



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΗΜΕΡΙΔΑΣ PROCEEDINGS

“ΥΔΡΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ”
“HYDROTECHNOLOGIES IN ANCIENT GREECE”

22 Μαρτίου 2013 / 22 March 2013
Θεσσαλονίκη / Thessaloniki

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΗΜΕΡΙΔΑΣ

ΥΔΡΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

Επιμέλεια Έκδοσης

Κώστας Βουδούρης

Θεσσαλονίκη 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ CONTENTS

Πρόλογος/Preface	7
Θεοδόσης Τάσιος	11
Ποικίλα θέματα υδατικής τεχνολογίας στην Αρχαία Ελλάδα	
T.P. Tassios	15
Selected Topics of Water Technology in Ancient Greece	
Νίκος Μαμάσης και Δημήτρης Κουτσογιάννης	19
Εξερεύνηση της αρχαιοελληνικής υδραυλικής τεχνολογίας με τη χρήση διαδικτυακής βάσης δεδομένων	
Nikos Mamassis and Demetris Koutsoyiannis	23
Exploration of ancient Greek water technologies using a WEB based information system	
Ανδρέας Ν. Αγγελάκης	27
Υδροτεχνολογίες στην Αρχαία Κρήτη	
Andreas N. Aggelakis	31
On Hydro-Technologies in Ancient Crete, Hellas	
Κώστας Βουδούρης	35
Έργα αξιοποίησης του υπόγειου νερού από την αρχαιότητα έως σήμερα	
Kostas Voudouris	41
The hydraulic works of groundwater exploitation through the centuries	
Ασημίνα Καϊάφα και Γεώργιος Καραδέδος	43
Έργα ύδρευσης και αποχέτευσης στη Μακεδονία (από τους προϊστορικούς χρόνους έως τη ρωμαϊκή εποχή)	
A. Kaifa, G. Karadedos	49
Urban water and waste water systems in ancient Macedonia	

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το νερό είναι αναγνωρισμένο από τον Ο.Η.Ε., όχι ως ένα κοινό οικονομικό προϊόν, αλλά ως ένα κοινωνικό αγαθό και μια περιβαλλοντική και πολιτιστική κληρονομιά.

Είναι σαφές ότι το περιβάλλον, δηλαδή οι φυσικοί πόροι, στηρίζουν την ανάπτυξη. Σε μια εποχή όπου το μεγάλο ζητούμενο στη χώρα μας είναι η οικονομική ανάπτυξη είναι περισσότερο από βέβαιο ότι αυτή δε θα έρθει παρά μόνο μέσα από έναν επαναπροσδιορισμό της περιβαλλοντικής πολιτικής της χώρας ιδίως της πολιτικής η οποία ακολουθείται σε θέματα διαχείρισης νερού. Κι αυτό γιατί το νερό αποτελεί βασική προϋπόθεση για σχεδόν όλες τις οικονομικές δραστηριότητες, ειδικότερα, την παραγωγή τροφίμων και την ασφάλεια, την ύδρευση, την ενέργεια, τη βιομηχανία, τον τουρισμό, την υγεία. Η εκπλήρωση των βασικών ανθρώπινων αναγκών, το ίδιο το περιβάλλον μας, η κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη, σε μεγάλο βαθμό εξαρτώνται από το νερό.

Ο πολυδιάστατος ρόλος του νερού απαιτεί τη διεπιστημονική προσέγγιση αντλώντας από τις φυσικές και κοινωνικές επιστήμες, τον πολιτισμό, την εκπαίδευση και την επικοινωνία, αναδεικνύοντας τις θρησκευτικές, ηθικές, κοινωνικές, πολιτικές, νομικές, και οικονομικές διαστάσεις του νερού που συνολικά συμβάλλουν στη διαχείριση του σε ολόκληρο τον πλανήτη.

Το Κέντρο Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Υδάτων (ΚΕ.Ο.Δ.Υ.) ιδρύθηκε από τη Σύγκλητο του ΑΠΘ και σκοπός του είναι η διεπιστημονική έρευνα της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδάτων. Η διεπιστημονικότητα εξασφαλίζεται με την πληρότητα του ΑΠΘ αναφορικά με συναφείς ειδικότητες από το σύνολο των 13 Τμημάτων που εμπλέκονται ενεργά σε έρευνα, μελέτη και εκπαίδευση σε όλο το φάσμα της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδάτων.

Οι δραστηριότητες του ΚΕΟΔΥ συνοψίζονται στην ενασχόληση με επιστημονικά και τεχνικά θέματα που αφορούν στην ολοκληρωμένη διαχείριση των υδάτων καταδεικνύοντας καταρχήν τη συμβολή του ΑΠΘ στην έρευνα και την εκπαίδευση σε αντικείμενα αιχμής, συγχρόνως όμως ενισχύοντας τη διεπιστημονική συνεργασία μεταξύ εκπαιδευτικών ιδρυμάτων της χώρας και του εξωτερικού που εξειδικεύονται σε ανάλογα ζητήματα, συνδέοντας το πανεπιστήμιο με την κοινωνία και ενδυναμώνοντας την εξωστρέφεια του Ιδρύματος.

Βασικά πλεονεκτήματα της χώρας μας αποτελούν το ανθρώπινο δυναμικό της, ο φυσικός πλούτος της, η ιστορική παράδοση και ο πολιτισμός της. Το νερό ήταν είναι και θα είναι αναπόσπαστο κομμάτι της Ελληνικής παράδοσης και της πολιτιστικής μας κληρονομιάς. Το Κέντρο Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Υδάτων (ΚΕ.Ο.Δ.Υ.) του ΑΠΘ, αξιοποιώντας το εξαιρετικό ανθρώπινο επιστημονικό δυναμικό τόσο του ΑΠΘ όσο και άλλων πανεπιστημίων της χώρας, αποφάσισε να προβάλλει τη διάσταση εκείνη του πολύτιμου φυσικού πόρου, του νερού, που συνδέεται άρρηκτα με την ιστορία και τον πολιτισμό μας διοργανώνοντας ημερίδα με θέμα «Υδροτεχνολογίες στην Αρχαία Ελλάδα».

Η θεματολογία της ημερίδας αποσκοπεί στην ανάδειξη των υδραυλικών έργων της αρχαιότητας ως στοιχείων της πολιτιστικής κληρονομιάς μας. Τα έργα αυτά λειτούργησαν αποτελεσματικά για πάνω από 5.000 χρόνια αποτελώντας δείκτες οικονομικής, κοινωνικής, αλλά και πολιτιστικής ανάπτυξης. Η μελέτη των έργων της αρχαιότητας μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση σημερινών υδατικών προβλημάτων σε πολλές περιοχές της χώρας μας και της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου.

Οι εργασίες που περιέχονται σ' αυτά τα πρακτικά έχουν γραφτεί από ειδικούς διακεκριμένους επιστήμονες και πιστεύεται ότι θα συμβάλλουν ουσιαστικά στην ανάδειξη του θέματος και στη διευκόλυνση όσων επιθυμούν να διερευνήσουν περαιτέρω το ζήτημα.

Ευχαριστίες στο Δ.Σ. του ΚΕ.Ο.Δ.Υ. και σε όλους όσους εργάστηκαν για την έκδοση αυτών των πρακτικών.

Ελπίδα Γ. Κολοκυθά

Επικ. Καθηγήτρια Τμ. Πολιτικών Μηχανικών

Πρόεδρος του Δ.Σ. του ΚΕ.Ο.Δ.Υ.



Επιστημονική Επιτροπή

Ιάκωβος Γκανούλης – Πρόεδρος
Μαρία Λαζαρίδου – Αν. Πρόεδρος
Θωμάς Λαναράς
Κωνσταντίνος Κατσιφαράκης
Μαργαρίτης Βαφειάδης
Βασίλειος Αντωνόπουλος
Επαμεινώνδας Σιδηρόπουλος
Παναγιώτης Στεφανίδης
Κωνσταντίνη Σαμαρά

Διοικητικό Συμβούλιο

Ελπίδα Κολοκυθά – Πρόεδρος
Κωνσταντίνος Βουδούρης – Αν. Πρόεδρος
Μαρία Μουστάκα – Γραμματέας
Νικόλαος Θεοδοσίου – Ταμίας
Δημήτριος Καρπούζος
Διονύσιος Λατινόπουλος
Μάριος Σαπουντζής

Ποικίλα θέματα υδατικής τεχνολογίας στην Αρχαία Ελλάδα

Θεοδόσης Τάσιος
Ομότιμος Καθηγητής ΕΜΠ

Εισαγωγή

Εν αντιθέσει με την Μεσοποταμίαν και τον Αιγυπτιακό πολιτισμό που άνθησαν μέσα σε μιαν αφθονία καλλιεργήσιμων γαιών και πλούσιων ποταμών, οι περιοχές που κατοικούνταν απ' τα Ελληνικά Φύλα απ' την 2^η χιλιετία π.Χ., ήσαν κατά το μάλλον ορεινές, με λίγες ημίξηρες (και εποχιακώς κατακλυζόμενες) καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Επομένως, οι αντίστοιχοι πολιτισμοί αναμένεται ότι θα είχαν διαφορές, που θα επηρεάζονταν απ' αυτά τα διαφορετικά φυσικά περιβάλλοντα. Ευλόγως αναμένεται ότι οι Έλληνες έδωσαν έμφαση στα εγγειοβελτιωτικά έργα, στη μηχανοποίηση των συστημάτων άντλησης ύδατος και στην επιμελημένη υδροδότηση πόλεων. Αυτά είναι τα θέματα με τα οποία θα ασχοληθούμε σ' αυτό το άρθρο.

Αντιπλημμυρικά και αποξηραντικά έργα

α) Μυκηναϊκή περίοδος

Η προχωρημένη υδροτεχνολογία των Μυκηναίων απ' τα μέσα της 2^{ης} χιλιετίας π.Χ., εντυπωσιάζει με τον ορθολογισμό της, τις εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, καθώς και με την αποδοτικότητά της. Βασιζόμενοι στα παραδείγματα των αντιπλημμυρικών έργων του Φενεού, της Τίρυνθος, της Θίσβης και της Κωπαΐδος (Knauss, 2003), μπορούμε να περιγράψουμε τα χαρακτηριστικά τους ως εξής.

Λύση πρώτη: Τα ύδατα πλημμυρίζοντας χειμάρρου συγκεντρώνονται σε μια τεχνητή λίμνη που δημιουργείται μέσω γεωφράγματος που καλύπτεται από τοιχοποιία.

Λύση δεύτερη: Όταν μια τέτοια τεχνητή λίμνη δεν επαρκούσε (ή δεν ήταν καν εφικτή), ακολουθούσαν μια άλλη λύση. Πρώτον, ο χειμάρρος εξετρέπετο εκτός των καλλιεργήσιμων γαιών μέσω κατάλληλης ευρείας διώρυγας. Δεύτερον, αυτή η διώρυγα επεκτεινόταν γύρω στην περίμετρο της κοιλάδας (δίπλα στους γύρω λόφους), έτσι ώστε να διευκολύνεται η αποστράγγιση μέσα από υφιστάμενες καταβόθρες του καρστικού ασβεστολίθου αυτών των λόφων.

Σ' αυτές τις κατηγορίες λύσεων ανήκουν τα θαυμαστά έργα του δεύτερου αποξηραντικού έργου της Κωπαΐδος κατά τον 14^ο και τον 13^ο αιώνα π.Χ.

β) Κλασική και Ελληνιστική περίοδος

Θα αναφερθώ μόνον στην πιο καλά τεκμηριωμένη περίπτωση Β.Ο.Τ. της ελληνικής αρχαιότητας: την αποξήρανση της λίμνης των Πτεχών, στην περιφέρεια της Ερέτριας στην Εύβοια, κατά τον 4^ο αιώνα π.Χ. Η πρώτη (πλήρως καπιταλιστική) σύμβαση ενός τέτοιου έργου είναι γραμμένη στην στήλη ΕΜ 11553 του Επιγραφικού Μουσείου των Αθηνών.

Αντλητικά συστήματα

Αντλητικές εγκαταστάσεις είχαν εφευρεθεί από πολύ νωρίς στη Μεσοποταμία. Η τεχνολογία των αντλήσεων πάντως μηχανοποιήθηκε μόνον κατά την Ελληνιστική περίοδο (Humphrey et al., 1998). Σ' αυτά που ακολουθούν, υπομνησκονται αυτά τα μηχανοποιημένα αντλητικά συστήματα των Ελλήνων που είχαν την τύχη να ζήσουν ή να σπουδάσουν στην Αλεξάνδρεια εκείνους τους καιρούς (3^{ος} και 2^{ος} αιώνας π.Χ.). Προς τούτο, «οι μόνες και καλύτερες σωζόμενες περιγραφές αντλητικών συστημάτων της Ελληνιστικής περιόδου στο Μουσείο της Αλεξάνδρειας είναι ο Βιτρούβιος (Humphrey et al., 1998, 310). Άλλωστε, αυτός ο πρώτος Ρωμαίος τεχνικός συγγραφέας (μετά τον 1^{ον} αιώνα π.Χ.) γενναιοφρόνως μνημονεύει εκατό ελληνικές πηγές και συνεχώς χρησιμοποιεί ελληνικούς τεχνικούς όρους. Επί του θέματός μας, η λέξη «αντλία» και όλα τα ανυψωτικά συστήματα ύδατος, είχε χρησιμοποιηθεί ήδη απ' τον Λουκρήτιο, κατά έναν αιώνα αρχαιότερο του Βιτρούβιου, (Oleson, 1984, 62):

- Το τύμπανον (Βιτρούβιος, 10.4.1.2)
- Τροχός με περιφερειακά σιδηρά διαμερίσματα (Βιτρούβιος, 10.4.3).
- Το μάγγανον, καδοφόρος άλυσσις (Βιτρούβιος, 10.4.4).
- Υδατοκίνητος καδοφόρος αντλητικός τροχός (Φίλων ο Βυζάντιος, Πνευματικά, 65): Ο τροχός του μάγγανου καταβιβάζεται στη στάθμη ρέοντος ύδατος που τον περιστρέφει, κινώντας την καδοφόρο αλυσίδα.
- Η ελικοειδής αντλία του Αρχιμήδους, (Βιτρούβιος, 10.6.1.4)
- Η εμβολοφόρος αντλία του Κτησιβίου (Φίλων ο Βυζάντιος, Πνευματικά, παρ. 1, κεφ. 2), (Ηρων ο Αλεξανδρεύς, Πνευματικά, 1.28): Κι έτσι φθάνομε στην κορύφωση της ελληνικής Τεχνολογίας του 3^{ου} αιώνα π.Χ. «το περιπλοκότερο εξόχως μηχανοποιημένο τέχνημα, το οποίο τοποθετείται μέσα στο προς άντληση νερό και το καταθλίβει μέσω σωλήνος παροχής, χάρις στην κίνηση εμβόλων εντός δύο κυλίνδρων» (Humphrey et al., 1998, 318).

