανειακή δεξαμενή ή αυλάκια που το προωθούν.

Η προέλευση της μηχανής είναι άγνωστη καθώς υπάρχει πλήρης απουσία οποιασδήποτε φιλολογικής πηγής που να τοποθετεί χρονικά τη saqiya. Ο Φίλων που αναφέρει τους υδραυλικούς τροχούς δεν υπαινίσσεται καν την ύπαρξη της ενώ ο Βιτρούβιος σιωπά και αυτός επίσης. Η μόνη αναφορά σε σύστημα κάθετων γραναζιών μεταξύ τους γίνεται στα *Πνευματικά* του Ήρωνα αλλά χωρίς να αναφέρεται στο μηχανισμό που μελετάται στο παρόν κεφάλαιο. Ωστόσο, ο Λάζος θεωρεί ότι η saqiya είναι μηχανισμός ελληνικής προέλευσης για το λόγο ότι *«…στον ελληνικό κόσμο και μόνο συνελήφθη η ιδέα του γραναζιού, η οποία εξελισσόμενη, έφτασε το θαυμαστό μηχανισμό των Αντικυθήρων»,* ενώ τονίζει πως οι φιλολογικές και αρχαιολογικές πηγές αποδεικνύουν ότι ο Αρχιμήδης είναι αδιαφιλονίκητα ο εφευρέτης του οδοντωτού τροχού. Συνεχίζει διατυπώνοντας πως πουθενά αλλού στον αρχαίο κόσμο δεν εμφανίστηκε παρόμοιος μηχανισμός (γρανάζι), που σημαίνει ότι και η saqiya είναι εφεύρεση έλληνα μηχανικού, που *«…εντάσσεται στην λαμπρή παράδοση εξέλιξης των οδοντωτών τροχών συμπλεκομένων μεταξύ τους…»* (Λάζος, 1999).

Εικόνα 3.6.1. Σύστημα γραναζιών σε ορθή γωνία σε saqiya στη σημερινή Ινδία (φωτ. Rougetete, www.flickr.com)

Εικόνα 3.6.2. Σχοινί με δοχεία γύρω από τον τροχό της saqiya (φωτ. Rougetete, www.flickr.com)

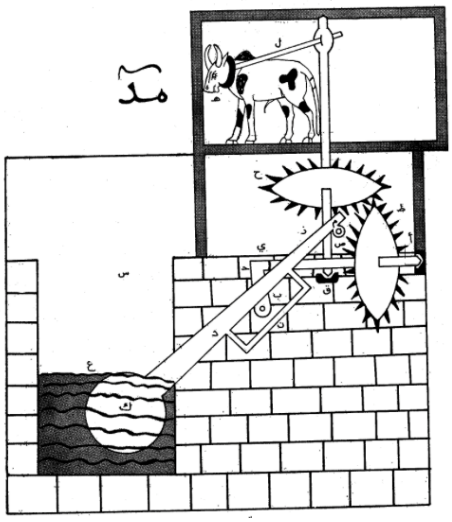
Εικόνα 3.6.3. Άποψη του χώρου κίνησης των ζώων στο μηχανισμό της saqiya (φωτ. Rougetete, www.flickr.com)

Αξιοσημείωτη είναι η βελτιωμένη εκδοχή της saqiya που παρουσίασε ο άραβας μηχανικός και εφευρέτης Al-Jazari (1136–1206) στο *«Βιβλίο της γνώσης των ευφυών μηχανικών κατασκευών (αυτομάτων)»,* στο σημερινό Ντιγιαρμπακίρ της ανατολικής Τουρκίας, όπου ο ίδιος πέρασε 25 χρόνια της ζωής του (Κανάβας Κ., 2005).

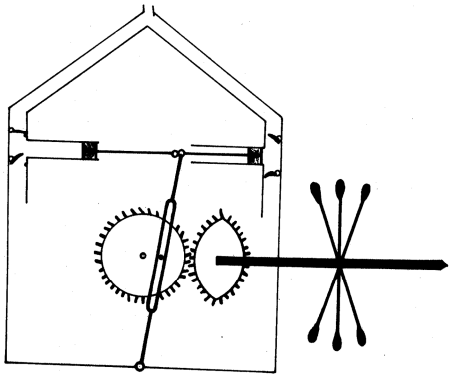
Από τις συνολικά πέντε μηχανές, οι δύο τελευταίες παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον καθώς βασίζονται στη saqiya (συνεργαζόμενοι τροχοί σε ορθή γωνία), όμως με μια πολύ σημαντική καινοτομία: την πρώτη αναφορά για μετατροπή της κυκλικής κίνησης σε ευθύγραμμη.

Στην τέταρτη μηχανή του Al-Jazari (εικ.3.6.4), η κίνηση του τροχού από το ζώο μετατρεπόταν σε ευθύγραμμη μέσω στροφαλοφόρου άξονα και από εκεί ένα «κανάλι νερού» όπως στην μέθοδο dhone (βλ. εικ. 2.1.6) ανύψωνε και προωθούσε το νερό από την πηγή.

Στον πέμπτο μηχανισμό (εικ.3.6.5) η ευθύγραμμη κίνηση, μετατοπίζει τα έμβολα αναρροφητικής αντλίας και από εκεί μέσω σωλήνα πραγματοποιείται τελικά η ανύψωση του νερού.



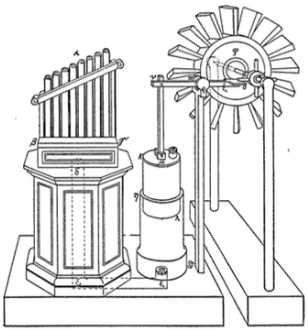
Εικόνα 3.6.4. Η τέταρτη αντλητική μηχανή του Al-Jazari (Al-Jazari, 1979)



Εικόνα 3.6.5. Η πέμπτη αντλητική μηχανή του Al-Jazari (Al-Hassan et al., 1976)

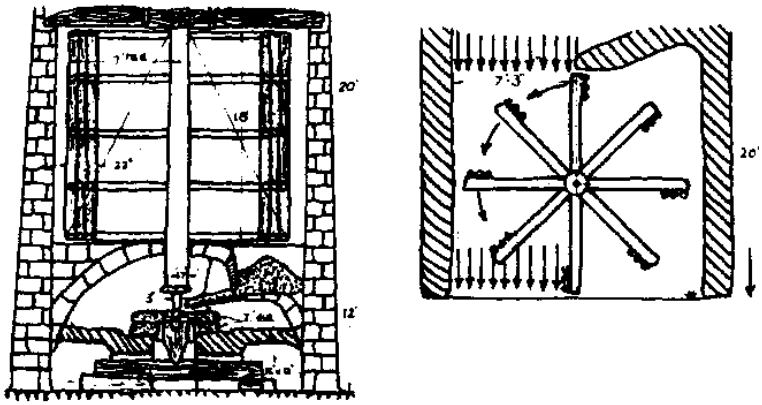
3.7 Οι ανεμόμυλοι

Ο πρώτος ανεμόμυλος σχεδιάστηκε από τον Ήρωνα τον Αλεξανδρεύς (10-70 mX.) τον 1^{ο} αιώνα mX. Ήταν οριζόντιου άξονα και χρησιμοποιούσε την ενέργεια του ανέμου για να θέτει σε λειτουργία μουσικό όργανο (εικ. 3.7.1).



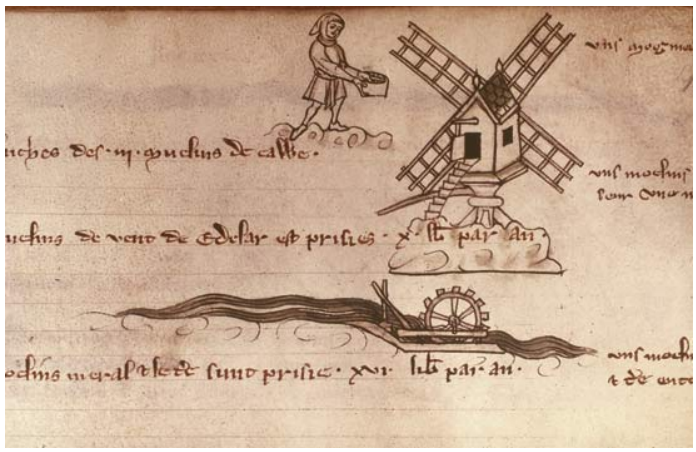
Εικόνα 3.7.1. Το μουσικό όργανο του Ήρωνα (Schmidt W.,1899)

Ωστόσο, η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας για άντληση (ή άλεση) δεν αποτελεί σύγχρονη ανακάλυψη. Η πρώτη γνωστή μηχανή που κατασκευάστηκε για το σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε στην Περσία στα 500 - 900 mX και λειτουργούσε ως αλεστικό μέσο για υλικά και ως αντλία για την ανύψωση του νερού. Χαρακτηριστικό της ήταν ο κατακόρυφος άξονας (εικ. 3.7.2). Αν και η προέλευση των ανεμόμυλων συχνά αμφισβητείται καθώς λέγεται ότι οι Κινέζοι τους εφηύραν δυο χιλιετίες πριν, η απόδειξη για την εμφάνιση τους στην περιοχή της Κίνας έρχεται από έγγραφα της εποχής αρκετούς αιώνες αργότερα, το 1219 (Yannopoulos et al., 2014).



Εικόνα 3.7.2. Απεικόνιση σε τομή του ανεμόμυλου της Περσίας (Schmidt W.,1899)

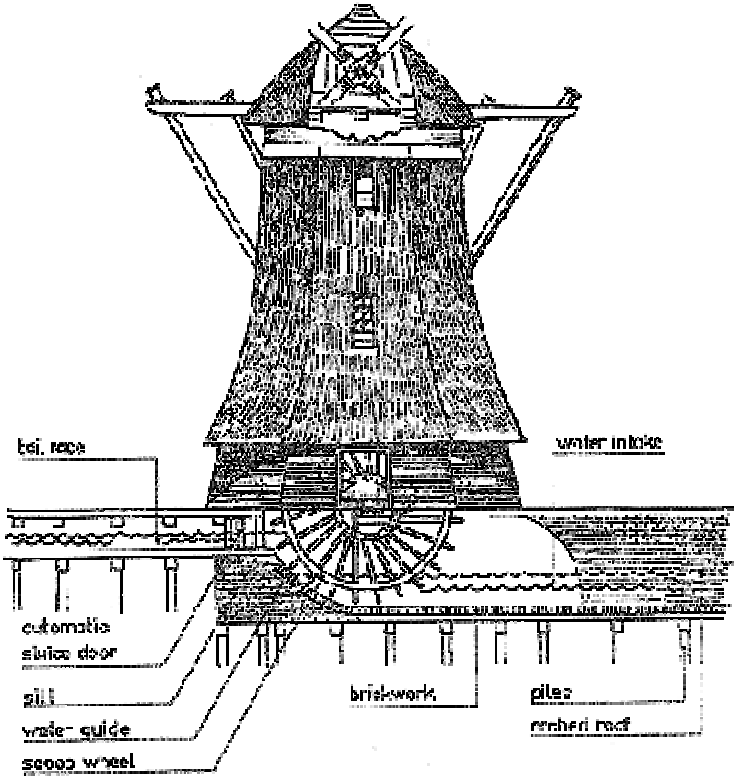
Η χρήση τους επεκτάθηκε και πέρα από την ανατολή με μεγάλη εφαρμογή στις βορειοδυτικές ευρωπαϊκές χώρες, την Ιβηρική χερσόνησο και την Ελλάδα. Οι πρώτοι ανεμόμυλοι που εντοπίζονται στην Ευρώπη αποτυπώνονται σε γραπτά του 1270 που απεικονίζουν 4 έλικες σε οριζόντιο άξονα (εικ.3.7.3). Ο λόγος για την κατασκευή με οριζόντιο άξονα, θεωρείται ότι ήταν οι νερόμυλοι της εποχής που λειτούργησαν ως μοντέλο για την ανάπτυξη των ανεμόμυλων. Άλλος λόγος για την οριζόντια τοποθέτηση του άξονα, εικάζεται πως ήταν η καλύτερη απόδοση αυτού του τύπου έναντι του κάθετου, καθώς στον δεύτερο αρκετή ισχύς χανόταν λόγω αναγκών στήριξης της κατασκευής (Dodge, 2006).



Εικόνα 3.7.3. Γαλλικό χειρόγραφο του 1270 απεικονίζει ανεμόμυλο οριζόντιου άξονα (Granger Collection, αρ. κατ. 0021141)

Η τεχνολογία τους χρησιμοποιείται παγκοσμίως ακόμη και σήμερα, με σπουδαίο παράδειγμα τη χρήση ανεμόμυλων για αποστραγγιστικούς λόγους στην Ολλανδία

(εικ.3.7.4) ως μέρος του αντιπλημμυρικού συστήματος της χώρας. Παράλληλα, εφαρμογή της μεθόδου στον ελληνικό χώρο, αποτελεί το πάρκο ανεμόμυλων στην Κρήτη για την άντληση νερού.



Εικόνα 3.7.4. Απεικόνιση σε τομή (κάτω μέρους) ανεμόμυλου ολλανδικού τύπου (Stokhuyzen, 1962)

4. Παρουσίαση Ποσοτικοποιημένων Μεγεθών και Αξιολόγηση Μηχανισμών

Μπορεί κανείς πλέον να καταλήξει σε κάποια συμπεράσματα για το ποιοι αντλητικοί μηχανισμοί υπήρξαν στο παρελθόν χωρίς βέβαια αυτό να σημαίνει πως υπάρχει απόλυτη βεβαιότητα για το αν υπήρξαν άλλοι ή την προέλευση αυτών που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Όπως υποστηρίζει ο Λάζος *«…όσα γράφονται είναι αποδεκτά προς το παρόν, αλλά ίσως ανατραπούν στο μέλλον.»* (Λάζος, 1999).

Στο παρόν κεφάλαιο, θα γίνει κατηγοριοποίηση, ποσοτικοποίηση μεγεθών και συγκριτική αξιολόγηση των μηχανισμών άντλησης.

Διακρίνονται τρείς κατηγορίες μεθόδων άντλησης ύδατος (Λάζος, 1999):

- Μη μηχανικές, ασυνεχής παροχής ύδατος
- Ημι-μηχανικές, ασυνεχής παροχής ύδατος
- Μηχανικές, συνεχής παροχής ύδατος

Αναλυτικότερα για την κάθε κατηγορία:

<u>Μη μηχανικές μέθοδοι άντλησης</u>

Στις μη μηχανικές μεθόδους εντάσσονται δύο υποκατηγορίες που χαρακτηρίζονται από τον τρόπο που γίνεται η άντληση: (α) με τα χέρια ή (β) με τη χρησιμοποίηση ζώου.

(α) Με τα χέρια

Στην υποκατηγορία αυτή, διακρίνονται μέθοδοι που περιελάμβαναν χρήση δοχείων (*υδρίαι*) ή σάκων χειριζόμενοι από ένα ή δύο άτομα με ένα ζεύγος σχοινιών. Παραλλαγή της μεθόδου αποτέλεσε η χρήση δερμάτινων σάκων. Επίσης, άλλη τεχνική ήταν η χρήση καμπυλόσχημου ξύλινου αντλητή με τη μορφή μεγάλης κουτάλας (scoop) την οποία χειριζόταν άνθρωπος. Η μέθοδος άντλησης μέσω τροχαλίας και δοχείου δεμένου σε σχοινί, συντέλεσε αρχικά στην πιο αποτελεσματική λύση για ανύψωση νερού από μεγάλο βάθος.

