

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ: «Επεξεργασία Νερού στην Αρχαιότητα»



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΤΣΟΥΠΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΟΝΟΜΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: ΣΙΜΟΣ ΜΑΛΑΜΗΣ

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

Ευχαριστίες

Περίληψη

Ο αρχαίος πολιτισμός εκτίμησε τον ζωτικό ρόλο του νερού στην ανθρώπινη ζωή. Όπως αντανακλάται στη βιβλιογραφία, η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση οδήγησε σε πρώιμες επεξεργασίες νερού και αυτές περιγράφονται σε αυτήν την πτυχιακή. Η περίοδος πριν από το 500 π.Χ. έως το 1000 μ.Χ. είχε ως κυρίαρχο στοιχείο τη χρήση φυσικών υλικών για τον καθαρισμό του νερού, την κατασκευή υδραγωγείων και την εισαγωγή της διαδικασίας της απόσταξης. Ακολούθησε μια αδρανής περίοδος πέντε αιώνων κατά την οποία σχεδόν δεν σημειώθηκε πρόοδος στη μεθοδολογία καθαρισμού του νερού ενώ από τον 17ο έως τον 19ο αιώνα, σημειώθηκε πρόοδος στις διεργασίες της διήθησης και στην εισαγωγή του μικροσκοπίου. Επιπλέον, εφαρμόστηκαν χημικές μέθοδοι απολύμανσης νερού με χρήση χλωρίου και όζοντος. Αυτές οι μέθοδοι και ο συνδυασμός τους προχώρησαν σημαντικά έως τον 20ο αιώνα. Επίσης αναγνωρίζεται ο κρίσιμος ρόλος των κατάλληλων αναλυτικών εργαλείων για οποιαδήποτε τεχνολογική ανάπτυξη που αποσκοπεί στην απομάκρυνση των τοξικών ρύπων από το νερό. Έτσι, τονίζεται η ανάγκη επανεξέτασης της παλαιάς μεθοδολογίας που χρησιμοποιεί τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη διαθεσιμότητα προηγμένων τεχνικών ανάλυσης και τη δυνατότητα εμπλουτισμού φυσικών υλικών με την εισαγωγή υπερμοριακών υποδοχέων για σκοπούς απολύμανσης νερού.

Λέξεις Κλειδιά: Φίλτρο του Ιπποκράτη, επεξεργασία νερού, απολύμανση νερού, φυσική εξασθένηση, υπερμοριακή χημεία, καθαρισμός νερού

Abstract

Ancient civilization valued the vital role of water in human life. As reflected in the literature, environmental awareness has led to early water treatments and these are described in this

dissertation. Thus, the period before 500 BC. until 1000 AD The predominant element was the use of natural materials for water purification, the construction of aqueducts and the introduction of the distillation process. This was followed by an inactive period of five centuries during which almost no progress was made in the methodology of water purification. From the 17th to the 19th century, advances were made in filtration processes and the introduction of the microscope. In addition, chemical methods of disinfecting water using chlorine and ozone have been reported. These methods and their combination advanced significantly until the 20th century. The crucial role of the appropriate analytical tools for any technological development aimed at removing toxic pollutants from water is recognized. Thus, the need to review the old methodology that uses the advantages arising from the availability of advanced analysis techniques and the possibility of enriching natural materials with the introduction of supramolecular containers for water disinfection purposes is emphasized.

Keywords: Hippocrates filter? physical attenuation, supramolecular chemistry, water purification

Περιεχόμενα

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ: «Επεξεργασία Νερού στην Αρχαιότητα»	1
Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη.....	3
Abstract	3

Περιεχόμενα	4
Πίνακας Εικόνων	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1. Η μοριακή δομή του νερού.....	9
1.2. Η διαχρονική σημασία των τεχνικών απολύμανσης νερού των αρχαίων πολιτισμών	11
1.3. Μεταδοτικές ασθένειες μέσω του μη απολυμασμένου νερού	12
2. ΑΡΧΑΙΟΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΙ ΠΡΙΝ ΤΟ 500 Π.Χ.....	13
2.1. Αρχαία Ινδία	14
2.2. Αρχαία Αίγυπτος.....	19
2.3. Μάγια	21
2.4. Μινωικός Πολιτισμός.....	23
3. Απολύμανση Ύδατος στην Αρχαία Ελλάδα.....	25
3.1. Εισαγωγικά	25
3.2. Κυκλαδικός και Μυκηναϊκός Πολιτισμός.....	25
3.2. Το υδραγωγείο της Σάμου: η κορυφή της αρχαίας υδραυλικής τεχνολογίας.....	27
3.3. Έργα προστασίας από πλημμύρες σε αρχαία Ολυμπία και Αλυζία.....	30
3.4. Αρχαία Αθήνα.....	32
3.5. Ελληνιστική Εποχή	37
3.6. Σημασία των τεχνικών της Αρχαίας Ελλάδας για τη σημερινή εποχή	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΒΑΣΙΣΜΕΝΕΣ ΣΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑΣ	42
4.1. Η αναγκαιότητα χρησιμοποίησης εναλλακτικών τεχνικών απολύμανσης νερού από την αρχαιότητα στη σημερινή εποχή	42
4.2. Άνθρακας μπαμπού	44
4.3. Κεραμικά φίλτρα.....	45
4.4. Φορητό φθινό φίλτρο νερού	46
4.5. Σπιτικό φίλτρο έκτακτης ανάγκης.....	48