Υδρευση Πόλεων

Δεν υπήρχε ελληνική Πόλις χωρίς ένα επιμελημένο σύστημα ύδρευσης: γι' αυτό κι ο Πausanias δεν καταδέχθηκε να ονομάσει «Πόλιν» την ερειπωμένη παλαιά δοξασμένη πόλη του Πανοπέως, αφού οι κάτοικοί-της δεν διέθεταν πλέον ύδρευση.

α) **Μυκηναϊκές πόλεις:** Θα περιγράψω συνοπτικώς τους υπόγειους φρεατοθαλάμους, κατά τις απόψεις του Knauss (2006), και θα περιορίσω αυτήν την παρουσίαση μόνον σ' εκείνες τις κατασκευές που είναι χαρακτηριστικότερες της μυκηναϊκής οικοδομικής, δηλαδή: θολωτός υπόγειος διάδρομος και οι θάλαμοι των πηγών.

β) **Αθήνα,** Πεισιστράτειον υδραγωγείον: Τα υπόγεια υδραγωγεία (του λεγομένου «Πεισιστρατείου») είναι τυπικό παράδειγμα των εγκαταστάσεων ύδρευσης των ελληνικών πόλεων κατά την αρχαϊκή και την κλασική εποχή.

γ) **Μέγαρα**, Η τυπική δεξαμενή του Θεαγένους: Τα Μέγαρα, η δοξασμένη και άτυχη δωρική πόλη, κειμένη μεταξύ δύο αντιπάλων πόλεων (της Κορίνθου και των Αθηνών), και πατρίδα μεγάλου αριθμού σημαντικών Μηχανικών της ελληνικής αρχαιότητας, διαθέτει την καλύτερα διατηρημένη δεξαμενή υδρεύσεως πίσω απ' την κρήνη. Ύψος σωζομένων τοίχων και στύλων, ένα δυό μέτρα. Η στέγη φερόταν απο πέντε σειρές επτά οκταγωνικής διατομής που σώζονται στη θέση τους.

δ) **Πέργαμος**: Το αριστούργημα ύδρευσης ελληνιστικής πόλεως: «Κατά την Ελληνιστική εποχή επέρχεται η έκρηξη της Υδραυλικής» (Α. Trevor Hodge, 1992), η οποία οφείλεται:

α) στις πολιτικές και οικονομικές εξελίξεις τις οφειλόμενες στους Διαδόχους του Μεγαλέξανδρου και

β) στις προόδους της ελληνιστικής επιστήμης που έδωσε στον υδραυλικό Μηχανικό μια εντελώς νέα διάσταση τεχνικής γνώσης (σελ. 31, 32). Κατά την περίοδο αυτήν, τα εξωτερικά υδραγωγεία της πόλεως ήσαν πολύ μεγαλύτερου μήκους (40 km ήταν τώρα μια εφικτή απόσταση). Το κύριο όμως χαρακτηριστικό της ελληνικής μηχανοτεχνίας ήταν ότι τα υδραγωγεία περνούσαν βαθιές κοιλάδες μέσω υπόγειων σωληνώσεων – κι όχι μέσω υδατογεφυρών. Έτσι, αναποφεύκτως έκαμαν την παρουσία τους οι ανεστραμμένοι σίφωνες υπό πίεση (λίθινοι έως και μολύβδινοι σωλήνες).

Αναφορές/ References

Humphrey, J.W., Oleson, J.P., Sherwood, A.N. (1998): Greek and Roman Technology: A Sourcebook: Annotated Translations of Greek and Latin Texts and Documents. New York University Libraries.

Humphrey, J.W. (2006): Ancient Technology, pp. 248.

Trevor Hodge, A. (1992): Roman Aqueducts and Water Supply. Duckworth Archaeology.

Knauss, J. (2003): Arcadian and Boiotian Orchomenos, centres of Mycenaean hydraulic engineering. Irrigation and Drainage Systems 5, 363-381.

Knauss, J. (2006): Ancient Persia and the Caucasus. Iranica Antiqua. Vol. XLI, 79-118.

Selected Topics of Water Technology in Ancient Greece

T.P. Tassios

Sch. of Civil Eng. Nat. Tech. University, Athens, Greece, tassios@central.ntua.gr

1. Introduction

As opposed to Mesopotamian and Egyptian civilizations, which flourished in abundance of cultivable lands and wealthy rivers, the regions occupied by the Greek tribes, since the 2nd millennium BC, were mountainous, with few (semiarid and occasionally flooded) cultivable lands. Consequently, in the respective Cultures, one should expect differences reflecting somehow these different natural environments. We may reasonably expect that the Greeks had given the emphasis to land reclamation, mechanization of water-lifting devices, and sophisticated water-supply of cities. These are the topics I wish to elaborate upon in this lecture.

2. Flood Control and Land-Reclamation Works

2.1 Mycenaean period

The advanced hydraulic technology developed by the Mycenaeans since the middle of the 2nd millennium BC, is very impressive by its rationality, the large scale of its applications, as well as by its efficiency. Based on the examples of such flood-control works executed in Pheneos, Tiryns, Thisbē and Kopais (Knauss, 2003), one may describe their basic characteristics as follows.

First solution: The waters of the flooding torrent are contained in an artificial lake created by means of an earth dam, covered by a protective layer of masonry.

Second solution: When such an artificial lake was not sufficient (or perhaps was not feasible at all), another solution was followed. First, the torrent is deviated outside the cultivated lands by means of an appropriate large channel. Secondly, this channel is extended towards the perimeter of the valley, close to the surrounding hills, so that the outflow of water be facilitated through existing cesspits in the karstic limestones of these hills (Fig. 1). In this category of solutions belong the marvelous works of the second drainage system of Kopais, during the 14th and the 13th century BC.

2.2 Classical and Hellenistic period

I will deal only with a better documented BOT project of the Greek antiquity, i.e. the drainage of the lake Ptekhæ, belonging to the city of Eretria, in the peninsula of Euboea, during the 4th century BC

The first full contract of such a “capitalistic” construction-scheme in history, seems to be the text written on the stele EM11553, Museum of Inscriptions, Athens, Greece.



Figure 1: The remnants of the lateral fill, shaping one side of the channel collecting river-waters.

3. Water-lifting Devices

Water-lifting installations were devised since the very early times in Mesopotamia. The technology of lifting water, however, did not become mechanised until the Hellenistic period (Humphrey et al., 1998). In what follows, a brief reminder is presented of these mechanised lifting-water devices of the Greeks, who had the chance to live or just to study in Alexandria of those times (3rd century BC to 2nd century AD). To this end, “the best single surviving description of the water-lifting devices developed in the Hellenistic period at the Museum of Alexandria is Vitruvius” (Humphrey et al., 1998: 310).

Afterall, this first Roman technical writer (middle of 1st century BC) is generous in making more than one hundred references to Greek sources and he is constantly using greek technical terms. In our specific content, the word “αντλία” (pump) for all water lifting devices was already used by Lucretius (one generation older than Vitruvius) (Oleson, 1984:62).

- The “tympanon” (drum) (Vitruvius, 10.4.1-2).
- Wheel with “Compartmented Iron” (Vitruvius, 10.4.3.).
- The “Manganon” or wheel-driven Bucket-Chain (Vitruvius, 10.4.4.).
- Water powered wheel with bucket-chain (Philo of Byzantium, Pneumatics, 65).
- The Arcimēdēs water-screw (Vitruvius, 10.6.1-4).
- The Ctesibian force-pump (Philo of Byzantium, Pneumatics, app.1, chap.2) (Hero of Alexandria, Pneumatics 1.28): And this brings us to the culmination of the

Greek Technology of the 3rd century BC, “the most complex highly mechanised device which sits in the water it is intended to lift, and pushes it up a discharge tube, by the movement of pistons working in a pair of cylinders”, (Humphrey et al., 1998:318).

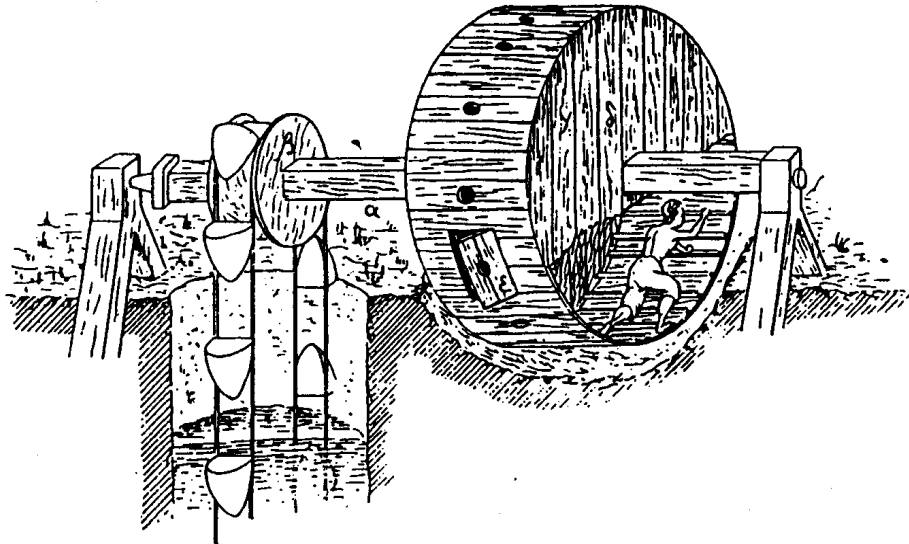


Figure 2: The wheel-driven bucket-chain, following the tradition of Philo (Carra de Vaux representation, in Oleson J., Toronto, 1984).

4. Water Supply

There was no greek city without an elaborated water supply system; that is why Pausanias does not condescent to call “city” the destituted old glorious town of Panopeus: its inhabitants had no water-supply system anymore.

Mycenaean cities. I will briefly describe first the underground well-houses, following the views of Knauss (2006), and I will restrict this presentation only to those structures which are more characteristic to the building techniques of the Mycenaean, i.e. the vaulting of access tunnels and spring chambers.

Athens: The Peisistraton Aqueduct. The subterranean aqueducts of Peisistratos are a typical example of water-supply facilities in Greek cities during the archaic and classical period (Fig. 3).

Megara: The typical water-reservoir of Theagenēs.

Megara was a glorious (and unlucky) Doric city in the middle of two rival cities, Korinth and Athens, and native land of the larger number of good engineers of the greek Antiquity. The aqueduct of Megara (ca. 500 BC) is not yet completely uncovered, but its terminal water-tank and krēnē is preserved up to a height of some meters. The protective roof was supported by five rows of seven octagonal columns, mostly preserved in situ.

Pergamos: The masterpiece of water supply of Hellenistic cities.

“It is the Hellenistic age that the great breakthrough comes [in Hydraulics]” A. Trevor Hodge, 1992.

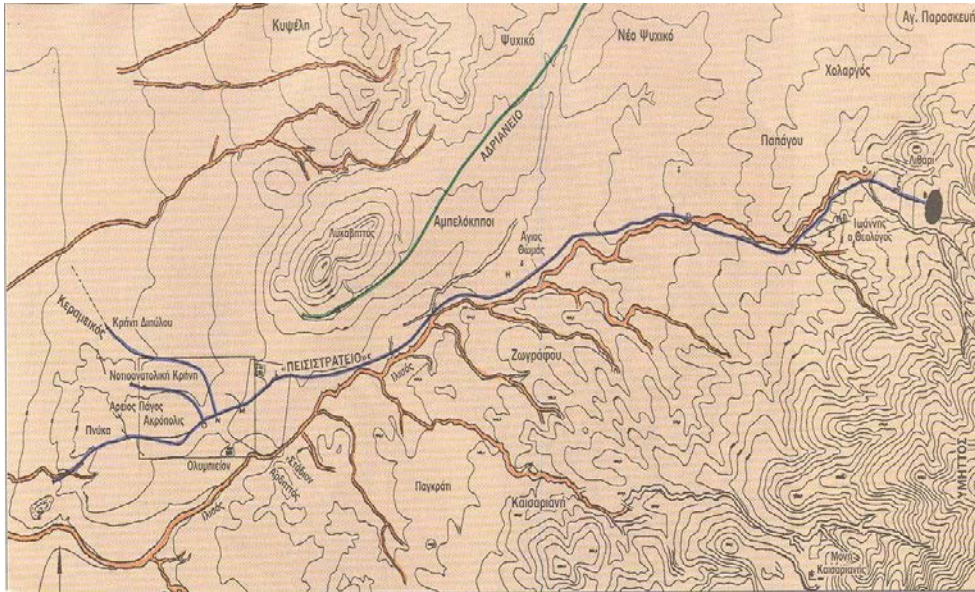


Figure 3: Lay out of the Peisistratos and Hadrian aqueducts in Athens.

Following the views of A. Trevor Hodge, the Hellenistic breakthrough is due to (a) the political and economic developments due to the successors of Alexander the Great, and (b) the progress in Hellenistic science which gave to the hydraulic Engineer a whole new dimension of technical expertise (p. 31, 32). During this period, aqueducts outside the city were much longer (40 km stretches were now feasible). The main characteristics of the Greek engineering, however, was still observed: Valleys were crossed by means of subterranean conduits – not bridges. Thus, inevitably “inverted siphons” under pressure were to be built! by means of stone or lead pipes.

Εξερεύνηση της αρχαιοελληνικής υδραυλικής τεχνολογίας με τη χρήση διαδικτυακής βάσης δεδομένων

Νίκος Μαμάσης και Δημήτρης Κουτσογιάννης

*Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*

1. Εισαγωγή

Στην εργασία παρουσιάζεται μια διαδικτυακή βάση δεδομένων που έχει ως στόχο την υποστήριξη της μελέτης της αρχαίας ελληνικής υδραυλικής τεχνολογίας. Η περιήγηση στο υλικό της βάσης επιτρέπει την εξερεύνηση διαφόρων πτυχών της σχέσης των αρχαίων Ελλήνων με το νερό και τις υδραυλικές κατασκευές.

Είναι προφανές ότι το κλίμα και το υδρολογικό καθεστώς μιας περιοχής συνδέονται άμεσα με το είδος και την έκταση των έργων. Οι αρχαίοι ελληνικοί πολιτισμοί άνθισαν σε ξηρό κλίμα όπως άλλωστε και άλλοι αρχαίοι πολιτισμοί (Σουμέριοι, Αιγύπτιοι). Η διαφορά ήταν ότι οι ελληνικοί πολιτισμοί άνθισαν σε περιοχές που δεν διάθεταν σημαντικούς υδατικούς πόρους (π.χ. μεγάλα ποτάμια) αλλά περιορισμένους και ανεπαρκείς για την τότε κλίμακα με αποτέλεσμα να απαιτούνται υδραυλικά έργα και τεχνικές διαχείρισης.

Οι αρχαίοι Έλληνες συνδύασαν την υδραυλική τεχνολογία με την κατανόηση των υδρολογικών διεργασιών ώστε να καλύψουν μια σειρά από υδατικές ανάγκες όπως

- Παροχή αστικού και αρδευτικού νερού·
- Αποστράγγιση και αποχέτευση ομβρίων·
- Αντιπλημμυρική προστασία·
- Εγκαταστάσεις υγιεινής·
- Αναψυχή.