(β) Με τη χρησιμοποίηση ζώου

Εδώ, γίνεται αντικατάσταση του ανθρώπου με ζώα όπως βόδι, άλογο, καμήλα ή μουλάρι και συναντώνται οι εξής μέθοδοι: Δερμάτινοι σάκοι (μέθοδος *σερντ* ή *cerd*), δοχεία, νεροκολοκύθες, ή πήλινα σκεύη (μέθοδος *κεράμιον*) και αγγεία από πέτρα, παραλλαγή που αποκαλούνταν από τους Έλληνες *λίθιναι υδρίαι*.

<u>Ημι-μηχανικές μέθοδοι άντλησης</u>

Οι ημι-μηχανικές μέθοδοι είναι ενδιάμεση κατηγορία και περιλαμβάνει τις εξής παραλλαγές: Με αντίβαρο κάποιο υλικό (συνήθως πέτρα), παραλλαγή που οι Έλληνες ονόμαζαν *κηλώνιο* και οι Άραβες *σαντούφ* (*shaduf*) και με αντίβαρο τον άνθρωπο ή κατά τους Ινδούς η μέθοδος *picottah*. Επίσης, η κατηγορία περιλαμβάνει

και διαφοροποιήσεις των παραπάνω, όπως η μέθοδος κρεμαστού αντλητή και η μέθοδος *dhone.*

Μηχανικές μέθοδοι άντλησης

Οι μηχανικές μέθοδοι αποτελούν τη μεγαλύτερη και σημαντικότερη κατηγορία μεθόδων άντλησης ύδατος. Η βασική διαφορά με τις προηγούμενες, είναι ότι εδώ η παροχή δεν έχει ασυνέχειες. Ανάλογα την κινητήρια δύναμη, οι μηχανισμοί μπορούν να διαχωριστούν σε τέσσερις υποκατηγορίες: αυτοί που κινούνταν με την δύναμη (α) του ανθρώπου, (β) του ζώου, (γ) του νερού, (δ) του αέρα.

Στην πρώτη (α) και δεύτερη (β) υποκατηγορία εντάσσεται ο κοχλίας του Αρχιμήδη (*υδρόβιδα* ή *έλικα*), η αντλία του Κτησίβιου και οι διάφορες παραλλαγές της με γενική ονομασία *παλινδρομικές αντλίες (reciprocating pumps)*, ο τροχός με αγγεία ή περσικός τροχός, ο υποδιαιρεμένος τροχός ή *τύμπανον* του Φίλωνα, η αλυσιδωτή αντλία του Φίλωνα (*μαγγάνι*) και τέλος η αλυσιδωτή αντλία με γρανάζια και αγγεία ή κατά τον αραβικό κόσμο *saqiya*. Στη τρίτη (γ) υποκατηγορία, οι μέθοδοι άντλησης με τη δύναμη του νερού, αποκαλούνταν από τους Έλληνες *υδροτροχοί* και στην αρχαία Αίγυπτο *νορίες*. Στην τέταρτη (δ) υποκατηγορία ανήκουν οι ανεμόμυλοι που χρησιμοποιούνταν για την άντληση νερού (*windpumps*).

Με βάση την παραπάνω κατηγοριοποίηση θα γίνει παρουσίαση των ποσοτικών στοιχείων της κάθε μεθόδου με παράλληλη παράθεση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους.

4.1 Μη μηχανικές μέθοδοι

Δοχεία/σάκοι και αντλητές (scoops)

Η μέθοδος με χρήση δοχείων (*υδρίαι*) (εικ. 4.1.1) ή σάκων και αντλητών (εικ. 4.1.2) αποτελεί την πιο απλή διαδικασία άντλησης νερού από τον άνθρωπο και χαρακτηρίζεται από πολύ μικρή απόδοση της τάξης του 5-10%. Μειονέκτημα αποτελεί η απώλεια ύδατος κατά την ανύψωση και η κόπωση του χειριστή, ενώ περιορίζεται σε τυπικό ύψος άντλησης 0,2-0,5 m και μέγιστο το 1 m Η παροχή που μπορεί να επιτευχθεί με 0,2 m ανύψωσης ύδατος είναι 3-4 m^3/h. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το χαμηλό κόστος της, η απλή κατασκευή των μέσων και η χρήση της τόσο από ανηλίκους όσο και από ενηλίκους (Schioler, 1979).

Εικ. 4.1.1 Χάλκινη υδρία 6^{ου} αι. π.Χ. (Μητροπολιτικό Μουσείο Τέχνης Νέας Υόρκης, αρ. εκθ. 1995.92)

Εικ. 4.1.2 Ξύλινος αντλητής (Kennedy et al., 1985)

Σάκος ή καλάθι με ζεύγη σχοινιών χειριζόμενος από δύο άτομα (swing basket)

Ο σάκος ή καλάθι με ζεύγη σχοινιών (εικ. 4.1.3) προσφέρει καλύτερη απόδοση της τάξης του 10-15% αλλά και εδώ μειονέκτημα αποτελεί η απώλεια ύδατος κατά την ανύψωση καθώς και η κόπωση των χειριστών. Μέγιστο ύψος άντλησης είναι το 1,5 m, ενώ η παροχή που επιτυγχάνεται στο τυπικό ύψος άντλησης 0,75 m είναι 4-5 m^3/h. Πλεονεκτήματα της μεθόδου και είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής, η φορητότητα και η χρήση της από όλες τις ηλικίες (Schioler, 1979).

Εικ. 4.1.3 Καλάθι με ζεύγος σχοινιών (Granger Collection, αρ. κατ. 0058253)

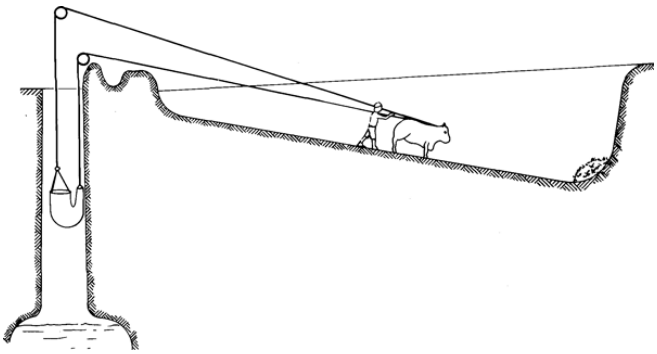
Δοχεία/σάκοι με σχοινί σε τροχαλία (μέθοδος cerd, mohte, double mohte)

Η απλούστερη και οικονομικότερη μέθοδος για την ανύψωση νερού από πηγή μεγάλου βάθους είναι η μέθοδος με δοχείο ή σάκο και σχοινί σε τροχαλία. Η χρήση γίνεται τόσο από τον άνθρωπο όσο και από ζώα.

Στην περίπτωση της μεθόδου σερντ (εικ. 4.1.4), δοχείο ή σάκος είναι δεμένο σε σχοινί περασμένο σε τροχαλία που το έλκει άνθρωπος ή ζώο. Όταν η χρήση γίνεται από άνθρωπο η παροχή που μπορεί να επιτευχθεί για ύψος 10-15 m είναι κάτω από 1 m^3/h ενώ στη χρήση από ζώο για το ίδιο ύψος, η παροχή είναι 9 m^3/h .

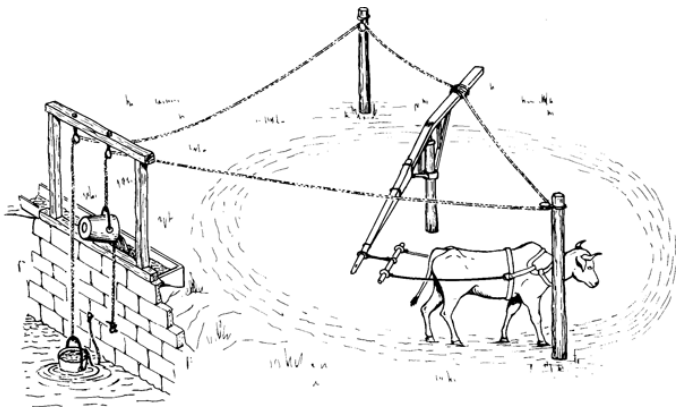
Εικ. 4.1.4 Η μέθοδος cerd (www.romanaqueducts.info)

Στην παραλλαγή που στην Ινδία ονομάζεται mohte (εικ. 4.1.5) η δύναμη παρέχεται μόνο από ζώο. Ο σάκος χωρητικότητας 100-150 λίτρων αδειάζει αυτόματα, καθώς δεύτερο σχοινί είναι προσαρμοσμένο στο κάτω μέρος του έτσι ώστε όταν βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της διαδρομής, ο σάκος να αναποδογυρίζει και να αδειάζει το νερό. Η παροχή που επιτυγχάνεται για ύψος 9 m, είναι της τάξης των 8 m^3/h (Schioler, 1973).



Εικ. 4.1.5 Η μέθοδος mohte (Schioler, 1973)

Η προηγούμενη μέθοδος μπορεί να συνδυαστεί με τη χρήση δύο δοχείων ή σάκων. Σε αυτή τη παραλλαγή με ονομασία διπλό mohte (εικ. 4.1.6), το ζώο κινείται σε κυκλικό μονοπάτι και με τη βοήθεια του κεντρικού άξονα, τα σχοινιά κινούνται με τέτοιο τρόπο που να μετακινούν τα δοχεία και να ανεβοκατεβαίνουν εναλλάξ. Κάθε δοχείο είναι χωρητικότητας 70 λίτρων και αδειάζει αυτόματα όπως και προηγουμένως. Η μέθοδος μπορεί να προσφέρει παροχή της τάξης των 14 m^3/h για ύψος 5 m (Fraenkel, 1986).



Εικ. 4.1.6 Η μέθοδος του διπλού mohte (Fraenkel, 1986)

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των παραπάνω μηχανισμών είναι ότι αποτελούν μεθόδους απλές στη χρήση και με μικρό κόστος κατασκευής – συντήρησης. Μπορούν να λειτουργήσουν σε βάθη έως και 100 μέτρων, ενώ μπορεί να επιτευχθεί παροχή πάνω από 12 m^3/h στη περίπτωση του διπλού mohte.

Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι δεν είναι δεν είναι φορητές μέθοδοι, προσφέρουν μικρή απόδοση της τάξης του 10-40% και στη χρήση από άνθρωπο η παροχή είναι το πολύ 1 m^3/h. Επίσης, όταν η γίνεται χρήση ζώων, πρέπει να συμπεριληφθεί το κόστος συντήρησης τους, ακόμα και όταν δεν γίνεται άντληση νερού (Olley, 2008)

4.2 Ημι-μηχανικές μέθοδοι

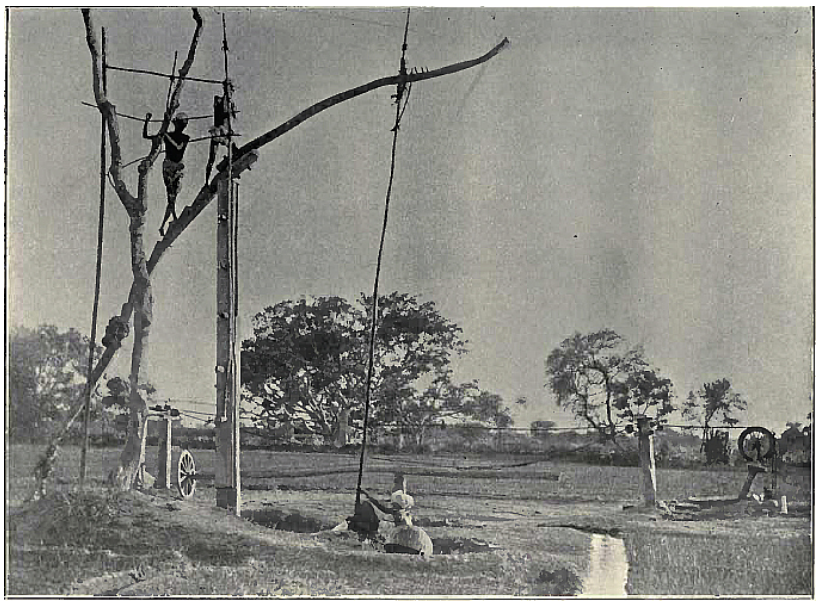
Κηλώνιον ή shaduf και picottah

Το κηλώνιον ή shaduf (εικ. 4.2.1), είναι μέθοδος με χρήση υλικού αντίβαρου που προσφέρει μέγιστη ανύψωση ύδατος 4 μέτρων. Ο χρόνος ζωής του μηχανισμού είναι 100 ώρες λειτουργίας, ωστόσο η επισκευή δεν είναι κοστοβόρα και αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου. Η παροχή που μπορεί να προσφέρει είναι περίπου 3-4 m^3/h για 2-3 m ανύψωσης ύδατος και την κάνει ικανή μέθοδο για υδροδότηση μικρής έκτασης (Kennedy et al., 1985).

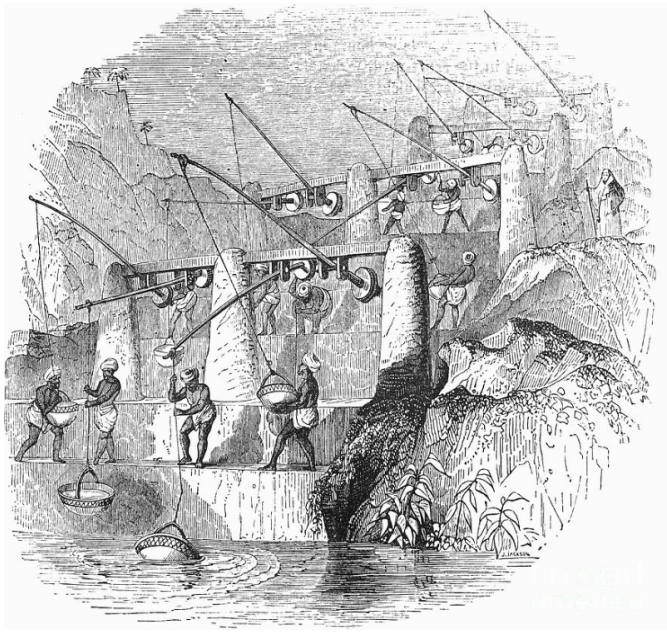
Η picottah (εικ. 4.2.2), παραλλαγή της παραπάνω μεθόδου, έχει ως αντίβαρο τον άνθρωπο και είναι μεγαλύτερη και λιγότερο οικονομική ως κατασκευή. Ωστόσο προσφέρει υψηλότερη απόδοση και είναι ικανή για μέγιστο ύψος ανύψωσης τα 5-8 m Η παροχή στα 7 m είναι 4 m^3/h (Kennedy et al., 1985).

Οι παραπάνω μέθοδοι είναι απλές κατασκευές και η χρήση τους γίνεται εύκολα από τον άνθρωπο. Επίσης, η τοποθέτηση πολλών μηχανισμών εν σειρά, σε διαφορετικά ύψη (εικ. 4.2.3), μπορεί να επιφέρει συνολικά αξιόλογη ανύψωση ύδατος. Υπολογίζεται δε, ότι έχουν βαθμό απόδοσης της τάξης του 30-60% (Olley, 2008).

Εικόνα 4.2.1 Χρήση shaduf στο Σουδάν το 1928 (www.irrigationmuseum.org)



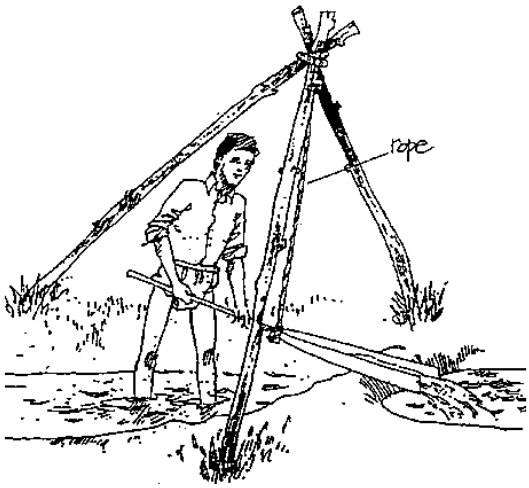
Εικόνα 4.2.2 Picottah με αντίβαρο δύο άτομα στην Ινδία (Slater, 1918)



Εικόνα 4.2.3 Shaduf σε επίπεδα (Granger Collection, αρ. κατ. 0058335)

Μέθοδος του κρεμαστού αντλητή (suspended scoop)

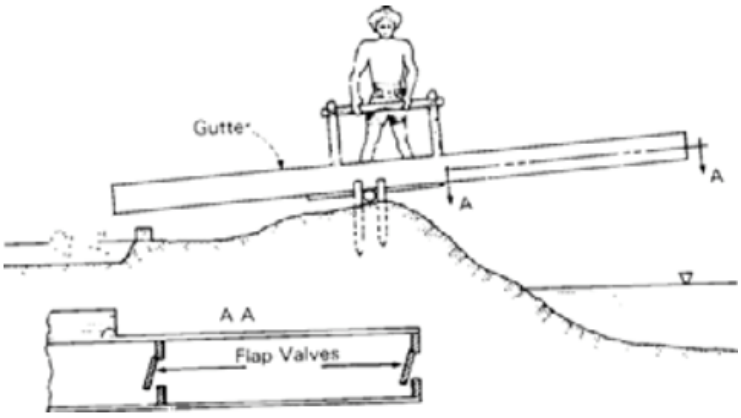
Η μέθοδος του κρεμαστού αντλητή (εικ. 4.2.4) είναι απλή στην κατασκευή και λειτουργία της. Προσφέρει ανύψωση το πολύ 1 m και παροχή στα 10-15 m^3/h. Η απόδοση της δεν ξεπερνά το 25% και υπολογίζεται ότι το ένα τρίτο του νερού χάνεται κατά την ανύψωση. Η μέθοδος, όπως είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς είναι κουραστική και απαιτεί αρκετά διαλείμματα ή χρήση από 2 τουλάχιστον ανθρώπους εναλλάξ (Kennedy et al., 1985).



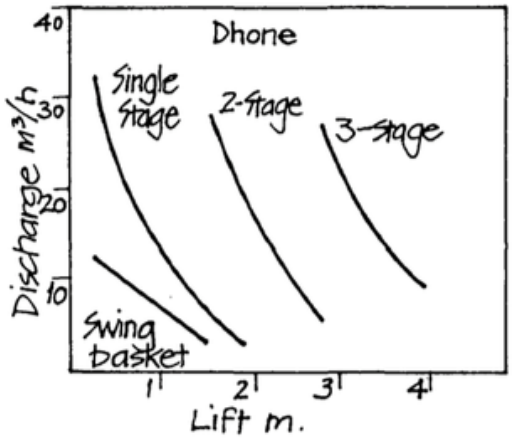
Εικ. 4.2.4 Κρεμαστός αντλητής (Kennedy et al., 1985)

Μέθοδος dhone

Ο μηχανισμός dhone (εικ. 4.2.5) είναι μια οικονομική μέθοδος, κατασκευασμένη από παραδοσιακά υλικά (ξύλο, μέταλλο) και μπορεί εύκολα να συντηρηθεί. Παραλλαγή του μηχανισμού αποτελούσε ο κρεμαστός αντλητής τύπου κανό. Η λειτουργία είναι απλή, ωστόσο προσφέρει ανύψωση ύδατος το πολύ 2 m και για τυπικό ύψος λειτουργίας 1 m παρέχει περίπου 13 m^3/h. Επίσης, ο βαθμός απόδοσης της μεθόδου είναι χαμηλός, περίπου 20-50% (Olley, 2008). Στο διάγραμμα (εικ. 4.2.6) παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ των μεθόδων dhone και καλαθιού με ζεύγος σχοινιών χειριζόμενο από δύο άτομα (swing basket). Η χρήση περισσότερων μηχανισμών dhone σε επίπεδα (2-stage, 3-stage) όπως παρατηρείται, αυξάνει την τελική ανύψωση ύδατος για ίδιο μέγεθος παροχής.



Εικόνα 4.2.5 Η μέθοδος dhone στην Ινδία (Fraenkel P.L., 1986)

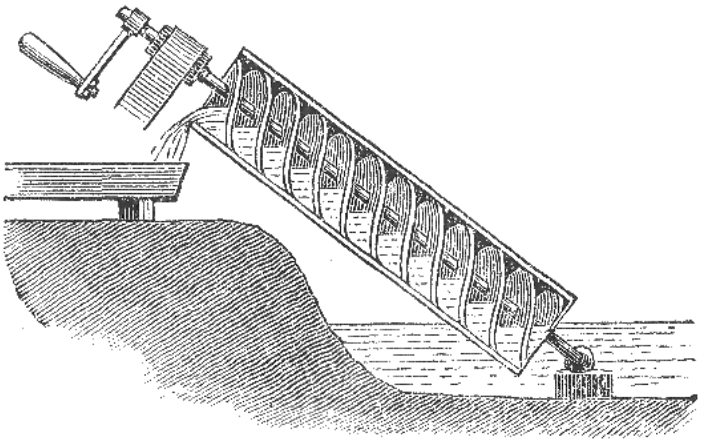


Εικόνα 4.2.5 Παροχή και ύψος λειτουργίας μεθόδων dhone και καλαθιού με ζεύγος σχοινιών (Kennedy et al., 1985)

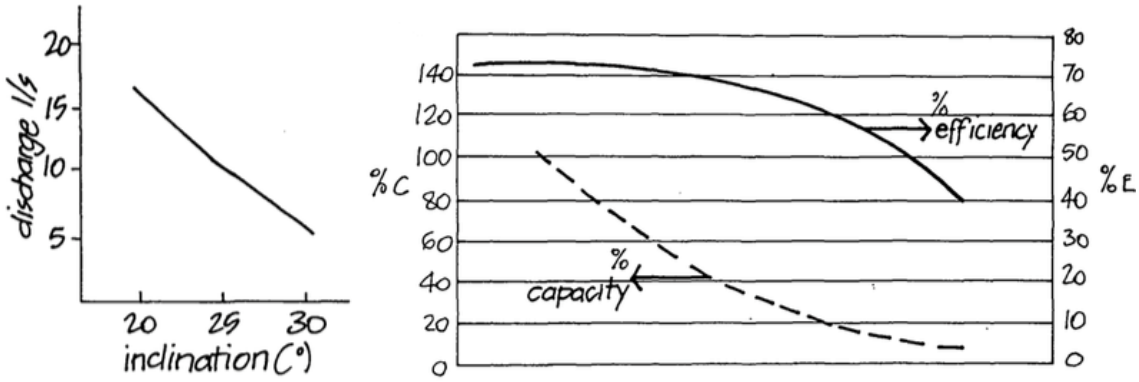
4.3 Μηχανικές μέθοδοι

Κοχλίας Αρχιμήδη

Ο κοχλίας (εικ. 4.3.1) είναι πιο πολύπλοκη κατασκευή συγκριτικά με τις προηγούμενες, χωρίς ωστόσο να χαρακτηρίζεται δύσκολη. Πλεονέκτημα του μηχανισμού είναι ότι είναι φορητός και εύκολος στη χρήση. Το μήκος του είναι το πολύ 3 m και λειτουργεί σε μέγιστη κλίση τις 30° - 35° καθώς από εκεί και έπειτα η παροχή μηδενίζεται (εικ. 4.3.2α). Περιορίζεται σε ανύψωση ύδατος 1,2 m, ενώ προσφέρει παροχή περίπου 20 - 50 m^3/h (5-15 lt/h) για λειτουργία μεταξύ 20° - 30°. Ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης του μηχανισμού εξαρτάται από τον όγκο νερού που καλύπτει το εσωτερικό του κοχλία (capacity) (εικ. 4.3.2β). Αφαιρουμένων των απωλειών και για κάλυψη όγκου μεταξύ 25% - 100%, ο συνολικός βαθμός απόδοσης του μηχανισμού υπολογίζεται στο 50 - 60%. Χαρακτηριστικό πλεονέκτημα του μηχανισμού είναι η μεταφορά ελαφρών στερεών υλικών διαμέσου του, γεγονός που του επιτρέπει αδιάκοπη λειτουργία ακόμη και αν εισρεύσουν υλικά όπως μικρές πέτρες ή λάσπη (Kennedy et al., 1985).



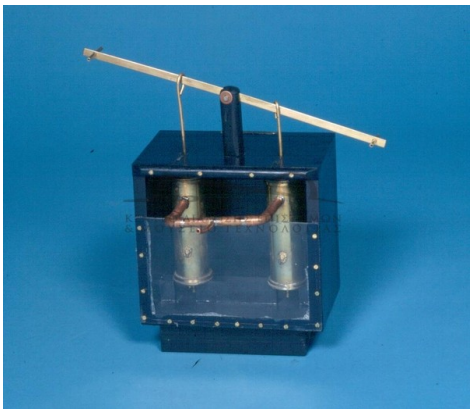
Εικόνα 4.3.1 Ο κοχλίας του Αρχιμήδη (Chambers et al., 1908)



Εικόνα 4.3.2 Σχέσεις (α) παροχής (lt/s) και γωνίας λειτουργίας και (β) υδραυλικού βαθμού απόδοσης (efficiency) και κάλυψης όγκου κοχλία από νερό (capacity) (Kennedy et al., 1985)

Αντλία του Κτησίβιου

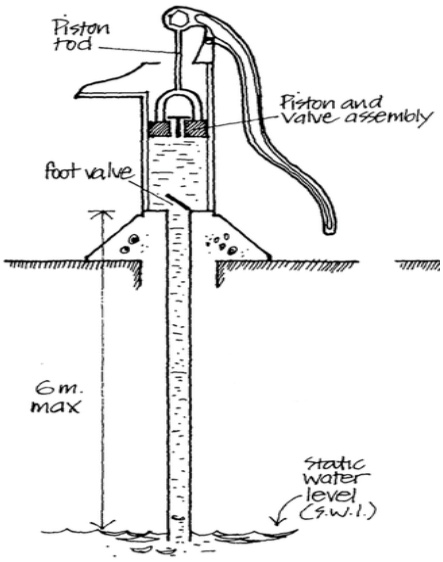
Η αντλία του Κτησίβιου (εικ. 4.3.3) αποτελεί πολύπλοκη κατασκευή από όμοιους κυλίνδρους και έμβολα που παλινδρομούν στο εσωτερικό τους. Αποτέλεσε ιδανική μέθοδο για άντληση νερού αρχικά σε μικρά βάθη και πλεονέκτημα ήταν ότι μπορούσε εύκολα να μεταφερθεί καθώς και να παρέχει αδιάκοπη άντληση. Η αντλία απέφερε χαμηλή παροχή 0,6-1 m^3/h (Landels, 1978) ωστόσο, χαρακτηριστικός είναι ο εξαιρετικός βαθμός απόδοσης της τάξης του 80% (www.ancitech.wordpress.com).



Εικόνα 4.3.3 Η αντλία του Κτησίβιου (Ανακατασκευή Διονύσης Κριάρης. Παραχώρηση του Τ.ΜΘ.)

Άλλες παλινδρομικές/αναρροφητικές αντλίες

Άλλος τύπος παλινδρομικής αντλίας αποτελεί η αντλία χειρός με μονό έμβολο (εικ.4.3.4). Είναι απλή κατασκευή αν και πιο κοστοβόρα από τις μεθόδους που παρουσιάστηκαν μέχρι τώρα και περιορίζεται στα 6 m ανύψωσης. Με μεγάλη διάμετρο εμβόλου, επιτυγχάνεται παροχή 1,5-2 m^3/h στο μέγιστο ύψος, ενώ χαρακτηρίζεται από πολύ καλό βαθμό απόδοσης μεταξύ 60 και 85% (Olley, 2008).

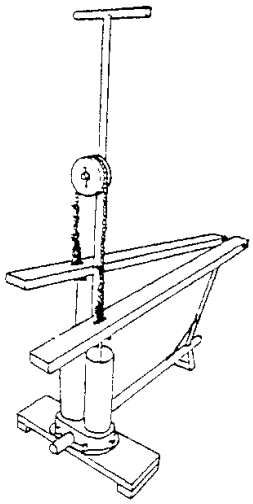


Εικόνα 4.3.4 Παλινδρομική αντλία χειρός μονού εμβόλου (Kennedy et al., 1985)

Παραλλαγή της αντλίας μονού εμβόλου που προαναφέρθηκε αποτελεί η μέθοδος της παλινδρομικής αντλίας λειτουργίας υπό κλίση 30° ή *κωπηλατική αντλία* (*rower pump*) (εικ.4.3.5). Είναι απλή κατασκευή από οικονομικά υλικά και η συντήρηση της δεν απαιτεί ιδιαίτερες γνώσεις. Το μέγιστο ύψος άντλησης περιορίζεται στα 7 m, ενώ επιτυγχάνεται παροχή 5-6 m^3/h στα 4 m βάθος (Olley, 2008).