Πολλές αρχαίες υδραυλικές κατασκευές έχουν διασωθεί στον ελληνικό χώρο ως αποτέλεσμα μιας ιστορίας 4000 ετών. Περιλαμβάνεται ένας μεγάλος αριθμός από απλές (δεξαμενές, μάνια, πηγάδια, υδραγωγεία, πήλινοι αγωγοί, συστήματα κατακράτησης φερτών) και σύνθετες κατασκευές (φράγματα, σήραγγες, σίφωνες).

Ακόμη στην αρχαία βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές αναφορές για:


- Πρακτικές διαχείρισης νερού που εφαρμόζονταν σε πολλές ελληνικές πόλεις καθώς και σχετικοί νόμοι και κανονισμοί·
- Υδραυλικά έργα που δεν διασώθηκαν·
- Εντυπωσιακές εξηγήσεις για τις υδρομετεωρολογικές διεργασίες (εξάτμιση, συμπύκνωση, κατακρήμνιση)·
- Υδραυλικές συσκευές και μηχανισμούς.

Η συμβολή των Ελλήνων είναι ιδιαίτερα σημαντική όχι μόνο στην κατανόηση των υδρομετεωρολογικών διεργασιών αλλά και στη φιλοσοφική προσέγγιση του πώς κατανοούμε τον φυσικό κόσμο (Αριστοτέλειος συλλογισμός και επαγωγή).

2. Η βάση δεδομένων

Ο διαδικτυακός τόπος των αρχαίων Ελληνικών υδραυλικών έργων, που βρίσκεται στην ηλεκτρονική διεύθυνση www.itia.ntua.gr/ahw/works, παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Επίσης, οι συνιστώσες του συστήματος και οι εφαρμογές λογισμικού από τις οποίες αποτελείται παρουσιάζονται στο Σχήμα 2. Οι εφαρμογές λογισμικού που χρησιμοποιήθηκαν είναι ανοικτού κώδικα.

Σήμερα περιλαμβάνονται 128 αρχαία ελληνικά υδραυλικά έργα όλων των εποχών του αρχαίου ελληνικού πολιτισμού (Μινωική-Κυκλαδική, Μυκηναϊκή, Αρχαϊκή, Κλασσική, Ελληνιστική και Ρωμαϊκή).



ITIA
RESEARCH TEAM
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

Filter

Ανά construction era

- Όλα
- Minoan-Cycladic
- Mycenaean
- Archaic
- Classical
- Hellenistic
- Roman

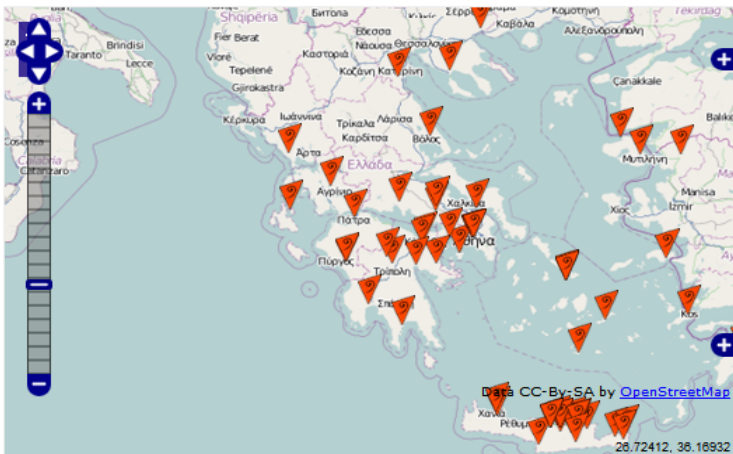
Ανά use

- Όλα
- Sanitary Facilities
- Urban Sewage
- Flood Prevention
- Land Drainage
- Urban Drainage
- Irrigation Water Supply
- Urban Water Supply

Ανά types

- Όλα
- Dykes
- Sewer Pipes
- Stream Control
- Dam
- Sedimentation Tank
- Water Distribution System
- Tunnel
- Siphon
- Bathtub
- Lavatory
- Fountain
- Well
- Cistern
- Aqueduct

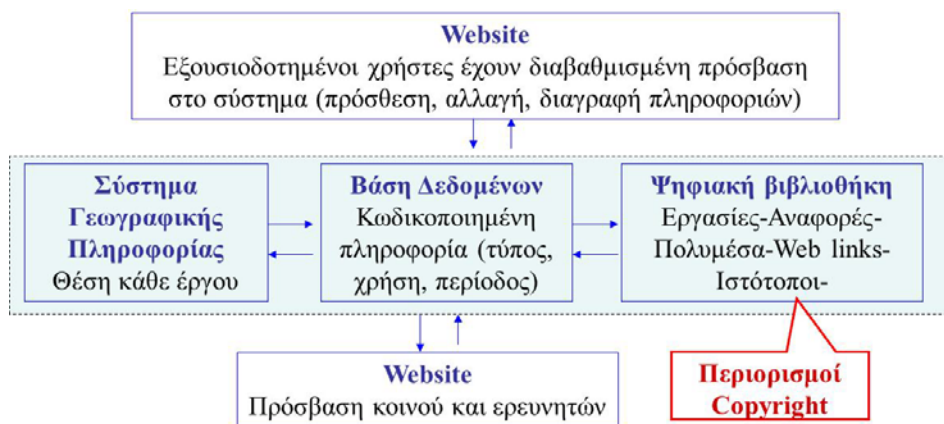
List of ancient hydraulic works



128 works

Hydrosystem	Work	Use	Construction era	Extras
Aegina	Aegina cistern	Urban Water Supply	Hellenistic	📄 🌐
Aitolia	Alysia dam	Flood Prevention	Classical	📄 🌐
	Oniades drainage	Land Drainage	Hellenistic	📄
	Stratos drainage	Land Drainage	Hellenistic	📄
Amorgos	Amorgos Lavatory	Urban Sewage	Hellenistic	📄 🌐

Σχήμα 1: Διαδικτυακός τόπος αρχαίων Ελληνικών υδραυλικών έργων.



Σχήμα 2: Εφαρμογές λογισμικού.

3. Επισκόπηση υλικού

Ο κύριος στόχος του συστήματος είναι η δημιουργία μιας δεξαμενής πληροφοριών σχετικών με την αρχαία ελληνική υδραυλική τεχνολογία. Η επισκόπηση των υλικού οδηγεί σε μια σειρά από παρατηρήσεις που παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια.

- Αειφορία κατασκευών. Πολλά έργα ήταν σε κατάσταση λειτουργίας μέχρι πολύ πρόσφατα ή είναι μέχρι σήμερα (Πεισιστράτειο, Αδριάνειο).
- Λειτουργία υδροσυστημάτων. Σε σημαντικές θέσεις ένα σύνολο έργων λειτουργούσε ως υδροσύστημα. Νόμοι και κανονισμοί για τη χρήση του νερού και συμμετοχή των πολιτών υποστήριζαν τη λειτουργία του συστήματος (Αθήνα, Μινωικά παλάτια). Ακόμη υιοθετήθηκαν πρακτικές διαχείρισης νερού που σήμερα χαρακτηρίζονται ως αειφορικές.
- Τεχνολογικά επιτεύγματα. Σε πολλά έργα, όπως στο Ευπαλίνειο όρυγμα, και τον σίφωνα της Περγάμου, εφαρμόστηκαν προχωρημένες τεχνικές, αξιοθαύμαστες ακόμη και σήμερα.
- Επιλογή έργων ανάλογα με τα κοινωνικά χαρακτηριστικά. Σε ορισμένες εποχές επιλεγόταν η κατασκευή μεγάλων έργων ενώ σε άλλες πιο ήπιες κατασκευές (τυραννία στην Αθήνα: Πεισιστράτειο υδραγωγείο – δημοκρατική Αθήνα: έμφαση στις δεξαμενές συλλογής ομβρίων).
- Ποιότητα ζωής. Σε πολλές θέσεις υπάρχουν εγκαταστάσεις υγιεινής (τουαλέτες, μπανιέρες) οι οποίες συγκρίνονται με σημερινές. Οι αρχαίοι ανέπτυξαν υψηλό βιοτικό επίπεδο σχετικό με τη χρήση νερού.
- Ανάπτυξη επιστήμης. Δόθηκαν πολλές επιστημονικές εξηγήσεις για τα υδρομετεωρολογικά φαινόμενα που στη συνέχεια αξιοποιήθηκαν για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, κυρίως στους Ελληνιστικούς και Ρωμαϊκούς χρόνους.

Exploration of ancient Greek water technologies using a WEB based information system

Nikos Mamassis and Demetris Koutsoyiannis

Department of Water Resources, School of Civil Engineering, National Technical University of Athens, Heroon Polytechniou 5, GR 15780 Zographou, Greece

Most ancient civilizations exploited water resources constructing hydraulic works, in order to support the everyday water needs. Ancient societies that flourished on the Greek territory since *ca.* 3000 BC except their great contribution to philosophy, politics, sciences and arts, constructed several technical works. Many of these structures were related to water use. Developing hydraulic technologies combined with understanding of processes, ancient Greeks supported several needs such as water supply, drainage of the lands and the cities, flood protection, sanitary facilities and even water use for recreational purposes.

The Ancient Greek societies held an exceptional position in the management of water recourses as testified by: (a) the advanced technologies they applied in the construction of several hydraulic works; (b) the sustainable water management practices they adopted; (c) the high living standards related to water use they developed; and (d) the explanations about the natural hydrometeorological phenomena they devised.

As a result of thousands of years of creative activity, several simple hydraulic structures (cisterns, lavatories, wells, aqueducts) or more advanced ones (dams, tunnels, siphons) are spread all over the wider ancient Greek territory. These works supported several water uses as listed above. Their presence reveals that ancient Greeks wisely resolved several problems concerning water that modern societies still have to face up. Also in the ancient Greek literature there is plethora of references about: (a) sustainable water management practices, (b) hydraulics works that are not preserved to date and (c) impressive exegeses about hydrometeorological processes (e.g. evaporation, condensation, hail, snow, rain). During the last decade, hydraulic works and water management practices developed in ancient Greece have been revisited with an increased interest. Several researchers originating from different scientific fields (archaeologists, engineers) studied the (relatively unknown) water technologies, hydraulic works and water practices developed in ancient Greece (Angelakis *et al.* 2005; Koutsoyiannis *et al.* 2008; Mays *et al.* 2007). The Greek philosophers' explanations about the related natural phenomena have also been studied (Koutsoyiannis *et al.* 2007).

To facilitate the inspection of available information about the hydraulic works in Ancient Greece, a web based application is developed. The application includes the necessary informatics tools to manipulate and analyze the various information

types and make the information available on the Internet. Information includes geographical location, technical characteristics of the structures, drawings, maps, texts, papers, studies, photos, videos etc.

The main purposes of this application are: (a) gathering and archiving of all available information which is characterized by lack of homogeneity, (b) codification of the above information, (c) facilitation of its analysis using informatics tools to perform queries or to make maps and (d) easy access from the general public and researchers to all available information.

The aim of this system is not to develop sophisticated informatics tools, but mainly to create a basic information pool concerning ancient Greek water knowledge. In order to serve this task continuously, the system must be enriched and be extended gradually, incorporating new findings.

Open source technologies were used for the development of the various applications. The system consists of a Database (DB), a Geographical Information System (GIS), a Digital Library (DL) and a Website that integrates the entire system. At this time the application is under development, although it already contains rich information about 128 hydraulic works and 20 important hydrosystems (still there are other sites under study) and the database is being expanded continuously.

The review of all this information about hydraulic works in ancient Greece reveals several issues that can be also approached from different, non-technical, points of view. Most important issues emerging from this study are: (a) the cooperation of small- and large-scale structures as a hydrosystem, (b) the relation of the implemented technology with socio-economical characteristics of the societies, and (c) the small-scale facilities that improved the quality of life.

Small-scale hydraulic structures existed in all periods of the Greek antiquity. Urban water supply was not based on a central system, as happens today, but on several structures distributed all over the area. In many important sites, all these structures such as wells, cisterns, fountains, small water distribution systems and aqueducts operated as a hydrosystem. From the small hydrosystems that served the water facilities of the Minoan and Mycenaean palaces gradually Greeks passed to the creation of larger hydrosystems that supported the everyday life of the glorious cities of the Classical period. The operation of the new complex hydrosystems was strongly supported by legislation, institutions and public awareness about water. The Minoan palace sites (Knossos, Zakros, Malia, etc.) and the city of Athens from Archaic to Roman period are remarkable examples of such distributed small and large hydrosystems.

The size and character of the projects are related to the socio-economical characteristics of the societies. During oligarchic periods, the political situation favoured the construction of large public works. Those aimed to reflect the society's wealth or the power of the sovereign. For example in the case of the

Eupalinos tunnel, even though cheaper works could be easily constructed to serve the same purpose, this breakthrough and expensive engineering solution was chosen perhaps due to an ambition of the local tyrant Polycrates to create a monument of technology (Koutsoyiannis *et al.* 2008). On the other hand, during the period of democracy in Athens, smaller constructions were preferred, such as cisterns collecting storm water. An advanced institutional framework for the water use that engaged the citizens to sustainable water management, was an important part of the hydrosystem management.

Several small scale facilities, related to water use, improved the quality of life in antiquity. In many cases, these can easily be compared with modern ones. Lavatories, bathtubs and recreational fountains have been in use since the Minoan period (e.g. the toilets of the Knossos palace had seats and flushing equipment, and were connected to sewers; Angelakis *et al.* 2005) but they were shaped into an advanced form during the Hellenistic period.

References

- Angelakis A.N., D. Koutsoyiannis and G. Tchobanoglous (2005): Urban wastewater and stormwater technologies in ancient Greece, *Water Res.*, 39 (1), 210-220.
- Antoniou G.P. (2007): Lavatories in Ancient Greece, *Water Sci Technol* 7(1), 155-164.
- Koutsoyiannis, D., N. Mamassis, and A. Tegos (2007): Logical and illogical exegeses of hydrometeorological phenomena in ancient Greece, *Water Sci Technol*, 7 (1), 13–22.
- Koutsoyiannis, D., N. Zarkadoulas, A.N. Angelakis, and G. Tchobanoglous (2008): Urban water management in Ancient Greece: Legacies and lessons, *J. Water Res. Pl-ASCE*, 134 (1), 45–54.
- Mays, L.W., D. Koutsoyiannis, and A.N. Angelakis (2007): A brief history of urban water supply in antiquity, *Water Sci Technol*, 7 (1), 1–12.
- Theodulu T. and C. Memos (2007): A voyage to ancient Greek harbours on board *Limenoscope*, *Water Sci Technol*, 7(1), 253-260.
- Viollet P.L. (2005): *Water Engineering in Ancient Civilizations, 5000 Years of History*, IAHR.

Υδροτεχνολογίες στην Αρχαία Κρήτη

Ανδρέας Ν. Αγγελάκης

*ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Ηρακλείου, 71307 Ηράκλειο και
Ένωση των ΔΕΥΑ, 41222 Λάρισα, info@a-angelakis.gr*

*Όμοια γάρ ως επί το πολύ τα μέλλοντα τοις γεγονόσι
Ευριπίδης, 480-406 π.Χ.*

Από τη νεολιθική εποχή, η νήσος Κρήτη κατοικήθηκε από διεσπαρμένους πληθυσμούς, που ζούσαν, εν μέρει σε σπηλιές σε κάποια απόσταση από την ακτή, αλλά και σε οργανωμένους οικισμούς. Αν και πολύ λίγα είναι γνωστά σχετικά με την προέλευση αυτών των πρώτων αποίκων, η ενασχόληση τους με την αγγειοπλαστική και διάφορα χειροποίητα αντικείμενα υποδεικνύουν ως καταγωγή τους την Ανατολία και ενδεχομένως την Αίγυπτο, παρά την ηπειρωτική Ελλάδα. Στην αρχή της Μινωικής περιόδου, δηλαδή αμέσως μετά από το 3200 π.Χ., ο πληθυσμός της Κρήτης ενισχύθηκε με την άφιξη νέων αποίκων, ίσως από τη Μικρά Ασία. Επιπλέον, γλωσσικές και τοπωνυμικές συγγένειες αποτελούν ένδειξη συγγένειας του Κρητικού πληθυσμού με τους Λουβίους, που στη μεσο-και υστερο-μινωική περίοδο, εγκαταστάθηκαν στη Μικρά Ασία.

Οι τοποθεσίες των αρχαίων πόλεων υποδηλώνουν ότι σε περιόδους έντονης κοινωνικής ανάπτυξης και πολιτιστικών εκρήξεων, τα παραδοσιακά κριτήρια επιλογής των θέσεων εγκατάστασης και ανάπτυξης των τοπικών κοινωνιών, σχετίζονταν με τις δυνατότητες άμυνας, την καλαισθησία, το περιβάλλον, την επάρκεια τροφών και κυρίως τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων και υγιεινής διαβίωσης.

Αρχαιολογικές και άλλες μαρτυρίες αποκαλύπτουν ότι, κατά τη διάρκεια της Μινωικής Εποχής (3200-1100 π.Χ.), μια πολιτισμική έκρηξη χωρίς προηγούμενο στην ιστορία των αρχαίων πολιτισμών έλαβε χώρα στην Κρήτη. Η σοβαρή και αναδυόμενη «πολιτισμική έκρηξη» από την πρωτο-μινωική εποχή, που παρατηρείται στη συνέχεια, αναφέρεται σε πολλά πολιτιστικά και επιστημονικά θέματα, τυπικά του καιρού μας, όπως είναι η αρχιτεκτονική, ο πολεοδομικός σχεδιασμός, ο κοινωνικά ανθρώπινος, υγιεινολογικός και καλαισθητός τρόπος ζωής, η πρόοδος στη γεωργία, στη δασοπονία και στη ναυτιλία, η περιβαλλοντική ευαισθησία και προστασία και άλλα.

Αυτή η πολιτιστική άνθιση ήταν εντονότερη κατά τη διάρκεια των σχετικά ψυχρών και υγρών περιόδων, όπως υποδηλώνουν οι τεχνικές, που εφαρμόζονταν για τη διαχείριση του νερού την περίοδο αυτή, εφάμιλλες των αντίστοιχων σύγχρονων τεχνικών διαχείρισης των υδατικών πόρων, των υγρών αποβλήτων και της υδρολογίας του υπόγειου νερού. Πιο συγκεκριμένα, οι τεχνικές αυτές αφορούν τα δίκτυα νερού και κυρίως αυτά οικιστικής χρήσης, την κατασκευή, αξιοποίηση και χρήση επιφανειακών νερών, τα λουτρά και άλλες σχετικές κατασκευές

υγιεινολογίας, τα συστήματα αποχέτευσης και διάθεσης υγρών αποβλήτων και όμβριων νερών, την αποκατάσταση και άρδευση της γεωργικής γης και τέλος τη χρήση νερού για αναψυχή. Υδραυλικά και άλλα τεχνικά έργα για την ανάπτυξη και διαχείριση υδατικών πόρων, λουτρά και τουαλέτες, δεξαμενές αποθήκευσης και διανομής νερού και αποχετευτικά δίκτυα, συμπεριλαμβανομένης της διάθεσης των εκροών των αποβλήτων, πρωτοεμφανίζονται με διάφορες μορφές από την πρωτομινωική περίοδο και μετά.

Ένα από τα εξέχοντα χαρακτηριστικά του Μινωικού πολιτισμού είναι η αρχιτεκτονική, η πολυπλοκότητα και η άριστη λειτουργικότητα των συστημάτων ύδρευσης (Εικ. 1) και αποχέτευσης των αποβλήτων και συλλογής των όμβριων νερών στα ανάκτορα και στις πόλεις της εποχής εκείνης. Σύμφωνα με τον Έβανς (1921-1935), σε ολόκληρη την ιστορία του ανθρωπίνου είδους, μια από τις πιο αξιοσημείωτες και προηγμένες επιτεύξεις του, ήταν ίσως τα συστήματα ύδρευσης και αποχέτευσης της Μινωικής Εποχής.



Εικόνα 1 Μικρή στέρνα μινωικής εποχής για τον έλεγχο της ροής στην Τύλισσο Ηρακλείου.

(Small Minoan stone cistern used as sedimentation and flow control tank in the aqueduct of Tyliossos Houses, Iraklion).

Οι τεχνολογίες υδατικών πόρων, που αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν την Μινωική περίοδο, παρά την διακοπή στην εξέλιξή τους στις σκοτεινές περιόδους, φαίνεται ότι ακολούθησαν μια αυξητική πορεία, πράγμα που παρατηρείται στα έργα υδατικών πόρων κυρίως μεγάλης κλίμακας, κατά τη διάρκεια κυρίως της Κλασσικής και Ελληνιστικής περιόδου (Εικ.2). Η εξέλιξη αυτή συνεχίστηκε κατά τη Ρωμαϊκή και την Ενετική περίοδο κατά τις οποίες παρατηρείται η υλοποίηση έργων υδατικών πόρων ακόμη μεγαλύτερης κλίμακας (Εικ. 3).



Εικόνα 2 Ελληνιστική στέρνα στην αρχαία πόλη της Ελεούθερνας, Ρέθυμνο.
(Carved Hellenistic cistern in the ancient town of Eleftherna, Rethymnon, of about 1000 m³).



Εικόνα 3 Εσωτερικό Ρωμαϊκής στέρνας στην αρχαία πόλη της Απτερά, Χανιά.
(Interior view of the three- aisled vaulted Roman cistern in the ancient town Aptaera, Chania of about 3000 m³).

Οι σύγχρονοι οφείλουν να αξιοποιήσουν διδάγματα από τα αρχαία έργα, σχετικά με:

- (α) την αρτιότητα σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας τους,
- (β) τη συνεχή λειτουργία τους επί χιλιετίες,
- (γ) την προσαρμοστικότητα τους στο περιβάλλον, και
- (δ) τη δυνατότητα συνδυασμού των αρχαίων πρακτικών με τα σύγχρονα μέσα και γνώσεις.

Ο Gray (1940) αποδίδει πληρέστερα την σπουδαιότητα των Μινωικών υδροτεχνολογιών με τα ακόλουθα: *«Ακούμε συχνά να μιλούν για τη "σύγχρονη υγιεινολογία" σαν να ήταν κάτι που αναπτύχθηκε πρόσφατα και φαίνεται να υπάρχει μια κρατούσα ιδέα ότι η αστική αποχέτευση είναι κάτι πολύ σύγχρονο που καθιερώθηκε κάπου στα μέσα του τελευταίου [19^{ου}] αιώνα. Ίσως αυτές οι ιδέες προσπαθούν να ενδυναμώσουν μια κάπως κλυδωνισμένη υπερηφάνεια στο σύγχρονο πολιτισμό [.....], αλλά όταν εξετάζονται υπό το φως της ιστορίας προκύπτει ότι είναι κάθε άλλο παρά νέες ή πρόσφατες. Πράγματι, υπό το φως της ιστορίας, προκαλεί κατάπληξη, αν όχι πικρία, το γεγονός ότι ο άνθρωπος έχει προχωρήσει τόσο ελάχιστα, ίσως και καθόλου, σε περίπου τέσσερις χιλιάδες χρόνια [.....]. Οι αρχαιολόγοι ερευνητές αυτού του [Μινωικού] χώρου μάς δίνουν την εικόνα ότι οι άνθρωποι είχαν προχωρήσει πολύ προς την άνετη και υγιεινή διαβίωση, με έναν ιδιαίτερο βαθμό ομορφιάς και πολυτέλειας [.....]. Και αυτό επιτεύχθηκε περίπου τέσσερις χιλιάδες χρόνια πριν».*

On Hydro-Technologies in Ancient Crete, Hellas

A.N. Angelakis

National Foundation for Agricultural Research (N.AG.RE.F.), Institute of Iraklion, 71307 Iraklion, and Hellenic Water Supply and Sewerage Systems Association, 41222 Larissa, Hellas, info@a-angelakis.gr

"Probing the past and facing the future"

The history of water supply and wastewater engineering on Crete dates back more than *ca.* 4,500 years. From the early Minoan period (*ca.* 3200-2300 BC) issues related to water supply were considered of great importance and were accordingly developed. Archaeological and other evidence indicate that during the Bronze Age advanced water management and sanitary techniques were practiced in several settlements in Crete (Angelakis and Koutsoyiannis, 2003). The emergence of the palaces reveals a remarkable development of water management in the urban context. Moreover, during the Middle Minoan and the beginning of the Late Minoan periods (*ca.* 2000-1500 BC) a "cultural explosion" occurred on the island (Evans, 1921-1935). A striking indication of this is manifested, *inter alia*, in the advanced water management techniques practiced in Crete at that time (Angelakis *et al.*, 2012). These included various scientific fields of water resources, such as wells and ground-water hydrology, aqueducts, domestic water supply according to local condition in terms of climate and geomorphology. Additionally, the constructions and use of sanitary and purgatory facilities, even the recreational uses of water, signify attitudes of life and taste (Angelakis and Spyridakis, 2013). Numerous very advanced and wonderful water and wastewater systems, including aqueducts, cisterns, filtering systems, rainfall-harvesting systems, terracotta pipes for water supply, fountains, baths, sewers, and toilets were practiced in several Minoan palaces and other settlements (Gray, 1940; Angelakis *et al.*, 2005; Angelakis *et al.*, 2013).

These systems were so advanced that can be compared with the modern systems, which were established only in the second half of the 19th century in European and American cities. Thus, Crete became the cradle of one of the most important civilizations of mankind and the first major civilization in Europe (Angelakis and Koutsoyiannis, 2003). Later, during the Hellenistic and Roman periods, significant developments were done by Cretans in hydraulics, such as in the construction and operation of aqueducts, cisterns, wells, harbors, water supply systems, baths, toilets, sewerage and drainage systems. Further improvements were achieved by subsequent Cretan civilizations, mainly by Venetians, by which a further development of hydro-technologies was achieved (Angelakis *et al.*, 2012).

With a few exceptions, the basis for present day progress in water transfer is clearly not a recent development, but an extension and refinement of the past. It

should be noticed that hydraulic technologies in ancient Hellas were not limited to urban water and wastewater systems.

Different techniques were applied to assure water supply:

- (a) Management of spring runoff water and
- (b) Transportation and storage of water, according to local conditions.

While the *Knossos* palace was depending on springs, in the palace of *Phaistos* the water supply was depending on a surface runoff system, while at the *Zakros* palace a groundwater system was used (Koutsoyiannis and Angelakis, 2003). Despite this diversity, common construction mastery was applied. The progress in urban water supply was even more admirable, as witnessed by several aqueducts, cisterns, wells, and other water facilities discovered, including the famous Minoan aqueducts of *Knossos* and *Tylissos*, the cisterns of *Zakros*, *Archanes*, *Pyrgos* and *Tylissos*, the wells of *Paleokastro*, *Zakros*, and *Itanos* (e.g. Koutsoyiannis *et al.*, 2008). These advanced Minoan technologies were expanded to the Greek mainland in later periods of the Greek civilizations, e.g. in Mycenaean, Archaic, Classical, Hellenistic and Roman.

It can be suggested that a group of people living in prehistoric Crete were aware of the principles of technologies relevant to water. This is suggestive of the existence of master craftsmen responsible for constructing and maintaining the water supply system of a community. They were concerned with the solution of some water related problems and were able to provide palaces and settlements with efficient, even sophisticated water supply systems. To accomplish their goals, this group of craftsmen obviously possessed at least a rudimentary understanding of some basic principles, such as flow and friction, of what we call today water and environmental engineering (Angelakis and Spyridakis, 1996).

In light of these historical and archaeological evidences, it turns out that the progress of present day in urban water and wastewater technologies as well as in comfortable and hygienic living is not as significant in terms of evolution as we tend to believe (Koutsoyiannis and Angelakis, 2003). Many civilizations, which were great centers of power and culture, were built on locations that could not support the populations that developed. Now we find ourselves in similar situations in many places around the world. How do we balance the mega water projects with the methods of traditional knowledge? Koutsoyiannis *et al.* (2008) explored the legacies and lessons on urban water management learned from the ancient Greeks. They summarized the lessons learned as follows:

- (a) The meaning of sustainability in modern times should be re-evaluated in light of ancient public works and management practices. Technological developments based on sound engineering principles can have extended life span.
- (b) Security, with respect to water, is of critical importance in the sustainability of a population.
- (c) In water-short areas, development of an effective water resources management program is essential. In addition, when we define ancient

civilizations, in addition to cultural, recreational and in-family practices, we should also consider all technological achievements and especially water resources technologies, as manifested by the relevant remnants.

The use of traditional knowledge does not directly apply techniques of the past but instead, try “to understand the logic of this model of knowledge” (Laureano, 2007). Traditional knowledge allowed ancient societies to keep ecosystems in balance, carry out outstanding technical, artistic, and architectural work that has been universally admired. The use of traditional knowledge has been able to renew and adapt itself. Traditional knowledge incorporates innovation in a dynamic fashion, subject to the test of a long term, achieving local and environmental sustainability. Minoans are considered pioneers in developing the basic water and wastewater technologies in urban environment, in a sustainable way. Later other ancient civilizations (e.g. Egyptians, Phoenicians, Greeks, Romans, Mayans, and Incas) lived in harmony with nature and environment (Mays *et al.*, 2007).

With the increasing worldwide awareness of the importance of water resources management in the ancient civilizations, the responsibility for organizing the 3rd IWA International Symposium on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations was undertaken by the IWA Specialist Group (SG). The Symposium was organized by IWA SG on Water and Wastewater in Ancient Civilizations in collaboration with the International Water History Association (IWHA) and other national and international agencies, in Istanbul, Turkey, from 22 to 24 March 2012.