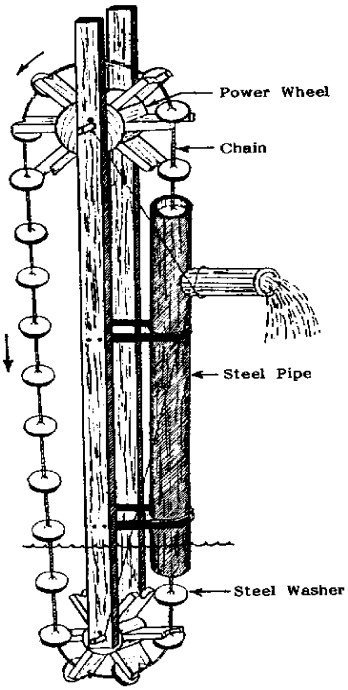
Εικόνα 4.3.5 Η κωπηλατική αντλία (Klassen, 1979)

Η μέθοδος ανύψωσης με πετάλια και εμβολοφόρες αντλίες (*treadle pump*) (εικ.4.3.6), γνωστή στην Ασία εδώ και πολλούς αιώνες, είναι παραλλαγή της χειραντλίας του Κτησίβιου, καθώς σε ειδικά διαμορφωμένο μηχανισμό, ο άνθρωπος κάνοντας πετάλι έθετε σε κίνηση τα έμβολα της αντλίας, αντλώντας νερό ακόμη και από τα 7 m βάθος. Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι ο άνθρωπος μπορεί να ασκήσει μεγαλύτερη δύναμη με τα πόδια αντί με τα χέρια. Η κατασκευή και λειτουργία της μεθόδου είναι απλές και χωρίς να απαιτείται μεγάλη προσπάθεια συγκριτικά με τις χειροκίνητες αντλίες, μπορεί να προσφέρει παροχή 6 m^3/h στα 4 m



Εικόνα 4.3.6 Η ποδοκίνητη αντλία (treadle pump) (Egan, 1997)

Η αντλία με σχοινί ή αλυσίδα και ροδέλες (*rope/chain & washer pump*) (εικ.4.3.7) χρησιμοποιήθηκε στην Κίνα και την Ευρώπη για πολλούς αιώνες. Μια ατέρμονη σειρά από ροδέλες σε διαστήματα μεταξύ τους περασμένες σε σχοινί ή αλυσίδα, περνούν μέσα από βυθισμένο κάθετο σωλήνα και σπρώχνουν το νερό προς τα πάνω. Το σχοινί είναι τανυσμένο με τη βοήθεια δύο τροχών. Η κατασκευή είναι σχετικά απλή και οικονομική, ωστόσο μηχανισμός χρειάζεται αρκετή συντήρηση. Παράλληλα, εάν η παροχή ισχύος δεν είναι συνεχής, το σχοινί κατεβαίνει με αποτέλεσμα να χάνεται το νερό που έχει ανέβει εκείνη τη στιγμή. Αξιοσημείωτο είναι ότι για πηγές ύψους έως και 35 m, αυτού του τύπου η αντλία είναι πέντε φορές πιο οικονομική από την εμβολοφόρο. Η απόδοση της αντλίας είναι της τάξης του 50-80% και παρέχει 2,4 m^3/h στα 10 m βάθος, με κίνηση από τον άνθρωπο. Η χρήση της μεθόδου με ισχύ παρεχόμενη από άλογο προσφέρει παροχή 3,6 m^3/h στα 20 m άντλησης (Olley, 2008).



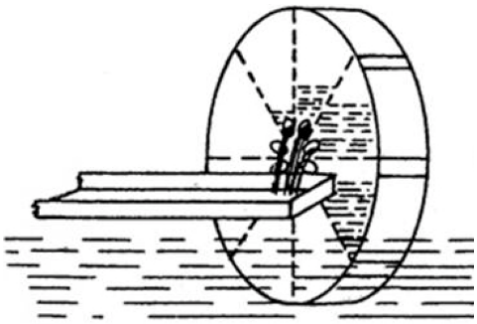
Εικόνα 4.3.7 Η αντλία με αλυσίδα και ροδέλες (chain & washer pump) (Peace Corps, 1984)

<u>Ο υποδιαιρεμένος τροχός ή *τύμπανον* του Φίλωνα</u>

Ο υποδιαιρεμένος τροχός του Φίλωνα (εικ.4.3.8) είναι σχετικά απλή και αξιόπιστη κατασκευή. Η μόνη απώλεια ενέργειας εντοπίζεται στην τριβή του άξονα και στην αντίσταση που φέρει το νερό στον τροχό, κυρίως στα περιμετρικά ανοίγματα. Ωστόσο, η ανύψωση περιορίζεται, καθώς το ύψος που μπορεί να ανεβάσει το νερό είναι όσο η μισή διάμετρος του (ακτίνα) (Landels, 1978). Εάν δηλαδή ο τροχός είναι διαμέτρου 3 m δεν θα υπάρξει αξιοσημείωτη άνοδος νερού από βάθος μεγαλύτερο του 1 m Για παράδειγμα:

Εάν υποτεθεί ότι για διάμετρο 3 m, το (εσωτερικό) πάχος του τροχού είναι 0,2 m υπολογίζεται ότι με περιμετρικά ανοίγματα 15 εκ., κάθε πλήρης περιστροφή του

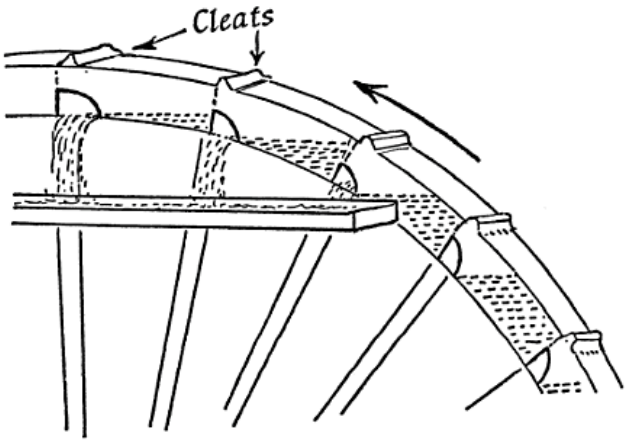
τροχού αποφέρει 50 lt νερού σε κάθε «διαμέρισμα». Επειδή όπως έχει αναφερθεί προηγούμενα, τα «διαμερίσματα» του τροχού ήταν 8, η συνολική ποσότητα νερού που φέρει ο τροχός σε κάθε περιστροφή του είναι 400 lt ή 0,4 m^3 Υπολογίζεται ότι με βαθμό απόδοσης 80%, δυο άνδρες (ισχύς περίπου 150 watts) μπορούν να περιστρέψουν τον τροχό 2 φορές το λεπτό (2 rpm), οπότε η παροχή που επιτυγχάνεται είναι 0,8 m^3/min ή 48 m^3/h , μέγεθος που επιβεβαιώνει τον Βιτρούβιο ο οποίος υποστηρίζει ότι ο μηχανισμός μπορούσε να παρέχει μεγάλη ποσότητα νερού σε λίγο χρόνο. Η κούραση ωστόσο των χειριστών είναι σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου του τυμπάνου για την άντληση νερού (Landels, 1978).



Εικόνα 4.3.8. Υποδιαιρεμένος τροχός του Φίλωνος τύπου τυμπάνου (Landels, 1978)

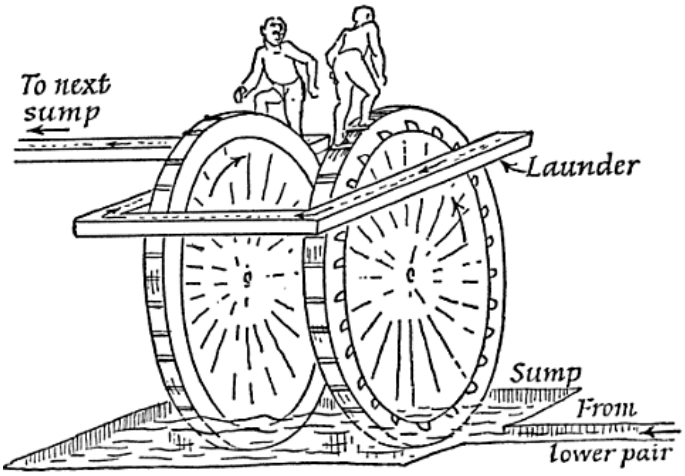
Ο υποδιαιρεμένος τροχός τύπου πολυκαδίας του Φίλωνα

Ο μηχανισμός του υποδιαιρεμένου τροχού τύπου πολυκαδίας είναι τροχός διαμέτρου περίπου 5 m με περιμετρικά κουτιά (κάδοι) (εικ.4.3.9), που πρόσφερε απόδοση περίπου 60%. Το 40% που χάνεται οφείλεται: στην απώλεια ύδατος από τα κουτιά καθώς αυτά ανέβαιναν, στην απώλεια ενέργειας στον άξονα από την τριβή και στην απώλεια ενέργειας λόγω της αντίστασης του νερού κατά την περιστροφή του τροχού. Ο Landels υπολογίζει ότι με θεωρητική ανύψωση 3,5 m μπορούσε να προσφέρει παροχή 80 lt/min ή περίπου 5 m^3/h (Landels, 1978).



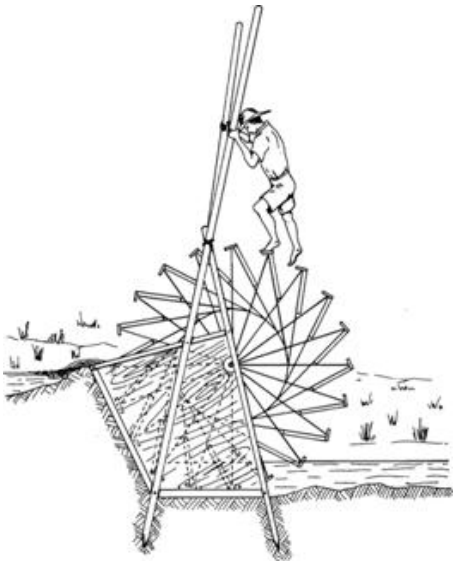
Εικόνα 4.3.9 Οι περιμετρικοί κάδοι του τροχού (Landels, 1978)

Άλλη έκδοση του τροχού τύπου πολυκαδίας, αποτελεί η μέθοδος με δύο παράλληλους τροχούς (εικ.4.3.10) που μπορεί να προσφέρει παροχή 9 m^3/h σε ύψος 3 μέτρων. Ωστόσο σε αυτή την περίπτωση το κόστος κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας αυξανόταν σημαντικά (Landels, 1978).



Εικόνα 4.3.10 Ζεύγος τροχών πολυκαδίας (Landels, 1978)

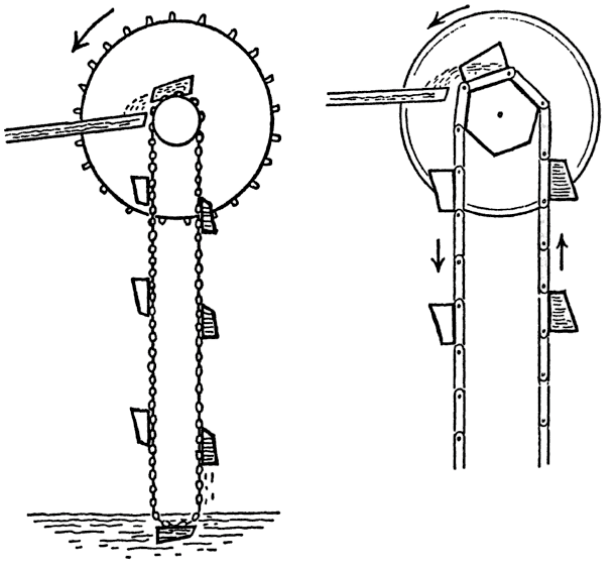
Παραλλαγή της πολυκαδίας του Φίλωνα εντοπίζεται στην Ινδία με την ονομασία *chakram* (εικ. 4.3.11). Ο μηχανισμός αποτελούνταν από ακτινωτά σκαλοπάτια που σχημάτιζαν (ανοιχτούς) αντλητές γύρω από άξονα, περιστρεφόμενο από το περπάτημα του ανθρώπου. Η κατασκευή ήταν απλή στη λειτουργία της αλλά περιοριζόταν σε ύψος άντλησης 0,5-1 m και είχε βαθμό απόδοσης 20-50% λόγω της μεγάλη απώλειας ύδατος κατά την ανύψωση. Η παροχή της μεθόδου ήταν της τάξης των 18 m^3/h (Olley, 2008).



Εικόνα 4.3.11 Η μέθοδος chakram (Fraenkel et al., 2006)

Η αλυσιδωτή αντλία του Φίλωνα

Βελτίωση του υποδιαιρεμένου τροχού τύπου πολυκαδίας, αποτέλεσε η μέθοδος ανύψωσης νερού με αλυσιδωτή αντλία (εικ. 4.3.12). Σημαντικό πλεονέκτημα είναι το μεγάλο βάθος από το οποίο μπορεί να αντληθεί νερό αλλά και η εφαρμογή του μηχανισμού σε πιο μικρούς χώρους, εκεί που δεν χωρά ένας μεγάλος τροχός όπως οι προηγούμενοι. Αν και αρχικά πρόβλημα θα αποτέλεσε η ολίσθηση της αλυσίδας πάνω στον τροχό, ο Landels υποθέτει ότι χρησιμοποιήθηκε σύντομα εξαγωνικός τροχός (εικ. 4.3.12). Για ανύψωση από τα 16 m απαιτείται μεγαλύτερη του διπλάσιου αλυσίδα (34 m), ενώ σε αυτό το μήκος μπορούν να χωρέσουν 12 δοχεία με απόσταση 3 m μεταξύ τους. Σύμφωνα με το Βιτρούβιο κάθε δοχείο της αντλίας χωρούσε 3,3 lt νερού, οπότε με μια πλήρη περιστροφή της αλυσίδας θα απέφερε άντληση περίπου 40 λίτρων νερού. Μια περιστροφή της αλυσίδας ισοδυναμούσε με 27 περιστροφές του τροχού, γεγονός που απαιτούσε περίπου 3 λεπτά ανθρώπινης εργασίας με απόδοση 50%. Υπολογίζεται τελικά ότι στα 16 m ανύψωσης ύδατος η παροχή ήταν 13 lt/min ή 0,8 m^3/h (Landels, 1978).

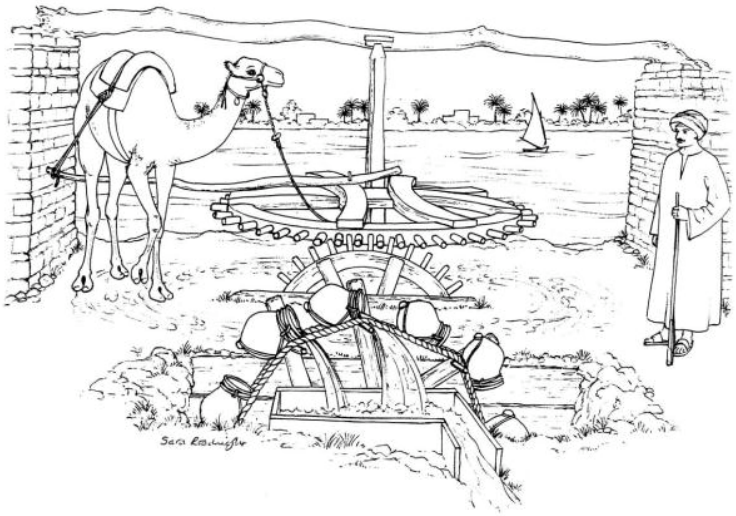


Εικόνα 4.3.12 Η αλυσιδωτή αντλία του Φίλωνα (αριστερά) και η λύση στην ολίσθηση της αλυσίδας κατά τον Landels (δεξιά) (Landels, 1978)

Αλυσιδωτή αντλία με γρανάζια και αγγεία ή saqiya.

Η saqiya (εικ. 4.3.13), μέθοδος με γρανάζια σε ορθή γωνία και αλυσίδα με κάδους γύρω από τροχό, είναι σύνθετη κατασκευή και καταλαμβάνει μεγάλο χώρο. Αυτό συμβαίνει γιατί αποτελείται από τον (μεγάλο) τροχό με αγγεία, το σύστημα των κάθετων μεταξύ τους γραναζιών και το κυκλικό μονοπάτι που χρειάζεται το ζώο για να κινείται και να παρέχει την ισχύ. Οι κάδοι μπορούν να μεταφέρουν 8-15 lt ο καθένας και υπολογίζεται ότι η χρήση ζεύγους ζώων προσφέρει άντληση 9-10 m^3/h σε βάθος 9 μέτρων. Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το μεγάλο ύψος άντλησης που επιτυγχάνεται, φτάνοντας ακόμη και τα 20 m, ενώ η απόδοση του μηχανισμού κυμαίνεται μεταξύ 40% και 70%. Αρνητικό στοιχείο της μεθόδου είναι το γεγονός ότι

το νερό ανυψώνεται πιο ψηλά από το σημείο της συλλογής σε σχέση με την μέθοδο της αλυσιδωτής αντλίας, ενώ δεν πρέπει να αγνοείται το κόστος συντήρησης των ζώων, ακόμη και αν δεν γίνεται άντληση ύδατος (Olley, 2008).

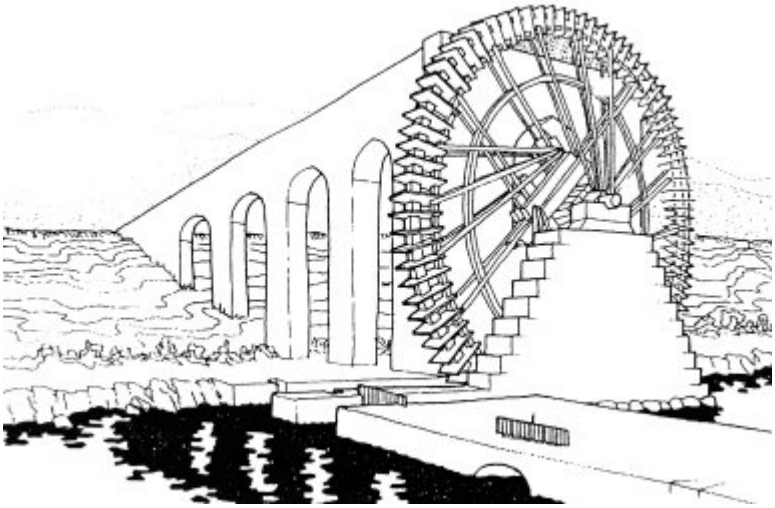


Εικόνα 4.3.13 Η μέθοδος saqiya (www.sanjakdar-chaarani.com)

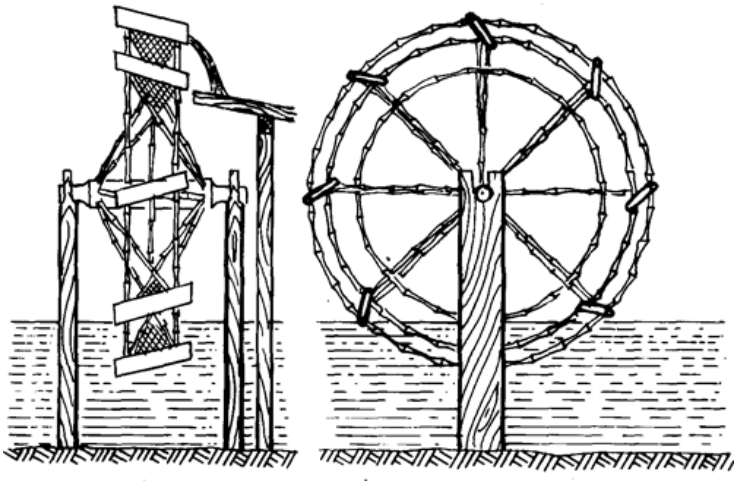
Υδροτροχοί ή Νορίες

Οι υδροτροχοί ή νορίες (norias) (εικ. 4.3.14), είναι μηχανισμοί που παίρνουν κίνηση από τη ροή των υδάτων στους ποταμούς. Αποτελούν τον αρχαιότερο τρόπο άντλησης ύδατος μέσω της ροής του ποταμού και χαρακτηριστικό είναι το μεγάλο τους μέγεθος. Η ογκώδης κατασκευή απαιτούσε αρκετό χώρο για την εγκατάσταση της και συχνό έλεγχο για την εύρυθμη λειτουργία της. Υπολογίζεται ότι το ετήσιο κόστος συντήρησης μιας νορίας στο Βιετνάμ ανέρχεται ακόμη και στο μισό κόστος κατασκευής (Nguyen, 1979). Παραλλαγή της κλασσικής νορίας τύπου πολυκαδίας αποτέλεσε ο τροχός με πτερύγια και αγγεία ή περσικός τροχός.

Η διάμετρος μιας νορίας υπολογίζεται ότι ήταν περίπου 10 m, ωστόσο το παράδειγμα των υδροτροχών στη Χάμα της Συρίας, αποδεικνύει ότι υπήρξαν ακόμη μεγαλύτερες, διαμέτρου 20 m ή και παραπάνω. Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι δεν χρειάζεται επιπρόσθετη ισχύς από άνθρωπο ή ζώο για την ανύψωση του νερού, ενώ αξιόλογη είναι η παροχή και η ανύψωση που επιτυγχανόταν, καθώς μια νορία διαμέτρου 9-10 m προσέφερε έως και 50 m^3/h στα 8 m ανύψωσης ύδατος (Fraenkel, 1986). Η νορία Al-Muhammadiyyah στη Συρία διαμέτρου 20 m υπολογίζεται ότι ανάλογα με τη ροή του ποταμού, προσέφερε ανύψωση 50-200 m^3/h και αποτελεί τη μεγαλύτερη νορία που διασώθηκε και λειτουργεί ακόμη (ASME, 2006). Ο βαθμός απόδοσης των υδροτροχών, υπολογίζεται στο 20-30% (Fraenkel, 1986).



Εικόνα 4.3.14 Η νορία (Ragette, 2000)



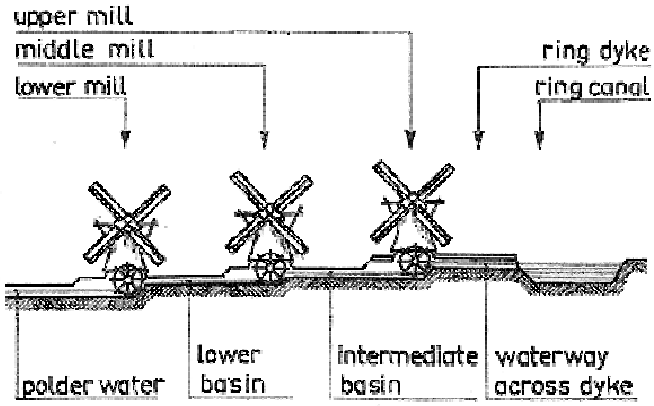
Εικόνα 4.3.15 Νορία κινέζικου τύπου (www.sanjakdar-chaarani.com)

Ανεμόμυλοι

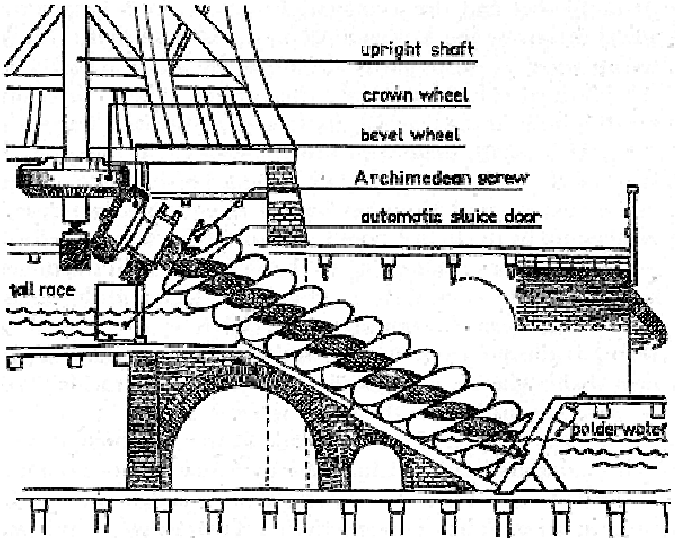
Οι ανεμόμυλοι, κατασκευές αρχικά μικρές και αργότερα ογκώδεις, πρόσφεραν ανάλογα τον τύπο τους, διαφορετικές παροχές και ύψη άντλησης. Η κινητική ενέργεια που παρέχεται από τον άνεμο αξιοποιείται σε βαθμό περίπου 10-30%, καθιστώντας τελικά τους ανεμόμυλους σε χαμηλής απόδοσης συστήματα άντλησης ύδατος. Αυτό συμβαίνει καθώς εισέρχονται στη διαδικασία τόσο οι μηχανικές απώλειες, όσο και ο χαμηλός αεροδυναμικός συντελεστής της ανεμόμυλου που μεταφράζεται στην αδυναμία του απορροφά την αιολική ενέργεια (ASME, 2006).

Παραδείγματα λειτουργίας ανεμόμυλων όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν στην Ολλανδία για αντιπλημμυρικούς λόγους και στην Κρήτη για άντληση υδάτων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι ανεμόμυλοι στο νομό Λασιθίου Κρήτης προσφέρουν παροχή 35-50 m^3/h σε ύψος λειτουργίας 15 m (Λιλιμπάκης, 2007). Παράλληλα, οι ανεμόμυλοι στην περιοχή Kinderdijk της Ολλανδίας κατασκευής 18^{ου}

αι. έχουν δυνατότητα αποστράγγισης 270 m^3/h κατά 1 m, αν και πλέον λειτουργούν μόνο κατά τους θερινούς μήνες για τουριστικούς λόγους καθώς τη θέση τους έχουν πάρει ηλεκτροκίνητες μονάδες άντλησης (Κάβουρα κ.α., 2013). Ο Stokhuyzen, σημειώνει ότι οι μεγάλοι ανεμόμυλοι στα πόλντερς της Ολλανδίας ύψους 30 m και διαμέτρου ακόμη και 40 μ, μπορούσαν να αντλήσουν 3000 m^3/h για ύψη που δεν ξεπερνούσαν το 1,5 m Επίσης για μεγαλύτερη ανύψωση ύδατος, τρείς ή περισσότεροι ανεμόμυλοι τοποθετημένοι εν σειρά, σε απόσταση μεταξύ τους και σε διαφορετικά επίπεδα (εικ. 4.3.16), μπορούσαν να αποφέρουν τελικό ύψος άντλησης ακόμη και 10-15 m Εξάλλου, μετά τις αρχές του $17^{ου}$ αιώνα χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον και μεγάλοι κοχλίες (εικ. 4.3.17), με αποτέλεσμα η άντληση να φτάνει τα 5 m από ένα και μόνο ανεμόμυλο (Stokhuyzen, 1962).



Εικόνα 4.3.16 Ανεμόμυλοι σε σειρά και διαφορετικά επίπεδα (Stokhuyzen, 1962)



Εικόνα 4.3.17 Ανεμόμυλος με κοχλία (Stokhuyzen, 1962)

5. Χρήση Αρχαίων Μηχανισμών Ανύψωσης Νερού στη Σύγχρονη Εποχή

5.1 Εισαγωγή

Οι μηχανισμοί που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, εκτός από το προφανές όφελος, την κάλυψη δηλαδή της ανάγκης για άντληση νερού από τον άνθρωπο, προσέφεραν εξαιρετικές προοπτικές βελτίωσης και επεκτασιμότητας για το μέλλον. Η Βιομηχανική Επανάσταση και η εφεύρεση της ατμομηχανής και του ηλεκτροκινητήρα, έδωσαν την απαιτούμενη ώθηση ώστε αυτές οι προοπτικές να μετουσιωθούν σε τεχνολογικά επιτεύγματα των οποίων η χρήση πραγματοποιείται ευρέως ακόμη και σήμερα.

Αδιαμφισβήτητα, δεν υπήρξε παράλληλη πορεία για όλους τους μηχανισμούς στην πάροδο του χρόνου. Άλλοι έπαψαν να χρησιμοποιούνται καθώς αντικαταστάθηκαν από αποδοτικότερους, άλλοι συνέχισαν να εμφανίζονται με την ίδια μορφή που είχαν και πριν χιλιετίες, ενώ οι υπόλοιποι εξελίχθηκαν και μετατράπηκαν σε εργαλεία τόσο για τη βιομηχανία όσο και για τον απλό χρήστη.

Ακολουθώντας την κατάταξη των μηχανισμών στις κατηγορίες που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, στις επόμενες σελίδες θα γίνει αναφορά στη μορφή που έχουν σήμερα και στην εμβέλεια που έχει αποκτήσει η χρήση τους.

5.2 Μη μηχανικές μέθοδοι

Από το χαρακτήρα της κατηγορίας των μη μηχανικών μεθόδων, καταλαβαίνει κανείς πως η εξέλιξη που θα μπορούσαν να έχουν, εντοπίζεται μόνο στην φύση των υλικών που χρησιμοποιούνται πλέον. Ο λόγος που δεν σταμάτησαν να υπάρχουν, είναι ότι αποτελούν οικονομικές μεθόδους, που κατασκευάζονται από βασικά υλικά και η χρήση τους γίνεται από όλες τις ηλικίες.

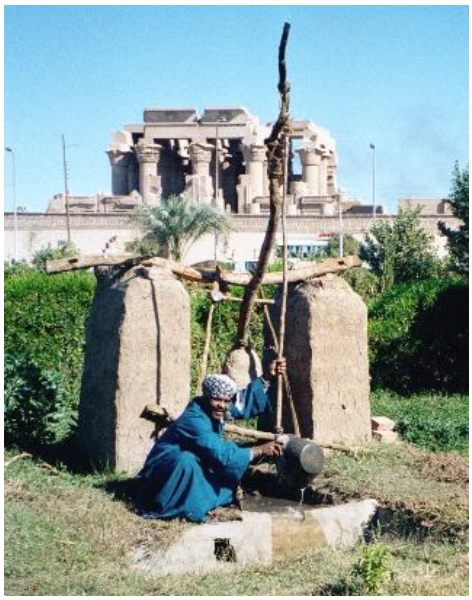
Τα δοχεία, τα καλάθια και οι σάκοι, εμφανίζονται ανά τον κόσμο, ιδιαίτερα στις υποανάπτυκτες ή αναπτυσσόμενες χώρες αλλά και σε περιοχές που κρατούν τις παραδόσεις, κυρίως στην επαρχία των ανεπτυγμένων χωρών. Τα υλικά που είναι φτιαγμένα ποικίλλουν, όπως δέρμα ζώων, ξύλο, πηλός αλλά πλέον συναντώνται κυρίως σε μεταλλική ή πλαστική μορφή. Η μέθοδος cerd, δηλαδή δοχείο δεμένο με σχοινί ή αλυσίδα σε τροχαλία, χρησιμοποιείται ακόμη και παραδείγματα συναντά κανείς στην Ινδία και την Αφρική.