More on this will be presented and discussed during the:

(a) IWA Regional Symposium on Water, Wastewater, and Environment: Traditions and Culture, Patras, Hellas, March 22-25, 2014,

<http://wwetc2014.env.uwg.gr/wms/>

(b) 4th IWA International Symposium on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations, Lima, Peru, March 22-24, 2015.

References

- Αγγελάκης, Α.Ν. και Κουτσογιάννης, Δ. (2005): Αποχέτευση Υγρών Αποβλήτων σε Αρχαίους Ελληνικούς Οικισμούς: Μια προκαταρκτική Εργασία. 2^ο Διεθνές Συνέδριο: Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία, 17-21/10/05, Αθήνα, 751-756.
- Angelakis, A.N. and Koutsoyiannis, D. (2003): Urban Water Resources Management in Ancient Greek Times. The Encyclopedia of Water Sciences, Marcel Dekker Inc. (B.A. Stewart and T. Howell, Eds.), Madison Ave., New York, N.Y., USA, pp. 999-1008.
- Angelakis, A.N. and Spyridakis, S.V. (1996): The status of water resources in Minoan times: A preliminary study. In: Diachronic Climatic Impacts on Water Resources with Emphasis on Mediterranean Region (A.N. Angelakis and A.S. Issar, Eds.), Chapter 8: 161-191, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.

- Angelakis, A. N. and Spyridakis, S.V. (2013): Major Urban Water and Wastewater Systems in Minoan Crete, Greece. *Water Science and Technology, Water Supply* (in press).
- Angelakis A.N., Koutsoyiannis, D., and Tchobanoglous, G. (2005): Water Resources Technologies in the Ancient Greece. *Water Resources*, 39(1), 210-220.
- Angelakis, A.N., Dialynas, M.G., and Despotakis, V. (2012): Evolution of Water Supply Technologies in Crete, Greece Through the Centuries. In: *Evolution of Water Supply Throughout Millennia*. IWA Publishing, London, UK, Chapter 9, 227-258.
- Angelakis, A.N., Kavoulaki, E., and Dialynas, M.G. (2013): Sanitation and Stormwater and Wastewater Technologies in Minoan Era. In: *Evolution of Sanitation and Wastewater Management through the Centuries (Angelakis et al., Eds)*. IWA Publishing, London, UK (in preparation).
- Evans, A. (1921-1935): *The Palace of Minos at Knossos: A comparative Account of the Successive Stages of the Early Cretan Civilization as Illustrated by the Discoveries, I-IV*. Macmillan and Co., London, UK (Reprinted in 1964 by Biblo and Tannen, New York, USA).
- Gray, H.F. (1940): Sewerage in Ancient and Medieval Times. *Sewage Works J.* 12 (5), 939–946.
- Koutsoyiannis, D., Zarkadoulas, N., Angelakis, A.N., Tchobanoglous, G. (2008): Urban Water management in Ancient Greece: Legacies and Lessons. *ASCE, Journal of Water Resources Planning & Management*, 134 (1), 45-54.
- Koutsoyiannis, D. and Angelakis. A.N. (2003): Hydrologic and Hydraulic Sciences and Technologies in Ancient Greek Times. *The Encyclopedia of Water Sciences*, Marcel Dekker Inc. (B.A. Stewart and T. Howell, Eds.), Madison Ave., New York, N.Y., USA, p. 415-418.
- Laureano P. (2007): Ancient water techniques for proper management of Mediterranean ecosystems. *Water Sciences and Technology, Water Supply*, 7(1), 237-244.
- Mays, L.W., D Koutsoyiannis, D., Angelakis, A.N. (2007): A Brief History of Water in Antiquity. *Water Sci. and Techn., Water Supply*, 7(1), 1-12.

Έργα αξιοποίησης του υπόγειου νερού από την αρχαιότητα έως σήμερα

Κώστας Βουδούρης

*Εργ. Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. E-mail: kvoudour@geo.auth.gr*

1. Υδρομαστευτικά έργα

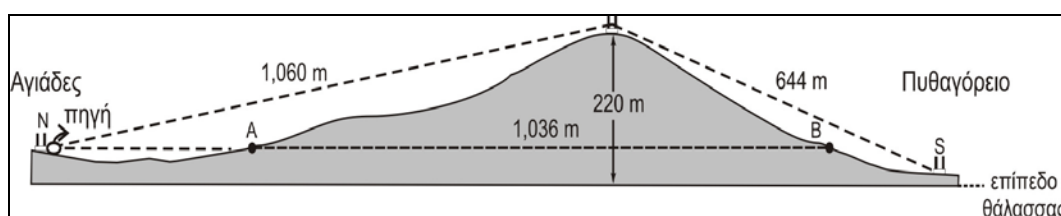
Για την απόληψη νερού από τους υπόγειους υδροφορείς ο άνθρωπος από αρχαιοτάτων χρόνων κατασκεύασε διάφορα έργα που ονομάζονται υδρομαστευτικά έργα και τα οποία διακρίνονται σε οριζόντια και σε κατακόρυφα. Τα οριζόντια είναι οι γαλαρίες ή στοές και οι οριζόντιοι αγωγοί. Οι πρώτοι οικισμοί δημιουργήθηκαν κοντά σε πηγές. Ο λαμπρός πολιτισμός του Dilmun (ca. 3200-300 π.Χ.) αναπτύχθηκε στο Μπαχρέιν και η άνθησή του οφείλεται ανάμεσα στα άλλα και στην παρουσία πηγών (Dirks *et al.*, 2012). Στο έπος του Γκιλγκαμές αναφέρεται ότι οι πηγές αυτές ήταν δώρο θεού.

Όταν οι ανάγκες αυξήθηκαν, λόγω της αρδευόμενης γεωργίας, άρχισε η εκμετάλλευση του υπόγειου νερού με την κατασκευή σκαφτών πηγαδιών. Από την αρχή της Μινωικής περιόδου (εποχή του Χαλκού, ca. 3200-2300 π.Χ.) κατασκευάστηκαν έργα υδρομάστευσης (πηγάδια, στέρνες, αγωγοί) και αποχέτευσης σε πολλούς οικισμούς της Κρήτης. Προχωρημένη τεχνολογία, που περιελάμβανε μικρά φράγματα, κανάλια, δεξαμενές (στέρνες), αγωγούς κάτω από τα τείχη για τη μεταφορά νερού, κ.λπ. αναπτύχθηκαν στα νησιά του Αιγαίου την Κυκλαδική περίοδο (ca. 3100-1600 π.Χ.), καθώς επίσης στην ηπειρωτική Ελλάδα τη Μυκηναϊκή περίοδο (1600-1100 π.Χ.) (Koutsoyiannis *et al.*, 2008). Κατά την αρχαϊκή (750-480 π.Χ.) και κλασσική περίοδο (ca. 480-323 π.Χ.) στην Ελλάδα κατασκευάστηκαν έργα παρόμοια με αυτά της Μινωικής και Μυκηναϊκής περιόδου. Παράδειγμα είναι το Πεισιστράτιο υδραγωγείο (ca. 510 π.Χ.) στην αρχαία Αθήνα, το οποίο μετέφερε νερό από πηγές και ρηχούς υδροφορείς στο κέντρο της πόλης.

Στην Ελληνιστική (ca. 323-146 π.Χ.) και Ρωμαϊκή περίοδο κατασκευάστηκαν περίφημα υδραγωγεία (ανοικτοί αγωγοί) που μετέφεραν νερό από μεγάλες αποστάσεις στις πόλεις, κυρίως από την υδρομάστευση πηγών. Επίσης οι Ρωμαίοι χρησιμοποίησαν σε μεγάλο βαθμό τις στέρνες για τη συλλογή νερού. Στη Βυζαντινή περίοδο η κατασκευή υδραγωγείων παραμελήθηκε και δόθηκε έμφαση στην κατασκευή δεξαμενών και στερνών για τη συλλογή βρόχινου νερού. Οι αρχαίοι λαοί χρησιμοποιούσαν κυρίως οριζόντια έργα για την προμήθεια νερού (τούνελ, γαλαρίες, υδραγωγεία, κανάλια), σε αντίθεση με τη σημερινή εποχή που χρησιμοποιούνται κατακόρυφα έργα (βαθείς γεωτρήσεις).

Οριζόντια έργα μεταφοράς κατασκευάστηκαν στις περιοχές όπου αναπτύχθηκαν οι πρώτοι πολιτισμοί. Σήραγγες και αγωγοί για τη μεταφορά νερού, έχουν αναφερθεί στην Παλαιστίνη (ca. 1200 π.Χ.), η Ευπαλίνειος σήραγγα στη Σάμο, το Αδριάνειο υδραγωγείο (ca. 125 μ.Χ.) για τη μεταφορά νερού από τη Στυμφαλία στην πεδινή Κορινθία, το Αδριάνειο υδραγωγείο στην Αθήνα, στην περιοχή του Δίου και του

Άργους κ.ά. Το αρχαιότερο υδραγωγείο της Ελλάδας είναι η σήραγγα της Σάμου, που είναι ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της Υδραυλικής Μηχανικής στους αρχαίους χρόνους. Η σήραγγα σχεδιάστηκε από τον μηχανικό Ευπαλίνο τον 6^ο αιώνα π.Χ. (ca. 2500 χρόνια πριν) επί των ημερών του τυράννου Πολυκράτη, με βάση την Περσική τεχνολογία. Ήταν μια σήραγγα μήκους 1036 m, που κατασκευάστηκε στο λόφο Κάστρο με σκοπό να μεταφέρει νερό από την πηγή Αγιάδες στον οικισμό Πυθαγόρειο (Σχ. 1). Η διάνοιξη της σήραγγας έγινε με ταυτόχρονη εκσκαφή στους ασβεστολίθους και από τις δύο πλευρές του λόφου. Το νερό μεταφερόταν από την πηγή με αγωγό στο χείλος της σήραγγας και μετά εκκείτο στο εσωτερικό της με φυσική ροή, λόγω κλίσης (Voudouris, 2012). Να τονισθεί ότι η τεχνική ανόρυξης των σιράγγων χρησιμοποιήθηκε από τους προϊστορικούς χρόνους στην αρχαία Ελλάδα. Στη λεκάνη της Κωπαΐδας (Βοιωτία), ανακαλύφθηκε μια σήραγγα μήκους 2,2 km με 16 κατακόρυφα πηγάδια. Αυτή η σήραγγα κατασκευάστηκε το 1450 π.Χ. με σκοπό την αποστράγγιση της λεκάνης, η οποία πλημμύριζε κατά τις υγρές περιόδους.



Σχήμα 1: Τομή της σήραγγας του Ευπαλίνου στη Σάμο.
(Longitudinal section of tunnel of Eupalinos in Samos island).

2. Qanats

Το μεγαλύτερο επίτευγμα στην εκμετάλλευση του υπόγειου νερού στην αρχαιότητα ήταν η κατασκευή υπόγειων αγωγών ή γαλαριών (*qanats* ή *kanats*) που συγκέντρωναν νερό από αλλουβιακές αποθέσεις και μαλακά ιζηματογενή πετρώματα (ρηχούς υδροφορείς). Qanats ή karez (Αφγανιστάν, Πακιστάν), kanerjing (Κίνα), foggara (Βόρεια Αφρική) που σημαίνει συστοιχία πηγαδιών, είναι ένα σημαντικό τεχνικό έργο για την προμήθεια νερού. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται τα τμήματα και ένα σκαρίφημα ενός qanat, αντίστοιχα. Το qanat είναι μια σήραγγα που συνδέει τους πυθμένες ενός συστήματος πηγαδιών, που μετέφεραν νερό από ημιλοφώδεις σε πεδινές περιοχές όπου υπήρχαν ανάγκες, μερικές φορές σε απόσταση πολλών χιλιομέτρων (Weingartner, 2007). Το νερό κινείται κατά μήκος του πυθμένα της σήραγγας με βαρύτητα.

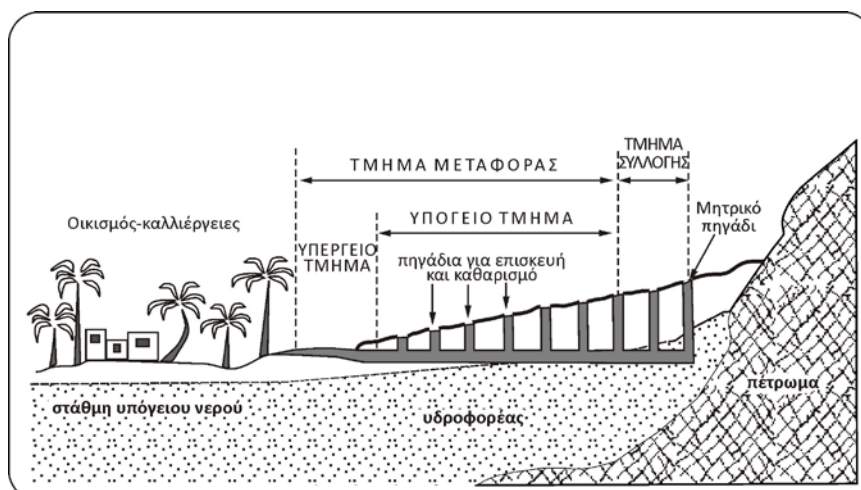
Η εφεύρεση των qanats αποδίδεται στους Πέρσες τον ca. 8-10 αιώνα π.Χ. και στη συνέχεια διαδόθηκαν (μαζί με την εξάπλωση του Ισλάμ) και εξυπηρετούσαν υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες στις χώρες της Μέσης Ανατολής, την Ελλάδα, την Κύπρο, την Ισπανία, την Ιταλία, την Αίγυπτο, την Αιθιοπία, τη Νότιο Αμερική και αλλού. Ανατολικά του Ιράν (αρχαία Περσία), τα qanats εξαπλώθηκαν στο Πακιστάν, Αφγανιστάν και κατά μήκος των οάσεων του δρόμου του μεταξιού στην Κίνα. Στο Ιράν

ακόμα και σήμερα γίνεται χρήση των qanats για την κάλυψη μέρους των υδατικών αναγκών.



Εικόνα 1: Η σήραγγα του Ευπαλίνου στη Σάμο (Φωτ. Βουδούρης, 2011).
(The tunnel of Eupalinos in Samos island).

Το αρχικό ή μητρικό πηγάδι (initial ή mother well) και η ακολουθία πηγαδιών είναι ανορυγμένα σε αλλουβιακές αποθέσεις και ο πυθμένας της σήραγγας βρίσκεται στην επαφή με αδιαπέρατα πετρώματα. Στην Εικ. 2 φαίνεται το αρχικό πηγάδι ενός qanat στη Νέα Ζίχνη Σερρών της οθωμανικής περιόδου. Η σήραγγα αυτού του qanat έχει μήκος 1 km και χρησιμοποιείται ακόμα για την κάλυψη υδατικών αναγκών του οικισμού (Βαβλιάκης, 1989). Ουσιαστικά, εκμεταλλεύεται τον φρεάτιο υδροφορέα της περιοχής.



Σχήμα 2: Τμήματα ενός qanat (Parts of a qanat).