Εικόνα 5.2.1 Δοχείο με ζεύγη σχοινιών στην Ινδία στα τέλη του 20^{ου} αιώνα (www.greatmirror.com)

Εικόνα 5.2.2 Η μέθοδος cerd στην Ινδία στα τέλη του 20^{ου} αιώνα (www.greatmirror.com)

5.3 Ημι-μηχανικές μέθοδοι

Όπως και στις μη μηχανικές μεθόδους, έτσι και σε αυτή την κατηγορία, τα απλά υλικά με τα οποία είναι φτιαγμένοι οι μηχανισμοί, αλλά και η αποδοτικότητα τους για μικρά ύψη άντλησης, τους κατέστησαν διαχρονικούς. Το shaduf, η picottah και η μέθοδος του ξύλινου (κρεμαστού) αντλητή τύπου κανό ή dhone, είναι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται ακόμη στην Αίγυπτο και την Ασία, ενώ παραδείγματα υπάρχουν και στην Ευρώπη. Το γεγονός ότι οι ντόπιοι πλέον έχουν την απαραίτητη τεχνογνωσία και πιο αξιόπιστα υλικά (πλαστικό, μέταλλο, τσιμέντο) απ' ότι στις αρχές της χρήσης των μηχανισμών αυτών, έχει καταστήσει τις παραπάνω μεθόδους πιο αξιόπιστες, χωρίς ωστόσο να έχουν μεταβληθεί αξιόλογα τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους (παροχή, ύψος, βαθμός απόδοσης).



Εικόνα 5.3.1 Shaduf στην Αίγυπτο το 2001 (φωτ. Hajor, www.wikipedia.com)

Εικόνα 5.3.2 Αντλητής τύπου κανό στην Ινδία το 2009 (φωτ. Abhijit Kar Gupta, www.trekearth.com)

5.4 Μηχανικές μέθοδοι

Το γεγονός της εφεύρεσης της ατμομηχανής από τον Thomas Savery το 1698, της βελτίωσης της από τον Thomas Newcomen το 1712 και της τελειοποίησης της από τον James Watt το 1782, έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην έναρξη της Βιομηχανικής Επανάστασης. Η μετάβαση από τον χειρωνακτικό τρόπο εργασίας και παραγωγής στον μηχανοποιημένο, δεν άργησε να συμβεί. Επίσης, τον 20^{ο} αιώνα, τη θέση των ατμομηχανών πήραν σε μεγάλο βαθμό οι κινητήρες ντίζελ, οι ηλεκτροκινητήρες και άλλα είδη κινητήρων εσωτερικής καύσης (www.wikipedia.com).

Η κατηγορία των μηχανικών μεθόδων ανύψωσης νερού, χαρακτηρίζεται ως η πιο εξελιγμένη από τις τρείς κατηγορίες που χωρίστηκαν οι μηχανισμοί και αυτό οφείλεται στα παραπάνω. Η μηχανή πήρε τη θέση του ανθρώπου ή του ζώου σε πολλές

μηχανικές μεθόδους άντλησης. Παράλληλα, η βελτίωση των υλικών από το οποία φτιάχνονταν οι μηχανισμοί αλλά και ο πιο εξελιγμένος σχεδιασμός τους, είχε ως αποτέλεσμα αύξηση του βαθμού απόδοσης και του εύρους χρήσης τους.

Ο κοχλίας του Αρχιμήδη

Ο κοχλίας συναντάται σε εφαρμογές άντλησης ή μεταφοράς νερού και στερεών υλικών σε παγκόσμια κλίμακα. Τα υλικά από τα οποία φτιάχνεται είναι σίδερο, ατσάλι, τσιμέντο και πλαστικό και το μέγεθος του ποικίλλει ανάλογα τη χρήση. Ο λόγος που χρησιμοποιείται ακόμη και θεωρείται αειφόρος μηχανισμός, είναι διότι χαρακτηρίζεται από εξαιρετικό βαθμό απόδοσης και μπορεί να μεταφέρει ακόμη και στερεά υλικά. Συγκεκριμένα, πλεονεκτήματα του αποτελούν: η μεγάλη διάρκεια ζωής (έως και 40 έτη), η αξιοπιστία στη λειτουργία, η απόδοση που φτάνει ακόμη και το 90%, η μεταφορά ελαφρών στερεών υλικών διαμέσου του και η λειτουργία του ακόμη και αν δεν πραγματοποιείται άντληση ή μεταφορά. Το εύρος εφαρμογών είναι μεγάλο καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αρδευτικό, αντιπλημμυρικό ή αποστραγγιστικό σύστημα ενώ συναντάται και σε εργοστάσια για λόγους ψύξης, λίπανσης και μεταφοράς ελαφρών υλικών όπως πατάτες, ζάχαρη και σιτηρά. Επίσης, δεν είναι λίγα τα παραδείγματα που ο κοχλίας χρησιμοποιείται σε υδροηλεκτρικά έργα στο πλαίσιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ένας μεγάλος μηχανισμός κοχλία είναι ικανός να ξεπεράσει τα 10 m άντλησης με παροχή 7 m^3/s ή 25000 m^3/h (www.spaansbabcock.com).

Εικόνα 5.4.1 Τρείς παράλληλοι κοχλίες στην Ισπανία το 2011 (φωτ. Archimedes Hydro Screw, www.flickr.com)

Εικόνα 5.4.2 Κοχλίες στο Kinderdijk της Ολλανδίας (κατ. 1972) αντικαθιστούν 19 αποστραγγιστικούς ανεμόμυλους του 1740 για άντληση 81000 m^3/h (www.math.nyu.edu)

Η αντλία του Κτησίβιου

Η αντλία του Κτησίβιου αποτέλεσε τον πρόγονο των αντλιών που σήμερα είναι γνωστές ως αντλίες θετικής μετατόπισης και είχε μεγάλη εφαρμογή ως πυροσβεστικό μέσο. Χρησιμοποιείται στη σύγχρονη εποχή, είτε για άντληση υδάτων είτε για πυροσβεστικό σκοπό.

Παραλλαγές της αντλίας του Κτησίβιου εμφανίζονται μέχρι και σήμερα. Η χρήση τους γίνεται κυρίως για άντληση υδάτων προς υδροδότηση χωριών ή για αρδευτικό σκοπό στις υποανάπτυκτες ή αναπτυσσόμενες χώρες της Υποσαχάριας Αφρικής και Ασίας.

Εικόνα 5.4.3 Πυροσβεστική αντλία κατασκευής 1774 από τον Samuel Phillips στο Knaresborough της Αγγλίας (www.bbc.co.uk)

Εικόνα 5.4.3 Πυροσβεστική αντλία 20^{ου} αιώνα στη Ρίγα της Λετονίας (Latvian Fire Fighting Museum)

Εικόνα 5.4.4 Παλινδρομική αντλία στην Κένυα το 2012 (www.thewaterproject.org)

Εικόνα 5.4.5 Αντλία με πετάλια και δυο έμβολα (treadle pump) στην Ινδία τον 21^{ο} αι., προσφέρει παροχή 5 m^3/h και ανύψωση 8 m (www.tradeindia.com)

Εικόνα 5.4.5 Αντλία με σχοινί και ροδέλες (rope and washer pump) στο Βιετνάμ τον 21ο αι., (www.akvo.org)

Αντλητικοί μηχανισμοί Φίλωνα, Νορίες και Ανεμόμυλοι

Όπως προαναφέρθηκε, οι αντλητικοί μηχανισμοί του Φίλωνα, κυρίως οι υποδιαιρεμένοι τροχοί τύπου τυμπάνου και πολυκαδίας απαιτούσαν μεγάλη ανθρώπινη προσπάθεια για να λειτουργήσουν. Για το λόγο αυτό πλέον, η μορφή του τροχού συναντάται κυρίως με χρήση ζώου στις παραλλαγές της αλυσιδωτή αντλίας και του τροχού με γρανάζια σε ορθή γωνία (saqiya). Ωστόσο, συναντάται και η χρήση τροχού με πετάλια (chakram), κυρίως στην Ασία, δεδομένης της απλής και οικονομικής κατασκευής του μηχανισμού.

Σε πολλές περιοχές, κυρίως αναπτυσσόμενες, τη θέση του ζώου πήρε ο κινητήρας με αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση της χρήσης μεθόδων άντλησης μέσω τροχών. Προτιμήθηκε η νέα τεχνολογία των βιομηχανικών φυγοκεντρικών αντλιών, για τις οποίες σύντομη αναφορά γίνεται στο τέλος του κεφαλαίου.

Εικόνα 5.4.6 Saqiya στο χωριό Ρανκαπούρ της δυτικής Ινδίας το 2008 (www.colin-julie.com)

Εικόνα 5.4.7 Χρήση τροχού με πετάλια (chakram) στη σημερινή Ασία (www.pixshark.com)

Στη σημερινή εποχή, οι υδροτροχοί εμφανίζονται και με τη μορφή της νορίας, τροχού κινούμενου από τη ροή των υδάτων, αν και πλέον αυτού του είδους οι μηχανισμοί έχουν περισσότερο αισθητικό και τουριστικό χαρακτήρα, με μεγαλύτερο παράδειγμα τις νορίες στη Χάμα της Συρίας. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός ότι έχουν κατασκευαστεί μικρές πλωτές «νορίες» βιομηχανικού τύπου, με εμπορικό όνομα «Barsha pump». Έχουν μηδενικό λειτουργικό κόστος καθώς μέσω της ενέργειας από τη ροή των υδάτων και συμπίεσης του αέρα από το ίδιο το σύστημα, το νερό ανυψώνεται έως και 25 m με παροχή 3,5 m^3/h . Η εταιρία aQysta, εγκατέστησε αυτού του είδους μηχανισμούς στο Νεπάλ το 2014, ενώ παρόμοιες ενέργειες είναι προγραμματισμένες και για άλλες χώρες της Ασίας, Αφρικής και Λατινικής Αμερικής (www.aqysta.com).

Εικόνα 5.4.8 Αριστερά, τροχός περσικού τύπου κατασκευής 1976 στο Σανταρέμ της Πορτογαλίας (www.waymarking.com). Δεξιά, τρείς νορίες στη Χάμα της Συρίας (www.wikipedia.org)

Εικόνα 5.4.9 Βιομηχανική πλωτή «νορία» (Barsha pump) στο Νεπάλ το 2014 (www.aqysta.com)

Οι ανεμόμυλοι, στα τέλη του 19ου αιώνα, ξεπέρασαν τις 30 χιλιάδες σε όλη την Ευρώπη και μέχρι τα μέσα του 20ου αιώνα, η εξέλιξη τους ήταν σημαντική λόγω της χρήσης τους για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα ορυκτά καύσιμα, στο δεύτερο μισό του 20ου αιώνα αλλά και η εξέλιξη των αντλιών, διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο στην πορεία των ανεμόμυλων. Στη σύγχρονη εποχή, οι περισσότεροι ανεμόμυλοι αποτελούν αξιοθέατα για τουριστικούς λόγους καθώς τη θέση τους έχουν πάρει εξελιγμένοι μηχανισμοί άντλησης.

Στην Αμερική, οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν όλο και περισσότερο, είτε για άρδευση εκτάσεων είτε για τροφοδοσία νερού σε ατμομηχανές. Αποτέλεσμα ήταν η τεχνολογική βελτίωση τους, καθώς δεν άργησε να εφαρμοστεί σύστημα που αυτόματα έστρεφε τον ανεμόμυλο στην κατάλληλη κατεύθυνση, είτε για τη βέλτιστη λειτουργία του, είτε για προστασία από τις υψηλές ταχύτητες του ανέμου. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το 1920 οι ανεμόμυλοι στην Αμερική έφταναν τα 6 εκατομμύρια ενώ η χρήση τους θεωρούνταν παγκόσμια. Ωστόσο, σήμερα λειτουργούν περίπου 60 χιλιάδες, κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές, είτε γιατί η πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο είναι δύσκολη είτε λόγω της μειωμένης ανάγκης για συντήρηση σε σχέση με τις σύγχρονες αντλίες (www.practicalaction.com).

Στην Ολλανδία, από τους 1000 ανεμόμυλους που υπάρχουν σήμερα, για αποστραγγιστικό σκοπό λειτουργούν ελάχιστοι, για παράδειγμα, οι 3 από τους 19 στο Kinderdijk, ανεμόμυλοι οι οποίοι το 1997 προστέθηκαν στον κατάλογο Παγκόσμιας Κληρονομιάς της UNESCO, ο de Otter στο Amsterdam και ο de Valk στο Leiden που λειτουργεί και ως μουσείο. Στοιχείο που εντείνει την ολοένα και μικρότερη χρήση των ανεμόμυλων, εκτός από την εξέλιξη της τεχνολογίας, αποτελεί το γεγονός πως λόγω της αύξησης της οικοδομικής δραστηριότητας, το αιολικό δυναμικό στις περιοχές που είναι κτισμένοι σταδιακά μειώνεται (www.holland.com).

Στην Ελλάδα, λόγω του πλούσιου αιολικού δυναμικού, η χρήση των ανεμόμυλων ήταν εκτεταμένη. Οι ανεμόμυλοι άντλησης νερού που λειτουργούσαν στο νομό Λασιθίου Κρήτης, έφταναν τους 12 χιλιάδες στο παρελθόν. Σήμερα, διασώζονται περίπου 70 και δεν λειτουργούν όλοι. Με πρωτοβουλία της τοπικής αυτοδιοίκησης

και ιδιωτών , γίνονται προσπάθειες για να επαναλειτουργήσουν αρχικά περίπου 300 ανεμόμυλοι.

Στο πλαίσιο των εναλλακτικών πηγών ενέργειας, οι σύγχρονοι ανεμόμυλοι με τη μορφή ανεμογεννητριών, αποτελούν σημαντικό κεφάλαιο στη παραγωγή ηλεκτρισμού παγκοσμίως με αξιόλογες προοπτικές βελτίωσης. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η Δανία καλύπτει το 40% των ενεργειακών αναγκών της από αιολικά συστήματα, ενώ υπολογίζεται ότι στην Ευρώπη το 2020 η ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγεται από τον άνεμο, θα καλύπτει το 14-17% της ετήσιας ζήτησης.

Εικόνα 5.4.10 Αποστραγγιστικός ανεμόμυλος αμερικάνικου τύπου, παροχής 80 m^3/h στο Oregon των Η.Π.Α (φωτ. Thomas Conlon, Iron Man Windmill Co)

Εικόνα 5.4.11 Οι αποστραγγιστικοί ανεμόμυλοι του Kinderdijk στην Ολλανδία (www.holland.com)

Εικόνα 5.4.12 Ανεμόμυλοι άντλησης νερού στο Οροπέδιο Λασιθίου (www.haniotika-nea.gr)

Εικόνα 5.4.13 Αιολικό θαλάσσιο πάρκο στη Δανία (φωτ. Katharina Wieland-Müller / pixelio.de)

Σύγχρονες αντλίες

Οι σύγχρονες αντλίες μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, τις αντλίες θετικής εκτόπισης και τις δυναμικές, κυρίως με τη μορφή των φυγοκεντρικών αντλιών.

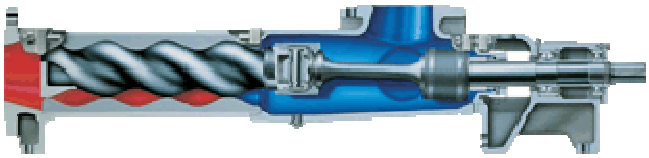
Στις αντλίες θετικής εκτόπισης, το υγρό εκτοπίζεται και προωθείται μέσω ενός εμβόλου, παλλόμενου διαφράγματος, περιστρεφόμενου μηχανισμού ή μέσω ενός άλλου ρευστού όπως π.χ. αέρα. Οι αντλίες θετικής εκτόπισης χωρίζονται σε παλινδρομικές και περιστροφικές, ενώ σπάνια συναντώνται οι αντλίες πιεστικού θαλάμου (Λυγερός Α.Ι., 2005):

- Οι παλινδρομικές αντλίες, «απόγονοι» της αντλίας του Κτησίβιου, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως με παραδείγματα εφαρμογών τους ανά τον κόσμο, φέρουν έμβολο ή διάφραγμα το οποίο εκτελεί παλινδρομική κίνηση μέσα σε κυλινδρικό θάλαμο με βαλβίδες που ευθύνονται για την είσοδο και έξοδο του νερού. Η σύνδεση των βαλβίδων με το έμβολο, όπως παρατηρεί κανείς σε παλαιότερες εποχές, γινόταν με μηχανικό τρόπο. Σήμερα, οι βαλβίδες ανοιγοκλείνουν αυτόματα μέσω της αλλαγής της πίεσης στο θάλαμο από την κίνηση του εμβόλου. Ο βαθμός απόδοσης των παλινδρομικών

αντλιών είναι μεγάλος και είναι ικανές να ανυψώσουν υγρά μεγάλου ιξώδους. Για άντληση νερού, η μέγιστη ανύψωση (H), παροχή (Q) και ο βαθμός απόδοσης (η), φαίνεται παρακάτω για τις διάφορες αντλίες (Fraenkel P.L., 1986):

- με πιστόνι: H: 200+ m, Q: 100+ m^3/h , η: 40-85%
- με βυθιζόμενο έμβολο: H: 400 m, Q: 50+ m^3/h , η: 60-85%
- με διάφραγμα: H : 1-2 m, Q : 20 m^3/h , η: 20-30%

- Οι περιστροφικές αντλίες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τύπων όπως, γραναζωτές, με λοβούς, κοχλίες, με πτερύγια και έμβολα. Η προώθηση του υγρού γίνεται με κυκλική κίνηση, όχι με παλινδρομική όπως πριν. Καθώς το υγρό εισέρχεται στην αναρρόφηση της αντλίας, παγιδεύεται σε χώρο που δημιουργούν τα περιστρεφόμενα μέρη και έπειτα προωθείται προς την έξοδο (κατάθλιψη). Σε αντίθεση με τις παλινδρομικές, οι περιστροφικές αντλίες δεν έχουν βαλβίδες και η ροή του διακινούμενου υγρού είναι συνεχής. Ενδείκνυνται δε, για χρήση σε υγρά μεγάλου ιξώδους, ενώ δεν μπορούν να διακινήσουν υγρά με αιωρούμενα στερεά. Η παροχή των περιστροφικών αντλιών είναι ευθέως ανάλογη με τον αριθμό των στροφών του μηχανισμού. Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται οι αντλίες που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια όπως: κοχλίας Αρχιμήδη (παλαιού και σύγχρονου τύπου), αντλία με πετάλια (chakram) και αντλία με σχοινί ή αλυσίδα και ροδέλες (chain & washer pump). Αξιόλογων χαρακτηριστικών λειτουργίας αντλία αποτελεί η παραλλαγή της αντλίας με κοχλία, με ονομασία «MONO» (εικ. 5.4.14). Αποτελείται από χαλύβδινο περιστρεφόμενο ελικοειδές στέλεχος, τον ρότορα, που βρίσκεται σε ένα ειδικά διαμορφωμένο εσωτερικό κέλυφος. Το αντλούμενο ρευστό βρίσκεται στον κενό χώρο μεταξύ του ρότορα και του κελύφους και με την περιστροφή του πρώτου, προωθείται προς την έξοδο. Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας «MONO», φτάνει το 70%, η παροχή ξεπερνά τα 100 m^3/h και το ύψος τα 100 m.

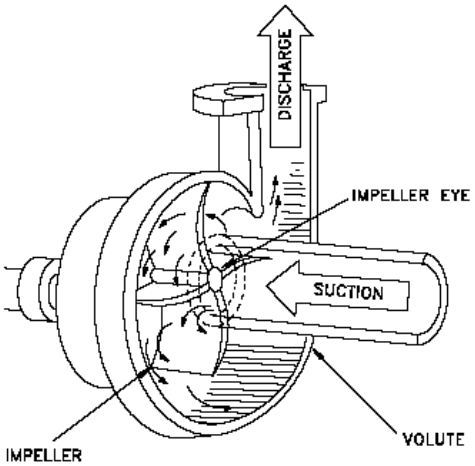


Εικόνα 5.4.14 Αντλία τύπου «MONO», με μπλέ χρώμα η εισαγωγή και κόκκινο η εξαγωγή (www.allweilerfarid.com)

Οι φυγοκεντρικές αντλίες, εφεύρεση του Denis Papin το 1687, αποτελούν τη πλέον διαδεδομένη κατηγορία δυναμικών αντλιών. Χρησιμοποιούνται για υγρά μικρού ιξώδους, όπως το νερό και συναντώνται κυρίως ως ακτινικής ροής (εικ. 5.4.15) καθώς υπερτερούν έναντι των αξονικών στο ύψος λειτουργίας. Οι αξονικές, αν και έχουν μεγάλη παροχή της τάξης των 500 m^3/h , η ανύψωση που πετυχαίνουν δεν ξεπερνά τα 15 m Στις φυγοκεντρικές αντλίες ακτινικής ροής, η ώθηση στο ρευστό δίνεται από τη φυγόκεντρο δύναμη που ασκείται σε αυτό από την υψηλής ταχύτητας

πτερωτή της αντλίας. Η υποπίεση που δημιουργείται στο κέντρο της πτερωτής προκαλεί αναρρόφηση του υγρού που προωθείται στην έξοδο μέσω διευρυνόμενης διατομής. Ο βαθμός απόδοσης τους είναι υψηλός και ξεπερνά το 90%, η παροχή τα 500 m^3/h και το ύψος λειτουργίας τα 60 m Για την ανύψωση του υγρού σε μεγαλύτερα ύψη (έως και 300 m) γίνεται χρήση δύο ή περισσότερων πτερωτών (πολυβάθμιες αντλίες). Έχουν μεγάλη διάδοση γιατί (Ακριτίδης Κ., 1985):

- έχουν καλή απόδοση, μικρό όγκο και βάρος
- συνδέονται εύκολα με διάφορους κινητήρες
- η κίνηση είναι συνεχής και ομοιόμορφη
- δεν παρουσιάζουν διακυμάνσεις στην πίεση και την παροχή
- υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης της παροχής
- έχουν χαμηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας
- έχουν μικρό αριθμό κινούμενων μερών, άρα μεγάλη ασφάλεια λειτουργίας



Εικόνα 5.4.15 Φυγοκεντρική αντλία ακτινικής ροής (www.engineersedge.com)

6. Σύνοψη - Συμπεράσματα

Η ανάγκη του ανθρώπου για πρόσβαση σε υδατικούς πόρους από τα αρχαία χρόνια, αποτέλεσε όχι μόνο πρόβλημα επιβίωσης αλλά και τρόπο για να βελτιώσει το βιοτικό του επίπεδο. Από την Προϊστορική Εποχή, η ανάγκη αυτή ώθησε τον άνθρωπο αρχικά να επινοήσει απλούς τρόπους (δοχεία, αντλητές) και να κατασκευάσει μικρούς μηχανισμούς (σαντούφ) για την επίτευξη του στόχου του. Οι μηχανισμοί αυτοί χαρακτηρίζονταν από απλότητα στη χρήση και μικρό κόστος κατασκευής και συντήρησης. Στη συνέχεια ωστόσο, η ανάγκη για μεγαλύτερη απόδοση, έφερε την βελτίωση στις ήδη υπάρχουσες μεθόδους αλλά και την εφεύρεση σχετικά πιο πολύπλοκων τρόπων ανύψωσης νερού με χρήση τροχαλίας. Η απαιτούμενη ενέργεια για την λειτουργία των πρώτων μηχανισμών προερχόταν από τον άνθρωπο ή το ζώο.

Οι μηχανισμοί των μεγάλων Ελλήνων εφευρετών κατά την Κλασσική και Ελληνιστική περίοδο (480 – 67 π.Χ.), τον Αρχιμήδη και τον Κτησίβιο, αποτέλεσαν ορόσημα στην Ιστορία και έθεσαν τις βάσεις για τη σημερινή μορφή των αντλιών. Η χρήση τους εξαπλώθηκε γρήγορα σε όλα τα μήκη και πλάτη της υφηλίου και οι παραλλαγές τους συναντώνται ακόμη και σήμερα, στα πιο εξελιγμένα συστήματα άντλησης ή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι αντλητικοί τροχοί, εφεύρεση του Φίλωνος, αποτέλεσαν σημαντικό κεφάλαιο στην προσπάθεια του ανθρώπου για ανύψωση νερού. Η αντλητική μηχανή με γρανάζια κινούμενη από ζώα (saqiya), είναι παράδειγμα που αποδεικνύει την αξιοποίηση μηχανικής γνώσης και ισχύος των ζώων σε συνδυασμό και συναντάται ακόμη και σήμερα στην Αίγυπτο.

Οι υδροτροχοί ή νορίες, μηχανισμοί της Ρωμαϊκής εποχής, που παίρνουν κίνηση από τη ροή των υδάτων στους ποταμούς αποτέλεσαν τον αρχαιότερο τρόπο άντλησης ύδατος μέσω της ροής του ποταμού, ωστόσο σήμερα έχουν περισσότερο αισθητικό και τουριστικό χαρακτήρα, με μεγαλύτερο παράδειγμα τις νορίες στη Χάμα της Συρίας.

Στην εποχή του Μεσαίωνα, κατά την Βυζαντινή περίοδο μεταξύ 5^{ου} και 9^{ου} αιώνα στην Περσία, κάνουν την εμφάνιση τους οι πρώτοι ανεμόμυλοι με κατακόρυφο άξονα ενώ οι πρώτοι ανεμόμυλοι που εντοπίζονται στην Ευρώπη αποτυπώνονται σε γραπτά του 1270. Μεγάλη εφαρμογή ανεμόμυλων πραγματοποιήθηκε στην Ολλανδία για αντιπλημμυρικούς λόγους ενώ στη σημερινή εποχή, ο «σύγχρονος ανεμόμυλος» με τη μορφή της ανεμογεννήτριας, συμμετέχει σημαντικά στη προσπάθεια του ανθρώπου για αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Η εφεύρεση της φυγοκεντρικής αντλίας από τον Παπέν στα τέλη του 17^{ου} αιώνα, η Βιομηχανική Επανάσταση και η εφεύρεση της ατμομηχανής στα τέλη του 18ου αιώνα από τον Βατ έφερε καινοτόμες αλλαγές στο χώρο των αντλιών. Το 19^{ο} αιώνα η παραγωγή θερμικών και ηλεκτρικών μηχανών έδωσε την απαιτούμενη ώθηση ώστε οι αντλίες να αποτελέσουν τεχνολογικά επιτεύγματα των οποίων η χρήση πραγματοποιείται ευρέως ακόμη και σήμερα.

Αδιαμφισβήτητα, δεν υπήρξε παράλληλη πορεία για όλους τους μηχανισμούς στην πάροδο του χρόνου. Άλλοι έπαψαν να χρησιμοποιούνται καθώς αντικαταστάθηκαν από αποδοτικότερους, άλλοι συνέχισαν να εμφανίζονται με την ίδια μορφή που είχαν και πριν χιλιετίες, ενώ οι υπόλοιποι εξελίχθηκαν και μετατράπηκαν σε εργαλεία τόσο για τη βιομηχανία όσο και για τον απλό χρήστη.

Στις μέρες μας, οι αντλίες εμβόλου και οι φυγοκεντρικές αντλίες, ανοίγουν νέους ορίζοντες για την αξιοποίηση και διαχείριση υδατικών πόρων, ωστόσο κανείς δεν πρέπει να λησμονεί το γεγονός πως βασίζονται στα πρότυπα των αειφόρων μηχανισμών της αρχαιότητας, οι οποίοι πρώτοι αξιοποίησαν τις θεμελιώδεις αρχές της Μηχανικής και των Ρευστών.

Τα βασικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη είναι τα εξής:

- Οι πρώτοι μηχανισμοί άντλησης (δοχεία, αντλητές, σχοινί και τροχαλία) χαρακτηρίζονταν από απλότητα στην κατασκευή και λειτουργία, ωστόσο η μικρή τους απόδοση (<40%) ώθησε τους λαούς στην αναζήτηση αποτελεσματικότερων μεθόδων ανύψωσης ύδατος.

- Ανάλογα την πηγή ενέργειας, μεταβαλλόταν η παροχή και το ύψος λειτουργίας των μηχανισμών με τροχαλία και σχοινί. Η χρήση ζώων στις μεθόδους cerd και mohte μπορούσε να επιτύχει αξιόλογη παροχή, έως και 14 m^3/h για ύψος λειτουργίας 5 m. Ωστόσο, η συντήρηση των ζώων ακόμη και σε περίοδο που δεν πραγματοποιούνταν άντληση, αύξανε σημαντικά το κόστος.

- Η χρήση αντίβαρου στους μηχανισμούς shaduf, picottah έφερε αύξηση στην απόδοση (30-60%) χωρίς ωστόσο να επιτυγχάνονται αξιόλογες παροχές και ύψη ανύψωσης (4 m^3/h, 7 m). Για το λόγο αυτό, οι παραπάνω μηχανισμοί τοποθετούνταν εν σειρά για την αύξηση της παροχής ή σε διαφορετικά επίπεδα ο ένας πάνω από τον άλλο για την αύξηση τους συνολικού ύψους άντλησης.

- Η μέθοδος του κρεμαστού αντλητή και dhone, προσέφεραν αξιόλογη παροχή (15 m^3/h) για μικρά ύψη λειτουργίας (1-2 m), ωστόσο χαρακτηρίζονταν από χαμηλή απόδοση (20-50%) λόγω των απωλειών ύδατος κατά την ανύψωση του αντλητή.

- Ο κοχλίας του Αρχιμήδη, μηχανισμός με καλή απόδοση της τάξης του 60% μπορούσε να επιτύχει υψηλή παροχή έως και 50 m^3/h για μικρό ύψος άντλησης (1 m). Η συνεχής παροχή, η φορητότητα και η δυνατότητα λειτουργίας του ακόμη και αν μεταφέρονται διαμέσου του, ελαφρά στερεά υλικά όπως μικρές πέτρες και λάσπη, αποτέλεσαν σημαντικά πλεονεκτήματα του μηχανισμού. Θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους μηχανισμούς που εφευρέθηκαν για το σκοπό της άντλησης ύδατος και η χρήση του έγινε ευρέως γνωστή σε όλο τον κόσμο, Στη σύγχρονη εποχή, μεγάλοι βιομηχανικοί κοχλίες χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην άντληση ή μεταφορά υδάτων ή ελαφρών υλικών.