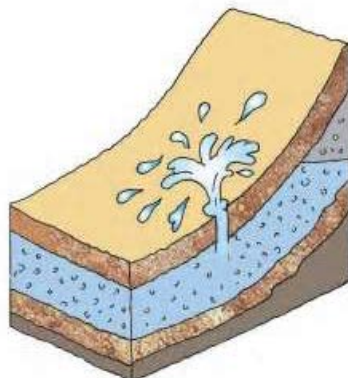
Εικόνα 2: Qanat στη Νέα Ζίχνη Σερρών. Αριστερά: Ένα πηγάδι του qanat (Φωτ. Βουδούρης, Κ.). Δεξιά: Η σήραγγα του qanat (Φωτ. Ανδρέου, Γ.).
(A well and the tunnel of the qanat in Nea Zichni constructed in the 18th century).

Η παρουσία qanats στην κλασική περίοδο καταγράφηκε στη Σάμο (μικρό τμήμα της Ευπαλίνειας σήραγγας) και μετά την Οθωμανική κυριαρχία στις Σέρρες, τον Χορτιάτη Θεσσαλονίκης, τη Θράκη, κ.α. Ουσιαστικά πρόκειται για υδραγωγεία που τμήμα τους ή ολόκληρα κατασκευάστηκαν με τεχνολογία “qanat”. Η μεγαλύτερη σήραγγα είναι αυτή της Σάμου, αλλά η μεγαλύτερη σε συνολικό μήκος (σήραγγα και αγωγός μεταφοράς) είναι αυτή του Χορτιάτη (20 km) με παροχή νερού 80 m³/h (Papacharalamprou *et al.*, 2012).

3. Πηγάδια

Οι Αιγύπτιοι ανέπτυξαν συστήματα ανόρυξης πηγαδιών από τις αρχές του *ca.* 3000 π.Χ. Οι Κινέζοι επίσης ανέπτυξαν διατρητικά συστήματα που μοιάζουν με τις σύγχρονες τεχνικές. Με βάση χρονολόγηση C-14 προέκυψε ότι το αρχαιότερο πηγάδι στην Κίνα κατασκευάστηκε το έτος 3710±125 π.Χ. Η κατασκευή των πηγαδιών πραγματοποιείται με τα χέρια ή τη βοήθεια ζώων και πρωτόγονων χειροποίητων εργαλείων. Υπάρχουν ενδείξεις ότι κατά τη Μινωική περίοδο (*ca.* 3500-1200 π.Χ.) χρησιμοποιήθηκαν στην Κρήτη πηγάδια (με βάθος 10-20 m και διάμετρο μικρότερο από 5 m) για την προμήθεια νερού. Στην Αγορά της Αθήνας υπήρχαν την κλασική περίοδο πολλά πηγάδια, λόγω έλλειψης πηγών και χειμάρρων. Πηγάδια χρησιμοποιήθηκαν και κατά την ελληνιστική και ρωμαϊκή περίοδο σε διάφορες περιοχές. Ο Τούρκος περιηγητής Εβλιά Τσελεμπί το *ca.* 1600 μ.χ. κατέγραψε 3000 πηγάδια στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, τα οποία εκμεταλλεύονταν τον ρηχό υδροφόρα.

Οι σύγχρονες μέθοδοι διάτρησης πηγαδιών αναπτύχθηκαν στη Δυτική Ευρώπη και τελειοποιήθηκαν πολύ γρήγορα με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Ένα από τα πρώτα σύγχρονα πηγάδια σκάφθηκε από μοναχούς κοντά στον Λίγηρα το *ca.* 1126 μ.χ. Αρχικά δόθηκε έμφαση στον εντοπισμό και εκμετάλλευση αρτεσιανών υδροφορέων, λόγω έλλειψης τεχνολογίας άντλησης νερού (Εικ. 3).



Εικόνα 3: Αρτεσιανό πηγάδι (Artesian well).

Κλείνοντας επισημαίνεται η ανάγκη συντήρησης και ανάδειξης των υδρομαστευτικών έργων της αρχαιότητας, ως μνημείων της πολιτιστικής μας κληρονομιάς. Επιπλέον, η μελέτη του τρόπου επίλυσης των υδρευτικών προβλημάτων στην αρχαιότητα θα βοηθήσει να επιλυθούν και τα σημερινά προβλήματα ύδρευσης σε πολλές περιοχές.

Αναφορές-References

- Apostol, T. (2004): The tunnel of Samos. *Engineering and Science*, No 1, 31-40.
- Αυγολούπης, Ι., Κατσιφαράκης, Κ. (2009): Αναφορές στην Υδρολογία και Υδραυλική στο έργο του Ηροδότου. *Υδροτεχνικά*, Τόμος 18-19, 21-34.
- Dirks, H., Rausch, R., Kallioras, A., Schuth, C. (2012): The riddle of the springs of Dilmun: Does the Gilgamesh epic tell the truth? *Proc. of 3rd Specialized Conference on water and wastewater technologies in ancient civilizations*. 22-24 March, Istanbul, Turkey, 119-126.
- Koutsoyiannis, D., Zarkadoulas, N., Angelakis, A.N., Tchobanoglous, G. (2008): Urban water management in Ancient Greece: Legacies and Lessons. *Journal of Water Resources Planning and Management* 134, 45-54.
- Κωνσταντίνου, Γ, Κωνσταντίνου, Κ.Α. (1999): Η εκμετάλλευση του υπόγειου νερού στην Κύπρο τους ιστορικούς χρόνους. *Πρακτικά 5ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Λευκωσία, Κύπρος*, 1-18.
- Lightfoot Dale, R. (2000): The origin and diffusion of qanats in Arabia; new evidence from the northern and southern Peninsula. *The Geographical Journal*, Vol. 166, Part 3, 215-226.
- Lolos, Y. (1997): The Hadrian aqueduct of Corinth. *Hesperia*, Vol. 66, No 2, 271-314.
- Longfellow, B. (2009): The legacy of Hadrian; Roman monumental civic fountains in Greece. In "Nature and function of water, baths, bathing and hygiene from Antiquity through the Renaissance" (Eds Koss, C., Scott, A.), 211-232. Publ. Brill NV, Leiden, The Netherlands.

- Papacharalampou, Ch., Melfos, V., Voudouris, K. (2012): Water supply and related constructions since antiquity in Retziki (Pefka) of Thessaloniki, Northern Greece. Proc. of 3rd Specialized Conference on water and wastewater technologies in ancient civilizations. 22-24 March, Istanbul, Turkey, 154-161.
- Παπαδήμος, Δ.Λ. (1974): Τα υδραυλικά έργα παρά τους αρχαίους. Αθήνα, Έκδοση ΤΕΕ.
- Vavliakis, E. (1989). The Qanat systems in Greece: A study of Qanat systems in Phyllida of Seeres from morphological, hydrographic and socio-economical view. Aristotle University of Thessaloniki, Dept. of Geology, Thessaloniki, Greece, p. 93 (in Greek).
- Voudouris, K. (2012): Diachronic evolution of water supply in eastern Mediterranean. Mediterranean. In “Evolution of water supply through the Millennia” (Eds Angelakis, A.N., Mays, L.W., Koutsoyiannis, D., Mamassis, N.). Chapter 4, 77-89.
- Weingartner, H. (2007): Water supply by qanats: A contribution to water shortage in Mediterranean areas. Proc. of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology, Kos island, Greece, 5-7 September 2007, Vol. A, 1555-1561.
- Wulff, H.E. (1968): The qanats of Iran. Scientific American. <http://users.bart.nl/~leenders/txt/qanats.html>.
- Yazdandoost, F. (2012): Qanat: A source of sustainability in arid, semi-arid regions through history. In Proc. of 3rd Specialized Conference on water and wastewater technologies in ancient civilizations (Eds Koyuncu, I., Sen, Z., Ozturk, S., Altinbas, M., Ozturk, I.). 22-24 March, Istanbul, Turkey, 59-64.

The hydraulic works of groundwater exploitation through the centuries

Kostas Voudouris

*Lab. of Engineering Geology & Hydrogeology, School of Geology, Aristotle University,
GR 54124, Thessaloniki, Hellas, kvoudour@geo.auth.gr*

Water was one of the most critical issues for the survival of mankind and played an important role on the creation of the settlements. The ancient civilizations were dependent upon sophisticated systems of water supply. Human effort was first made to utilize surface waters and springs and therefore the settlements were close to them (Tigris, Euphrates, Nile). Groundwater has been a source of water supply since the dawn of human history and agricultural activity. A spring is the natural emergence of groundwater, so many springs can be directly used without any digging. The ancient Greeks, as opposed to other people, avoided living near rivers, probably for protection from floods and water related diseases, e.g. malaria. The first settlement of many of their towns was on a hill and the water demands were met by springs. When the water demands were increased in connection with irrigated agriculture, the groundwater exploitation was expanded with the construction of qanats and dug wells.

The Romans had constructed water supply systems to transfer water for domestic use in the cities, as well as for irrigation purposes. The aqueducts that carried water to the Roman cities from a long distance (100 km) are admirable; the surviving remains of many aqueducts demonstrate their strong technique. In the Byzantine period, the construction of aqueducts was abandoned and emphasis was put on the construction of tanks or cisterns. The tanks and cisterns were constructed in order to collect rain water. During the Hellenistic and Roman period the water supply of cities relied on the springs and rivers. In the case of extended dry periods, the water supply was assisted by the exploitation of groundwater from shallow aquifers.

The greatest achievement in groundwater exploitation by ancient peoples was in the construction of long galleries or qanats, which collected water from alluvial deposits and soft sedimentary rocks. Qanats or Kariz, which means chain of wells, are a most remarkable technology of water supply. They are gently sloping, artificially constructed underground galleries, which bring groundwater from the mountainous area to the lowlands where water is needed, sometimes many kilometres away. Many qanats are still in use stretching from China in the east to Morocco in the west, and even to the Americas.

At the highest point of the mountain the initial (mother) well is constructed in order to ascertain the presence of groundwater. A windlass is set up at the ground surface and the excavated soil is hauled up in buckets. Every 10–30 m, vertical wells (shafts) are dug for the removal of soil and ventilation of the tunnel. Furthermore, the shafts enable access for repair-works. Then, a tunnel is constructed downstream with a height of 1.2–2 m and a width of 0.8–1.5 m. Qanat tunnels were hand-dug, just large enough to fit the person doing the digging. In unstable soils, reinforcing rings are installed in the tunnel to

prevent cave-ins. The water moves along the bottom of the tunnel. The maximum length is approximately 40–50 km. The first qanats were constructed in Persia (ancient Iran) and then spread towards Arabian Peninsula and Egypt. One extensive qanat built about 500 BC in Egypt is said to have irrigated 4700 km² of fertile land west of the Nile. East of Iran the qanats expanded towards Pakistan, Afghanistan and along the oases of Silk Road to China. The longest qanat near Zarand, Iran, is 29 km long with a mother well depth of 96 m and with 966 shafts along its length. The expansion of Islam led to diffusion of qanats in Mediterranean countries (Spain, Italy, Cyprus etc).

The technique of tunnelling had been used during the prehistoric period in ancient Greece. In the Kopais basin (Viotia, Greece), a tunnel of length 2.2 km with 16 vertical wells was discovered. This tunnel was constructed during 1450 BC order to drain the basin, which would flood during wet periods. The existence of qanats of the classical period has been recorded in Greece, e.g. Samos and after the occupation by Ottomans in Serres, Chortiati (Thessaloniki), Thrace etc. The largest tunnel of Greece is the tunnel of Samos (1 km), but the largest in total length (tunnel and transfer conduit) is that of Chortiati, Thessaloniki (20 km) with a water discharge of 80 m³/h.

The oldest aqueduct in Greece is the tunnel of Samos, which is one of the greatest engineering achievements of ancient times. This tunnel was constructed by Eupalinos during the sixth century BC (*ca.* 2500 years ago), based on Persian technology. Herodotus mentions and describes the existence of the tunnel (1036 m). Delivering fresh water to growing populations has been an ongoing problem since ancient times. Therefore, Polycrates, the tyrant of Samos, engaged engineer Eupalinos of Megara to build a tunnel that would provide his city with a secure water supply. The goal was to transfer water into the town from a spring that existed at a village, Agiades, northwest from the city. The tunnel that was built for this purpose was dug through limestone by two separate teams advancing in a straight line from both sides of the mountain.

Groundwater development dates from ancient times. One of the first wells was dug in 1126 AD by monks near to Lillers. The methods of drilling for water have improved rapidly during the past 150 years. Well construction in the Near East was accomplished by man and animal and was aided by hoists and primitive hand tools. Egyptians had developed drilling systems in rocks as early as 3000 BC. Ancient Chinese also developed a drilling tool for water wells which, in principle, is similar to modern machines. Based on the C-14 dating of the well wood, it was concluded that the oldest well in China was built in 3710 ± 125 BC. There is evidence that, during the Minoan period (3500–1200 BC) in the island of Crete, wells (with a depth of 10–20 m and diameter less than 5 m) and springs were used for water supply. Advanced hydraulic technology, including small dams, channels, cisterns etc was developed in the Aegean islands during the Cycladic period (3100–1600 BC), as well as on mainland Greece during the Mycenaean period (1600–1100 BC).

Ancient peoples used mainly horizontal works for water supply (tunnel, galleries, aqueduct, and qanats) as opposed to using modern vertical works (deep boreholes). The aforementioned works demonstrate that the ancient people had an outstanding engineering knowledge of water supply. The study of these works will help solve the current water problem in many areas.

Έργα ύδρευσης και αποχέτευσης στη Μακεδονία (από τους προϊστορικούς χρόνους έως τη ρωμαϊκή εποχή)

Μίνα Καϊάφα

Αρχαιολόγος, Δρ. Αρχιτεκτονικής ΑΠΘ

Καραδέδος Γ.

*Τομέας Ιστορίας Αρχιτεκτονικής, Ιστορίας Τέχνης, Αρχιτεκτονικής Μορφολογίας
και Αναστήλωσης, Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Πολυτεχνική Σχολή ΑΠΘ*

Η διαχείριση του νερού στη Μακεδονία σχετίζεται με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, το υδρογραφικό της προφίλ και τη δομή και οργάνωση των οικιστικών της μονάδων στο πέρασμα των αιώνων. Το προνόμιο την αξιολογής υδροδυναμικότητας του Μακεδονικού χώρου αναγνωρίστηκε ήδη από την αρχαιότητα. Αντανακλάται σε πλήθος τοπωνυμικών, ενώ αποτυπώθηκε και στην αρχαία ελληνική γραμματεία, με πληθώρα αναφορών στα νερά των ποταμών της, που απεικονίστηκαν προσωποποιημένοι σε νομίσματα και αγγεία, θεοποιήθηκαν, πήραν ρόλο στα μυθολογικά δρώμενα ή λατρεύτηκαν σε ναούς.