- Η αντλία του Κτησίβιου, «πρόγονος» των σημερινών εμβολοφόρων αντλιών, αν και δεν επιτύγχανε αξιόλογη παροχή (1 m^3/h) και ύψος λειτουργίας (1 m) προσέφερε αδιάκοπη άντληση με χαρακτηριστικό τον εξαιρετικό βαθμό απόδοσης της τάξης του 80%. Η τεχνολογία της αντλίας εξελίχθηκε και αποτέλεσε οδηγό για τις αντλίες που και σήμερα χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό.

- Μεταγενέστερες παλινδρομικές αντλίες, όπως η αντλία μονού εμβόλου, η κωπηλατική και η αντλία με πετάλια προσέφεραν υψηλότερη παροχή, έως και 6 m^3/h για 4 m ύψος άντλησης, ενώ ο βαθμός απόδοσης ήταν υψηλός της τάξης του 60-85%.

- Οι μηχανισμοί του Φίλωνα αποτέλεσαν σημαντικό κεφάλαιο στην προσπάθεια του ανθρώπου για επίλυση του προβλήματος της άντλησης υδάτων. Αρχικά, το τύμπανο επιτύγχανε μεγάλη παροχή (48 m^3/h) για μικρό ύψος άντλησης (1,5 m). Η πολυκαδία, με βαθμό απόδοσης περίπου 60%, για ύψος έως και 4 m προσέφερε 5 m^3/h, ενώ η αλυσιδωτή αντλία (μαγγάνι) μπορούσε να αντλήσει 1 m^3/h από τα 20 m με βαθμό απόδοσης 50%. Η χρήση ζώων αντικατέστησε σε πολλές περιπτώσεις τον άνθρωπο στους μηχανισμούς του Φίλωνα, γεγονός που αύξησε τη παροχή και το ύψος λειτουργίας αλλά όπως προαναφέρθηκε, παράλληλα αύξησε και το κόστος λειτουργίας.

- Η saqiya, μηχανισμός που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα σε πολλές χώρες της Αφρικής και Ασίας, τροχός με δοχεία κινούμενος από ζώα μέσω ζεύγους τροχών σε κάθετη συνεργασία, επιτύγχανε αξιόλογα χαρακτηριστικά λειτουργίας. Η απόδοση έφτανε ακόμη και το 70% και για ύψος έως και 10 μέτρα προσέφερε 10-16 m^3/h άντληση ύδατος.

- Οι υδροτροχοί ή νορίες, αξιοποιώντας την ενέργεια της ροής των ποταμών διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στην άντληση των υδάτων στον αρχαίο κόσμο, ειδικότερα στις περιοχές της Ανατολής. Η παροχή έφτανε τα 50 m^3/h για ύψος λειτουργίας στα 8 m και η απόδοση ήταν χαμηλή (20-30%) λόγω των απωλειών ενέργειας στο σύστημα αλλά και ύδατος κατά την ανύψωση.

- Οι ανεμόμυλοι, κατασκευές ογκώδεις, προσέφεραν εξαιρετική παροχή για μικρά ύψη λειτουργίας αξιοποιώντας την ροή του ανέμου. Αν και χαμηλού βαθμού απόδοσης (10-30%) λόγω αεροδυναμικών και μηχανικών απωλειών, οι ανεμόμυλοι συνέβαλλαν καθοριστικά στην άντληση και αποστράγγιση των υδάτων με χαρακτηριστική την περίπτωση των ανεμόμυλων του Kinderdijk στην Ολλανδία, άντλησης 270 m^3/h κατά 1 m. Η τοποθέτηση πολλών ανεμόμυλων εν σειρά και σε διαφορετικά επίπεδα αύξανε τελικά το συνολικό ύψος άντλησης. Η χρήση τους ωστόσο στην σημερινή εποχή περιορίζεται σε τουριστικούς σκοπούς λόγω αντικατάστασης τους από σύγχρονες αντλίες.

- Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι μηχανισμοί που μελετήθηκαν παρουσιάζουν μεγάλο εύρος στα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους. Οι

μηχανισμοί cerd και mohte προσφέρουν ανύψωση ακόμη και 100 m, ενώ άλλοι μηχανισμοί όπως η μέθοδος του κρεμαστού αντλητή ή του τροχού με πετάλια με δυσκολία ξεπερνούν το 1 m ανύψωσης. Επίσης, η παροχή διαφέρει σημαντικά από μηχανισμό σε μηχανισμό. Ο κοχλίας του Αρχιμήδη, το τύμπανο του Φίλωνα και οι νορίες προσφέρουν ακόμη και 50 m^3/h ενώ άλλοι μηχανισμοί όπως το shaduf και η piccotah δεν ξεπερνούν τα 4 m^3/h.

- Οι βαθμοί απόδοσης των μηχανισμών παρουσιάζουν επίσης σημαντική διακύμανση. Η αντλία του Κτησίβιου και οι «απόγονοι» της, όπως οι αντλίες μονού εμβόλου, κωπηλατική, με πετάλια και δύο έμβολα, προσφέρουν βαθμό απόδοσης έως και 85%. Αντίθετα, οι πρώτοι μηχανισμοί για την άντληση υδάτων, όπως η μέθοδος με δοχεία και σάκους και σχοινί είχαν σημαντικές απώλειες ενέργειας και ύδατος με αποτέλεσμα η απόδοση τους να μην ξεπερνά το 10-15%.

- Οι πηγές ενέργειας για την λειτουργία των μηχανισμών όπως προαναφέρθηκε είχαν διάφορες μορφές. Η παρεχόμενη ισχύς προερχόταν από τον άνθρωπο, το ζώο, τη ροή των υδάτων και τον αέρα.

- Σε κοινωνικό επίπεδο, παρατηρείται ότι λαοί που είχαν αναπτύξει τις επιστήμες και διέθεταν υλικοτεχνικές υποδομές, όπως οι Έλληνες της Αλεξάνδρειας κατά την Ελληνιστική περίοδο, εφηύραν μηχανισμούς πολύπλοκους, χαρακτηριζόμενους από αειφορία (κοχλίας Αρχιμήδη, αντλία Κτησίβιου), σε αντίθεση με τους Αιγύπτιους που παρά την ύπαρξη του ποταμού Νείλου και της αφθονίας υδάτων, περιορίστηκαν σε ελάχιστους μηχανισμούς απλής κατασκευής όπως το shaduf.

- Η αειφορία των σημαντικότερων από τους παραπάνω μηχανισμούς είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός. Ειδικότερα ο κοχλίας του Αρχιμήδη και η αντλία του Κτησίβιου, αποτέλεσαν τα σημαντικότερα επιτεύγματα στην αναζήτηση του ανθρώπου τρόπων άντλησης υδάτων, με ευρεία χρήση διαμέσου των αιώνων.

- Η εξέλιξη της τεχνολογίας στο πέρασμα των αιώνων και τελικά η χρήση θερμικών και ηλεκτρικών μηχανών για την λειτουργία των αειφόρων αντλητικών μηχανισμών, είχε ως αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται πολύ μεγαλύτερες παροχές και ύψη λειτουργίας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι κοχλίες άντλησης στο Kinderdijk της Ολλανδίας αντικαθιστούν 19 αποστραγγιστικούς ανεμόμυλους του 1740 για άντληση 81000 m^3/h, ενώ οι σύγχρονες φυγοκεντρικές αντλίες μπορούν να επιτύχουν παροχή 500 m^3/h στα 60 m.

7. Βιβλιογραφικές Αναφορές

Agricola G., *De re metallica* 1556, H. Hoover ed., London 1912

Al-Hassan, Ahmad Y., *Taqi al-Din and Arabic Mechanical Engineering*, with an offset copy of MS Chester Beatty No. 5232, Institute for the History of Arabic Science, University of Aleppo, 1976, pp. 38-42

Al-Jazari, *Al-Jami` bayn al-`ilm wa al-`amal al-nafi` fi sina`at al-hiyal (A Compendium on the Theory and Practice of the Mechanical Arts),* ed. Ahmad Y. al-Hassan, Institute for the History of Arabic Science, University of Aleppo, 1979, p. 457.

Angelakis A. N., Dialynas M. G. and Despotakis V*., Evolution of Water Supply Technologies in Crete, Greece Through the Centuries. In: Evolution of Water supply Throughout Millenia,* IWA Publishing, London 2012

ASME (The American Society of Mechanical Engineers), *Noria al-Muhammadiyya: Historic Mechanical Engineering Landmark*, Hama 2006.

Carra de Vaux B*., Le livre des appareils pneumatiques et des machines hydrauliques de Philon de Byzance d'après les versions arabes d'Oxford et de Constantinople,* Academie des Inscriptions et des Belles Lettres: Notices et extraits des mss. de la Bibliothèque Nationale, Paris 1903

Chambers W., Chambers R., *Twentieth Century Dictionary*, ed. Davidson Thomas, London 1903

Egan L. A., *The experiences of IDE in the mass marketing of small-scale affordable irrigation devices*, Irrigation technology transfer in support of food security (Water Reports - 14), FAO, Colorado 1997

Ewbank T., *A Descriptive and Historical Account of Hydraulic and other Machines for Raising Water*, Appleton D. and Company, New York 1842.

Fraenkel P.L., *Water Lifting Devices*, Food and Agriculture Organization of the Nations, Rome 1986

Fraenkel P.L.,Thake J., *Water Pumping Devices – A Handbook 3rd edition*, pub. Practical Action, UK 2006

Friedrich R., *Traditional Domestic Architecture of the Arab Region*, ed. Axel Menges, NCSU Libraries, Stuttgart 2000

Jacomy B., *Συνοπτική Ιστορία των Τεχνικών*, Πολιτιστικό Ίδρυμα ΕΤΒΑ, Αθήνα 1995

Kennedy W. K. and Rogers T. A., *Human and Animal-Powered Water Lifting Devices*, Intermediate Technology Publications, London 1985

Klassen, *The Rower Pump*, Proceedings of FAO/DANIDA Workshop on Water-Lifting Devices in Asia and the Near East, Bangkok 1979

Kotsanas K., *Hellenic Ancient Technology*, Pyrgos 2013

Koytsogiannis D. and Angelakis A. N., *Hydrologic and Hydraulic Science and Technology in Ancient Greece*, Encyclopedia of Water Science, Marcel Dekker Inc., New York 2003

Landels J. G., *Engineering in the Ancient World*, London, 1978.

Nguyen Trong Lac, *Norias in Vietnam*, proc. FAO/DANIDA Workshop on Water Lifting Devices in Asia and the Near East, Bangkok 1979

Oleson J. P., *Greek and Roman Mechanical Water-Lifting Devices: The History of a Technology*, Toronto 1984

Olley J., *Human and Animal Powered Water-lifting devices for Irrigation*, Technical Brief, pub. Practical Action, UK 2008

Palmer R. E., «Notes on Some Ancient Mine Equipments and Systems», *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy 36*, 1926-27

Peace Corps, *Wind Systems for Pumping Water: A Training Manual,* Information Collection and Exchange, Washington 1984

Rosen W., *A Great Company of Men. The Most Powerful Idea in the World*, Random House, New York, 2010.

Schioler T., *General Background Paper on Water-Lifting Devices for Irrigation*, Proceedings of FAO/DANIDA Workshop on Water-Lifting Devices in Asia and the Near East, Bangkok, 1979

Schioler T., *Roman and Islamic Water Lifting Wheels*, Odense University Press 1973

Schmidt W., *Heronis Opera I-V*, Teubner, Leipzig 1899

Slater G., *Some South Indian Villages*, pub. H. Milford, Oxford University Press, London 1918

Stokhuyzen F., *The Dutch Windmill*, pub. C.A.J.van Dishoeck, Den Haag 1962

Vitruvius, The Ten Books on Architecture, Harvard University Press, London 1914

Walters H. B., *A Guide to the Exhibition illustrating Greek and roman Life, British Museum*, 1920, β' εκδ.

Yannopoulos S., Lyberatos G., Angelakis A., Theodossiou N., *Water Pumps through the Ages*, IWA Regional Symposium on Water, Wastewater and Environment: Traditions and Culture, Patras 2014

Ακριτίδης Κ., *Αντλίες: τύποι, επιλογή, λειτουργία, εγκατάσταση*, εκδ. Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη 1985

Βιτρούβιος, *Περί Αρχιτεκτονικής*, απόδ.-επιμέλεια Στέλιος Χ. Ζερεφός, εκδ. Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη 1997

Διόδωρος ο Σικελιώτης, Ιστορική Βιβλιοθήκη, Ι 34

Ήρων ο Αλεξανδεύς, *Πνευματικά,* απόδοση Schmidt W., Teubner, Leipzig 1899

Κάβουρα Α., Αναστασίου Δ., Φιλιππίδου Α., Αργυράκης Χ., παρουσίαση από *Εκπαιδευτική εκδρομή στα υδραυλικά της Ολλανδίας*, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος Ε.ΜΠ., Αθήνα 2013

Κανάβας Κ., *Θαυμαστές Μηχανές από την Ανατολή*, Αρχαιολογία τεύχος 96 σελ. 64-72, 2005

Λάζος Χ., *Υδραυλικά Όργανα και Μηχανισμοί στην Αίγυπτο των Πτολεμαίων*, Εκδόσεις Αίολος, Αθήνα 1999.

Λιλιμπάκης Γ., *Χωροταξική Μελέτη Αιολικού Πάρκου,* Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Ηράκλειο Κρήτης 2007

Λυγερός Α.Ι., *Διακίνηση Ρευστών*, εκδ. Ε.ΜΠ., Αθήνα 2005

Διαδίκτυο

Dodge D. M., *Illustrated history of wind power development,* http://telosnet.com/wind/index.html, 2006

Gomez H., σχέδιο *σαντούφ για την ανύψωση νερού στο Νείλο,* https://echino.files.wordpress.com/2007/12/chadouf-web2.jpg

Granger Collection, www.granger.com

Salters B., W.P. Law Inc. http://www.irrigationmuseum.org/photos/Shaduf.jpg

Sava pump, *Water Pump History*, http://www.savapump.com, 2012

Βρετανικό Μουσείο, www.britishmuseum.org

Μητροπολιτικό Μουσείο Τέχνης Νέας Υόρκης, www.metmuseum.org

http://collections.infocollections.org/ukedu/en/d/Jh1064e/5.5.html

http://telosnet.com/wind/index.html

https://echino.files.wordpress.com

www.akvo.org

www.allweilerfarid.com

www.ancitech.wordpress.com

www.aqysta.com

www.archimedesclock.gr

www.bbc.co.uk/ahistoryoftheworld/objects/2XYb6h9ESdaKeu0Vn479TA

www.britishmuseum.org

www.colin-julie.com

www.cs.drexel.edu

www.engineersedge.com

www.flickr.com/photos/rougetete/8138025974/in/photostream

www.greatmirror.com

www.haniotika-nea.gr

www.holland.com

www.ironmanwindmill.com

www.irrigationmuseum.org

www.kotsanas.com

www.machinerylubrication.com/Read/1294/noria-history

www.math.nyu.edu

www.metmuseum.org

www.minervaclassics.com

www.nationaldriller.com

www.pixelio.de

www.pixshark.com

www.practicalaction.com

www.renewableenergyworld.com

www.romanaqueducts.info

www.sanjakdar-chaarani.com

www.savapump.com

www.spaansbabcock.com

www.thehomesteadsurvival.com

www.thewaterproject.org

www.tradeindia.com

www.waymarking.com

www.wikimedia.com

www.wikipedia.com