Κατά τους **προϊστορικούς χρόνους** στη Μακεδονία το νερό αποτελούσε την καθοριστική παράμετρο για την κατανομή και την παραμονή σ' ένα χώρο. Οι προϊστορικές θέσεις τόσο στο νεολιθικό χάρτη, όσο και σ' εκείνον της εποχής του Χαλκού καταγράφονται δίπλα σε αναβλύζουσες πηγές, ρέματα μόνιμης ροής, χείμαρρους ή στις όχθες ποταμών και λιμνών. Πέρα από τους συμβατικούς οικισμούς σε χερσαίο περιβάλλον ο νεολιθικός οικισμός του Δισπηλιού ήταν μία μόνιμη εγκατάσταση μέσα στη λίμνη, που αναπτύχθηκε με γνώμονα την παραγωγική δύναμη των νερών της. Το νερό σ' αυτούς τους οικισμούς φυλάσσεται σε μεγάλα αποθηκευτικά πιθάρια, και σπανιότερα με λάκκους ανοιγμένους σε αδιαπέρατα εδάφη. Στην προϊστορική Μακεδονία η διαχείριση του νερού δε συστηματοποιείται με έργα υποδομής, όπως για παράδειγμα στον κρητομυκηναϊκό κόσμο, καθώς οι εγκαταστάσεις, σε αντίθεση με εκείνες της Ν. Ελλάδας, δεν έχουν την οργάνωση και τη δομή πόλεων με κεντρική εξουσία, μία μορφή εγκατοίκησης που εμφανίζεται τον 7^ο αι. π.Χ. και εδραιώνεται στη διάρκεια του 6^{ου} π.Χ.

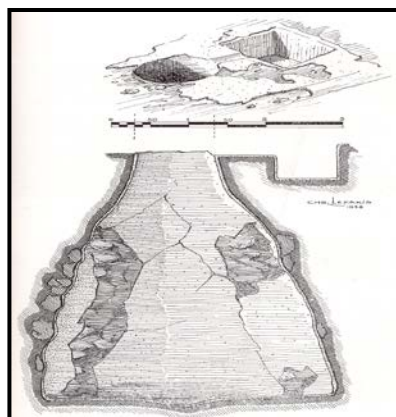
Η πλήρης αστικοποίηση των οικιστικών εγκαταστάσεων της Μακεδονίας, η εφαρμογή του Ιπποδάμειου συστήματος και η παγίωση των αρχιτεκτονικών τύπων στους **κλασικούς χρόνους**, ευνόησαν ακόμη περισσότερο την ανάπτυξη των υδραυλικών υποδομών. Τα υδραγωγεία της κλασικής Πύδνας, των Σταγείρων, το βόρειο υδραγωγείο της Αμφίπολης, ήταν κλειστού τύπου, με τους πήλινους σωλήνες επιμελώς θαμμένους στο έδαφος ή άλλοτε προστατευμένους σε υπόγειες λαξευμένες στο βράχο σήραγγες να αναπτύσσονται με πολλαπλές καμπυλώσεις παρακολουθώντας το ανάγλυφο του εδάφους, Στην Οlyntho ο υπόγειος υδραγωγός, από καλά συναρμοσμένους πηλοσωλήνες, με οπές για τον καθαρισμό και την εκτόνωση του εγκλωβισμένου αέρα, στο τελευταίο τμήμα του αναπτυσσόταν σε θολωτή σήραγγα με φρεάτια αερισμού και καθαρισμού. Κατέληγε σε κρηναίο στην άκρη της πόλης, με τριμερή υδατοδεξαμενή, με κρουνούς διαρκούς παροχής στην

πρόσθια πλευρά της, από όπου το νερό έρεε σε κτιστή αβαθή, επιμήκη λεκάνη (Robinson 1938, 1946).

Παράλληλα με τη μόνιμη και σταθερή παροχή των υδραγωγείων στις κλασικές πόλεις της Μακεδονίας, η πρακτική της αποταμίευσης ποσοτήτων νερού σε υδατοστεγείς λάκκους και πίθους διατηρήθηκε. Άμεση λήψη του υδάτινου αγαθού από τις υπόγειες υδροφορίες εξασφάλιζαν πηγάδια, με λιθόκτιστη ή πήλινη επένδυση, ενώ σημαντικό ρόλο είχαν και οι ομβροδεξαμενές, δημόσιες ή ιδιωτικές, απίοσχημες, κυλινδρικές ή και ορθογώνιες. Επίσης, περιρραντήρια και λουτήρες σε οικίες για την καθημερινή υγιεινή ή και σε λατρευτικούς χώρους, για ιεροτελεστίες καθαρισμού αποτυπώνουν τη χρήση του νερού σε κάθε επίπεδο της καθημερινής ζωής.



Εικόνα 1: Όλυνθος, αγωγός υδραγωγείου. (Olynthus, aqueduct).



Εικόνα 2: Όλυνθος, ομβροδεξαμενή (Olynthus, “bottle” cistern).

Από την άλλη, στα αποχετευτικά δίκτυα συμπεριλαμβάνονται υπόγειοι πήλινοι ή κτιστοί αποχετευτικοί αγωγοί, αλλά και ανοιχτές αρτηρίες διαφυγής ομβρίων, πλεοναζόντων υδάτων και λυμάτων που οδηγούνταν τελικά έξω από τις πόλεις, μέσω ειδικών διαμορφωμένων ανοιγμάτων στους οχυρωματικούς περιβόλους. Υψηλό βαθμό τεχνογνωσίας αντανακλά το σύστημα οχετών από κατακόρυφες σχισμές τραπεζοειδούς διατομής στο βόρειο τμήμα του κλασικού περιβόλου της Αμφίπολης.

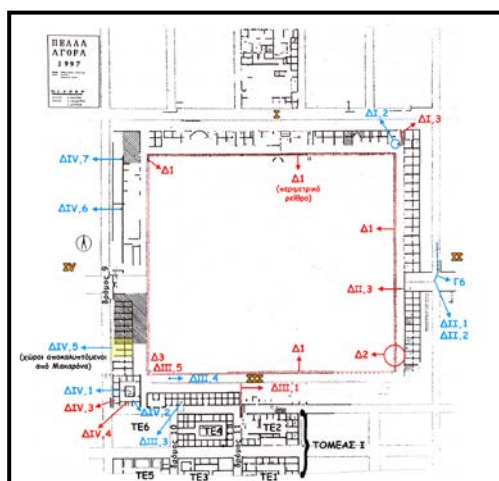
Κατά τους **υστεροκλασικούς και ελληνοιστικούς** χρόνους η ανάπτυξη της υδραυλικής στον Ελλαδικό χώρο επηρέασε και τη Μακεδονία. Μέσα στους αστικοποιημένους Μακεδονικούς οικισμούς, με κυρίαρχο τον Ιπποδάμειο σχηματισμό η ύδρευση και η αποχέτευση, είναι αλληλένδετες με τις αρχές της αισθητικής, της ασφάλειας και της υγιεινής. Τούτο καταγράφεται στις υδραυλικές υποδομές ιδιωτικών οικιών, αλλά και δημόσιων συγκροτημάτων, όπως της Αγοράς της Πέλλας ή του Γυμνασίου της Αμφίπολης, όπου και αξιοποιείται επιτυχώς η εδαφική κατωφέρεια.

Υδραγωγεία από πήλινους σωλήνες καλά συναρμοσμένους, με κονίαμα στους αρμούς, ενισχυμένους με λίθους υπάρχουν στο Δίο, αλλά και στην Αμφίπολη, όπου ο πήλινος υδραγωγός αντικατέστησε το ομοίτυπο κανάλι των κλασικών χρόνων (Πίκουλας 1997).

Παράλληλα με τον κλασικό τρόπο απόληξης του υδραγωγείου σε μία ή περισσότερες δημόσιες κρήνες σε κομβικά σημεία που επιβιώνει και στους ελληνοιστικούς χρόνους, κάτω από τα οδοστρώματα αναπτύσσονταν πλέγματα από πήλοσωλήνες διαφόρων διαμέτρων εφοδιασμένα τόσο με λίθους διάτρητους υπό γωνία, όσο και με πήλινα πιθάρια, με ορατό μόνο το καλυμμένο με πλάκα στόμιό τους. Εξασφάλιζαν την ανάσχεση της ορμής του νερού, την αλλαγή κατεύθυνσης των αγωγών διανομής, ενώ βέβαιη είναι η χρήση τους και ως σιφόνια καθαρισμού. Τέτοιες υποδομές εντοπίστηκαν στην πόλη της Βέροιας, στην Πέλλα, το Δίον.



Εικόνα 3: Πέλλα, αγωγός υδροδιανομής με πήλινο πιθάρι.
(Pella, Distribution pipe).



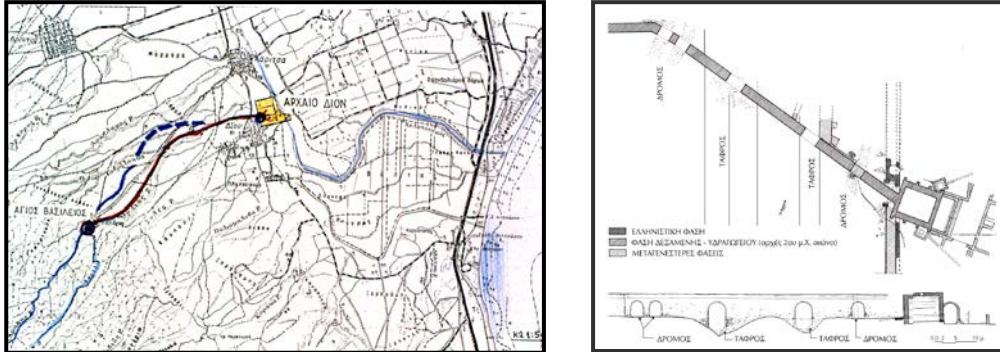
Σχήμα 1: Πέλλα, σύστημα διανομής και αποχέτευσης στην Αγορά.
(Pella, Distribution and wastewater system of Agora).

Στους **ρωμαϊκούς χρόνους** η υδραυλική τεχνολογία με τη συστηματοποίηση των ελληνικών γνώσεων, έφθασε στο αποκορύφωμα της εφαρμογής της. Στη Μακεδονία, όπως ακριβώς και στην υπόλοιπη Ελλάδα, σηματοδοτήθηκε από πολύπλοκες κατασκευές αστικής υδροδιανομής, για την πληρέστερη κάλυψη των αναγκών μιας καινούριας νοοτροπίας, άρρηκτα δεμένης με τη γενίκευση της χρήσης θερμών και βαλανείων, αρχιτεκτονικών τύπων που απαιτούσαν άρτια υδραυλική υποδομή με συνεχή ροή του νερού, εξασφαλισμένη από τα κεντρικά δίκτυα (Yegül 1992). Σ' αυτές προστίθενται νέα υδραυλικά κατασκευάσματα, σύνθετα κάποιες φορές, όπως διακοσμητικού χαρακτήρα δεξαμενές, *impluvia*, κάποτε ιδιαίτερα πολύπλοκα, όπως εκείνο στο σπίτι του Διονύσου στο Δίον, αλλά και αναβρυτήρια, όλα ενταγμένα απόλυτα στο κλίμα πολυτέλειας και καλαισθησίας της εποχής.

Τα υδραγωγεία στις ρωμαϊκές πόλεις της Μακεδονίας ήταν συμμορφωμένα από τεχνολογικής και κατασκευαστικής άποψης με τα νέα επιτεύγματα της υδραυλικής μηχανικής. Υδραγωγικό κανάλι, καμαροσκεπές, ελεύθερης ροής, στο Κεφαλάρι της Δράμας, με επαναλαμβανόμενα φρεάτια επίσκεψης, μετέφερε νερό στην πόλη των Φιλίππων (Κρανώτη 1989), ενώ ομοιότυπα είναι και τα τμήματα υδραγωγείου στην Τούμπα και τη Θέρμη στη Θεσσαλονίκη, με άγνωστο προορισμό, όπως επίσης και τα υδραγωγεία στην Έδεσσα, του 3^{ου} αι. μ.Χ., και της Αμφίπολης. Η πιο λιτή κατασκευαστική εκδοχή, των αρτηριών ορθογώνιας τομής με επίπεδη κάλυψη αντιπροσωπεύεται από τα υδραγωγεία της Βέροιας, του Λεμπέτ της Θεσσαλονίκης, και της Πύδνας (Βαλαβανίδου 2000, Πέτκος 1989).

Στο υδραγωγείο του Δίου, τυπικό μοντέλο υδροδότησης μιας ρωμαϊκής πόλης, ο υπόγειος λιθόκτιστος υδατοστεγής καμαροσκεπής αγωγός από πηγές στις υπώρειες του Ολύμπου ήταν υπέργειος στο τελευταίο τουλάχιστον τμήμα του, στην κορυφή κτιστού τοίχου. Απέληγε σε κεντρική καλά ενισχυμένη δεξαμενή στο δυτικό τείχος. Από αυτή το νερό διοχετευόταν ελεγχόμενο στην πόλη μέσω τριών ενσωματωμένων σ' αυτή φρεατίων, για την ξεχωριστή παροχή στις δημόσιες κρήνες, στα δημόσια λουτρά και στις ιδιωτικές κατοικίες, από ένα καλά οργανωμένο δίκτυο αποτελούμενο από διάσπαρτες μικρότερες δεξαμενές ή πύργους διανομής σε μελετημένες θέσεις, αλλά και πολύ μικρότερης κλίμακας στοιχεία, όπως χάλκινους κρουνοί και χάλκινους διακόπτες νερού μισής στροφής (Καραδέδος 1985, 1988, 1990, 1993, 1994, 2000). Ανάλογες υποδομές απαντούν και σε άλλες ρωμαϊκές πόλεις της Μακεδονίας, επίσης αποτελούμενες από πήλινους, αλλά και κτιστούς ή μολύβδινους αγωγούς, χρησιμοποιούμενους κατά περίπτωση. Οι τελευταίοι, συχνότεροι πια, ενισχύονταν στους αγκώνες με μολύβδινα σιφώνια μορφής κόλουρου κώνου ή μικρού κιβωτίου.

Παρά τις νέες κατακτήσεις στη διαχείριση του νερού όσον αφορά στις αστικές υποδομές, τόσο στους ελληνιστικούς όσο και στους ρωμαϊκούς χρόνους είναι αδιάλειπτη η χρήση πηγαδιών, κυκλικής ή ορθογωνικής τομής, με τοιχώματα κάποτε αδιαμόρφωτα έως την υπόγεια υδροφορία συνήθως όμως επενδυμένα άλλοτε με πήλινους δακτυλίους, άλλοτε με αργολιθοδομή, με ή δίχως συνδετικό υλικό, άλλοτε δε με γωνιασμένους λίθους, σε στρώσεις ισοΰψεις ή ανισοΰψεις.



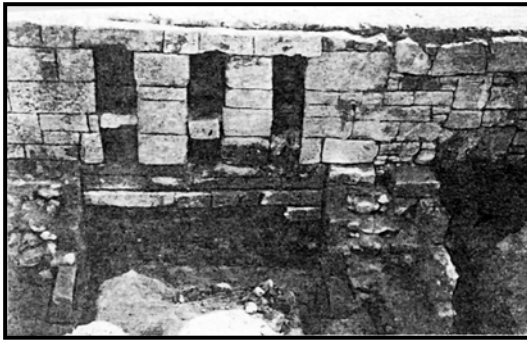
Σχήμα 2: Δίον, υδραγωγείο, πηγές-πορεία, αγωγός, απόληξη στη δεξαμενή.
(Dion, aqueduct, water sources, water line, castellum divisorium).

Δείγμα προηγμένου πολιτισμού και τεχνολογίας, η αποχετευτική υποδομή των Μακεδονικών πόλεων, αποτελούσε συνεχή μέριμνα σε ιδιωτικό και δημόσιο επίπεδο. Ήταν κατά κανόνα μικτής λειτουργίας και υλοποιούταν παράλληλα με τη χάραξη των οδικών αρτηριών με τις μελετημένες κατά κανόνα κλίσεις, αλλά και την κατασκευή των κτιρίων. Καθ' όλη τη διάρκεια των ελληνιστικών και ρωμαϊκών χρόνων δεν παρουσιάζει μεταβολές ούτε ως προς τα υλικά δομής ούτε ως προς την τυπολογία, εξελίσσεται όμως ως προς τον τρόπο οργάνωσης και σχεδιασμού της.

Τα αποχετευτικά δίκτυα με το πέρασμα των χρόνων γίνονται πολυπλοκότερα, ώστε να καλύπτουν επαρκώς τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες που δημιουργούσε η γενίκευση και ανάπτυξη λουτρών και βαλανείων (Καϊάφα 2008, 2011, 2012). Ένα ηχηρό παράδειγμα είναι η σύνθετη αποχετευτική υποδομή των Μεγάλων Θερμών του Δίου. Στο πλαίσιο αυτό καταγράφεται πλήθος από αποχετευτικές αρτηρίες, διακλαδιζόμενες και εμπλεκόμενες κατά περίπτωση, με φρεάτια κατά διαστήματα για τη μείωση των οσμών, την αναχαίτιση της ορμής υδάτων και λυμάτων και τον καθαρισμό. Λαξευτές στο φυσικό βράχο κοίτες, πήλινες ή μολύβδινες σωληνώσεις, άλλοτε ενσωματωμένες στις τοιχοποιίες, κτιστές αρτηρίες με κάλυψη εκφόρτιζαν το ρυπαρό περιεχόμενο σε μεγαλύτερους κτιστούς, πλακοσκεπείς ή θολοσκεπείς αθέατους υπονόμους για την τελική απομάκρυνσή του έξω από τις πόλεις, μέσω στομίων απορροής στα τείχη. Από αυτά, πιο ιδιαίζουσα και πάλι είναι η περίπτωση του ελληνιστικού συστήματος απομάκρυνσης ομβρίων και λυμάτων στο βόρειο τείχος της Αμφίπολης, επανάληψη του κλασικού που είχε επιχωθεί.

Συμπερασματικά, οι Μακεδόνες από την κλασική εποχή ανέπτυξαν υδροδοτικά και αποχετευτικά δίκτυα στις πόλεις τους, που κατά τη διάρκεια των ελληνιστικών και ρωμαϊκών χρόνων έγιναν πιο οργανωμένα και λειτουργικά, συνακόλουθα των αναγκών και απαιτήσεων της κάθε εποχής (Καϊάφα 2008, 2010, 2011). Κάποιες φορές ήταν θαυμαστού μεγέθους, πάντα δε προσαρμοσμένα στην τοπική νοοτροπία, αλλά και στα εδαφικά χαρακτηριστικά της περιοχής τους. Η τέχνη του νερού σε κάθε Μακεδονική πόλη εφαρμόστηκε σε όλους τους αρχιτεκτονικούς

τύπους πάντα σε συνδυασμό με κεντρικά υδραυλικά δίκτυα. Ένα πλήθος στοιχείων, αποχετευτικοί και υδροδοτικοί αγωγοί, φρεάτια, δεξαμενές διαφόρων χρήσεων, κρήνες, υδατόπυργοι, στοιχειοθετούν μια αξιόλογη έκφραση υψηλού επιπέδου τεχνολογίας και πολιτισμού.



Εικόνα 4: Αμφίπολη, σύστημα αποχέτευση στον βόρειο οχυρωματικό περίβολο, Ελληνιστικών και ρωμαϊκών χρόνων.
(Amfipolis: Wastewater system on north city wall).

Urban water and waste water systems in ancient Macedonia

A. Kaifa

Archaeologist, PhD of Architecture AUTH

G. Karadedos

Dept. of Architecture, AUTH

Water management in ancient Macedonia has been related to environmental conditions, hydrographic profile and organization of its settlements over the centuries.

The privilege of the rich presence of water in Macedonian area has been recognized since antiquity. That is obvious in ancient Greek literature. Rivers and streams of Macedonia have been imaged on coins and vases as human figures, have been taken part in greek myths or have worshiped as gods in temples.

During prehistory water in Macedonia was the most crucial reason for the distribution and remaining in one place. Prehistoric sites in both Neolithic and Bronze Age map are listed next to springs, permanent streams or along rivers and lakes. Apart from these conventional settlements the Neolithic settlement of Dispilio was a permanent establishment in the middle of the lake, developed due to the productive power of its waters. The water in these settlements has been stored in large jars, and cisterns opened in impermeable soils. In prehistoric Macedonia urban hydraulic networks did not exist, such as in Cretan-Mycenaean world, because settlements in Macedonia, unlike those in southern Greece, hadn't been classified as urban since then. Well organised settlements with government appeared there since 7th century BC and developed during 6th century BC.

The creation of urban centers, the implementation of Hippodamian system and the stabilisation of architectural types in Classical time in Macedonia, were combined with the construction of water supply and waste water systems. The aqueducts in Pydna, Stagira and Amphipoli were based on the use of clay pipes buried in the soil or protected in underground tunnels carved into the rock, not to be exposed to aliens. They were always following topographic contour lines. In Olynthus water was transported through an underground aqueduct by closed earthenware pipes, with cleaning and venting holes on their walls. In its latter part pipes were laid in a vaulted tunnel with cleaning shafts. They were supplying a fountain at the edge of the town, with a cistern with permanent taps on the front side, from where the water was flowing into a shallow basin.

Apart from the aqueducts in classical cities of Macedonia, saving water and vases maintained. Moreover, several wells were used for drawing drinking water, lined with stone or clay. Alternatively water could have been saved in public or private cisterns, round, rectangular or of bottle form. On the other hand bathtubs in homes or in worship places, show the use of water at the level of everyday life.

In parallel, sewer and drainage systems in Macedonian cities included underground clay drainage pipes or built channels which were eventually driving rain water and waste water quantities out of towns, through special shaped openings in fortifications. An excellent sample of technical experience and expertise is the sewer system of vertical slits in the north fortification wall of classical Amphipolis.

During the late Classical and Hellenistic periods, the development of hydraulic technology in all over Greece influenced Macedonia. The urbanized settlements, built according to Hippodamian system, developed and applied various technologies for collecting, transporting and using water from rainfall, surface and ground resources, always based on the principles of aesthetic, safety and hygiene. The development is evidenced in hydraulic infrastructures of private buildings and public complexes, such as the Agora of Pella gymnasium in Amphipoli.

Advanced hellenistic aqueducts based on clay pipes, well fitted with mortar, were found in Dion, and Amphipolis. Water distribution systems have been provided through a network of terracotta piping locating beneath the roads in various diameters equipped in its way with stoneblocks or earthen jars. These joints in distribution lines ensured safe water flow and cleaning. Such infrastructures were identified in the town of Veria, in Pella, Dion.

In Roman times, the progress of hydraulic technology was based on the Greek knowledge. Romans developed high engineering skills and were able to expand these technologies on large scale projects and improve urban supply and drainage systems. This definitely is related to the fact that in Roman era baths and latrines played a major role in the lifestyle and demanded continuous water flow. Macedonia, under these conditions, also developed water supply, sewerage and adequate sanitation systems. In addition, new water constructions appeared, such as decorative pools, fountains or impluvia, sometimes very complicated, like that in the house of Dionysus at Dion.

Aqueduct barrel vault channel, plastered with water proof limemortar, with cleaning manholes, were receiving water from springs in Kefalari of Drama, and supplying the city of Philippi. Similar aqueduct line, in which the water was flowing by gravity, has been found in several places in Toumba and Thermi in Thessaloniki, with unknown destination. as well as in Edessa and Amphipolis. Free flow aqueduct channels more simply constructed, flat covered, have been encountered in Veria, Thessaloniki and Pydna.

In Dion, a typical model of a Roman town water was collected from sources in the foothills of Mount Olympus and was flowing by gravity through an underground enclosed vaulted stone built conduit. In its latter part it was built on an arcade and carried the water to the main distribution tank (castellum) located in the westside of the town wall. From this tank it was going to town controlled via three secondary castellums. Pipes of clay or lead were used to branch the supply to individual customers, public fountains and public baths. The well organized network was also consisted of smaller cisterns and water-towers in central

locations. Similar water distribution systems were also found in many other Roman cities of Macedonia, also consisting of clay or lead pipes.

In addition to the long distance water supply lines the hellenistic and roman water system included cisterns and especially wells, with circular or rectangular ground plan, coated with terracotta rings or stone lined

Apart from water supply, Hellenistic and Roman cities were also equipped with an advanced storm, drainage and sewer systems. They were planned simultaneously with the development of roads and the construction of buildings. Throughout the Hellenistic and Roman periods no changes have been shown in material or types of structure. However, the sewerage networks over the years have been enriched and have become more complicated according to the growing needs created by the development of baths and latrines. Earthenware or lead pipes, visible rockcut tunnels, underfloor stone or brick built channels, invisible vaulted or flat cover sewers were evacuating the sewage through drainage openings in the fortifications. Of these, the most peculiar again is the Hellenistic sewers on the north wall of Amphipolis, which replaced the classic ones.

In conclusion, hydraulic engineering in Macedonia, especially urban water supply and drainage, occurred during the 6th century BC, related to the appearance of urban centers in the area. Macedonians since classical times created developed water supply and sewerage networks in their cities. Urban water supply and drainage systems in Hellenistic and Roman Macedonia were characterized by a great technical and functional progress, planned and built in order to cover everyday needs. They include simple or complicated structures, dealing with the collection, conveyance, supply and use of water in cities, the drainage of storm water and control and disposal of wastes. They were always adjusted to the local culture, geomorphology, topography, hydrological and climatic conditions. It is well documented that Macedonian engineers, since classical period, had a solid experience and expertise and the ability to create developed and successful urban water supply and drainage systems, in every well organized city.

References

- Βαλαβανίδου, Α. (2000): Η υδροδότηση των πόλεων: η περίπτωση της Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονικέων Πόλις, τεύχος 1ο, 133-142.
- Καϊάφα, Μ. (2008): Συστήματα ύδρευσης και αποχέτευσης κατά την ελληνιστική και ρωμαϊκή περίοδο στη Μακεδονία. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Πολυτεχνική Σχολή, ΑΠΘ.
- Καϊάφα, Μ. (2010): Ελληνιστική και ρωμαϊκή Θεσσαλονίκη: ζητήματα υδραυλικών υποδομών. Θεσσαλονικέων Πόλις, τεύχος 8, 23-36, Θεσσαλονίκη.
- Καϊάφα, Μ. (2011): Λουτρικές εγκαταστάσεις στην ελληνιστική και ρωμαϊκή Μακεδονία. Στον τόμο Μακεδονία, από τον 7^ο αιώνα ως την ύστερη αρχαιότητα. Μελέτες και λήμματα για την τρίτη εκθεσιακή ενότητα της μόνιμης έκθεσης του Αρχαιολογικού Μουσείου Θεσσαλονίκης, Επιμέλεια Δ. Γραμμένος, Θεσσαλονίκη, 501-524.

- Καϊάφα, Μ., Καραδέδος Γ. (2011): Η διαχείριση του νερού στην αρχαία Μακεδονία. Στον τόμο Μακεδονία, από τον 7^ο αι. ως την ύστερη αρχαιότητα. Μελέτες και λήμματα για την τρίτη εκθεσιακή ενότητα της μόνιμης έκθεσης του Αρχαιολογικού Μουσείου Θεσσαλονίκης, Επιμέλεια Δ. Γραμμένος, Θεσσαλονίκη, 477-500.
- Καραδέδος, Γ. (1985): Ύδρευση και αποχέτευση στο αρχαίο Δίο. Οι αρχαιολόγοι μιλούν για την Πιερία, Θεσσαλονίκη 1986, 33-41.
- Καραδέδος, Γ. (1991): Τα πηγάδια του αρχαίου Δίου. ΑΕΜΘ 2, 161-172.
- Καραδέδος, Γ. (1990): Το υδραγωγείο και η κεντρική δεξαμενή του αρχαίου Δίου. ΑΕΜΘ 4, 217-230.
- Καραδέδος, Γ. (1990): Υδραυλικές γνώσεις και τεχνολογία των αρχαίων. Επιστημονική Επετηρίδα της Πολυτεχνικής Σχολής, Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Τόμος ΙΒ', Θεσσαλονίκη, 143-172.
- Καραδέδος, Γ. (1994): Η Ύδρευση του αρχαίου Δίου από τα νερά του Ολύμπου. Πρακτικά Ζ' Πανελληνίου Συνεδρίου «Ο Όλυμπος στους αιώνες». Ελασσόνα, 155-166.
- Καραδέδος, Γ. (2000): Υδραυλικές γνώσεις και τεχνολογία – Η περίπτωση του Δίου. Υδάτινες σχέσεις, Το νερό ως πηγή ζωής κατά την αρχαιότητα. Θεσσαλονίκη, 51-68.
- Κρανώτη, Λ. (1989): Αρχαίος αγωγός στο Κεφαλάρι Δράμας. ΑΕΜΘ 3, 475-482.
- Πέτκος, Α. (1989): Το δίκτυο υδρεύσεως της Βέροιας. ΑΑΑ XXII, 197-210.
- Πίκουλας, Γ. (1997): Το υδραγωγείον της Αμφιπόλεως. Πρακτικά 2^{ου} διεθνούς συμποσίου Θρακικών σπουδών, Αρχαία Θράκη, τομ. ΙΙ, Κομοτηνή, 605-614.
- Glaser, Fr. (1983): Antike Brunnenbauten (KPHNAI) in Griechenland, Wien.
- Lewis, M. (1999): Vitruvius and the Greek aqueducts. Paper of the British School at Rome LXVII, 145-172.
- Órjan Wikander (ed) (2000): Handbook of ancient water Technology, Leiden.
- Robinson, M.D. (1938): Excavations at Olynthus. Part VIII, The Hellenic house, a study of the houses found at Olynthus with a detailed account of those excavated in 1931-1934.
- Robinson, M.D. (1946): Excavations at Olynthus. Part XII, Domestic and Public architecture.
- Yegül, F. (1992): Baths and bathing in classical antiquity, New York.