4.6. Ο χλωριωτής CTI 8	49
4.7. Ηλιακή αποστείρωση	49
4.8..Στυπτηρία / Ενεργός άνθρακας.....	51
4.9.Άργυρος.....	52
4.10.Κλαδιά πεύκου λειτουργούν ως φίλτρα για πόσιμο νερό.....	52
4.11.Κορίανδρος ή κόλιανδρος της οικογένειας των σεληνοειδών.....	52
4.12.Luffa cylindrica.....	53
4.13.Χέλι	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	53
Αναφορές.....	56

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1:Η δομή του πάγου.....	10
Εικόνα 2: Clearing nut (Strychnos potatorum = Thetraang Kottai in Tamil) (Πηγή: tamilandvedas.com)	17
Εικόνα 3: Καθαρισμός νερού όπως περιγράφεται σε αρχαία Ινδικά κείμενα (Πηγή: tamilandvedas.com)	18
Εικόνα 4: Βιβλία Ταμίλ για τον καθαρισμό του νερού (Πηγή: tamilandvedas.com).....	19
Εικόνα 5: Συσκευή επεξεργασίας νερού που χρησιμοποιούταν από τον Αιγυπτιακό πολιτισμό και κατόπιν από τον Μινωϊκό πολιτισμό (Defner 1921) και (β) Αιγυπτιακή συσκευή απολύμανσης που	

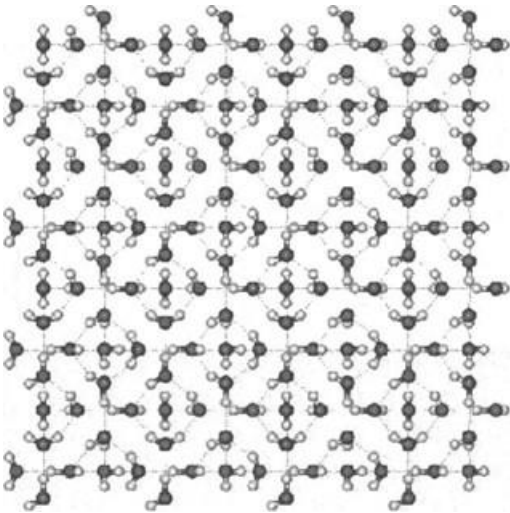
- δείχνει τη σιφωνία νερού ή κρασιού διαυγασμένου με καθίζηση. Αυτή η συσκευή απεικονίστηκε στον τοίχο του τάφου του Αμενόφη Β 'στη Θήβα, 1450 π.Χ. (Wilkinson 1878). 21
- Εικόνα 6: Χρονοστογραφία της δεξαμενής Corriental. (A) Ορίζοντες εδάφους και ιζήματα της δεξαμενής Corriental που δείχνουν τη θέση του ανθρωπογενούς χαλαζία και των ραδιοανθρακικών χρόνων π.Χ. (B) Σχετικό ποσοστό του ζεόλιθου σε βάθος. (C) Διακριτικές κορυφές ορυκτών XRD. (Δ) Φωτομικρογραφία ανθρωπογενών κρυστάλλων χαλαζία και ζεόλιθου. (Tankersley et al., 2020) 22
- Εικόνα 7: Τμήμα και σχέδιο τουαλέτας στο ισόγειο στην κατοικημένη συνοικία του Μινωικού Παλατιού (Angelakis et al., 2010)..... 24
- Εικόνα 8: Παραδείγματα πρακτικών καθίζησης από τους Μινωίτες (φωτογραφίες L.W. Mays). (α) Τύλισσος, (β) Αγία Τριάδα, (γ) Κνωσός..... 24
- Εικόνα 9: Μπανιέρα από τερακότα σε σταθερή θέση στη Μυκηναϊκή Πύλο (Z. Philip Ambrose, από το "The Ambrose Collection", Univ. Of Vermont Classics Dept.; [Http://www.uvm.edu/%7Eclassics/mainpagelinks/ambrose.html](http://www.uvm.edu/%7Eclassics/mainpagelinks/ambrose.html))..... 26
- Εικόνα 10: Η σήραγγα του Ευπαλίνου: διαμήκη τομή (άνω), οριζόντια κάτοψη (μεσαία) και προβολή της σήραγγας και του κεκλιμένου καναλιού (και σε σημεία δεύτερης σήραγγας κάτω από την κύρια σήραγγα) στη δεξιά πλευρά (κάτω, με την ευγένεια του Tracey Rihll , από την «Ελληνική και Ρωμαϊκή Επιστήμη και Τεχνολογία», <http://www.swan.ac.uk/classics/staff/ter/grst/images/tunnelatitsbest.jpg>)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Εικόνα 11: Τα τείχη του Κλαδέου ρέουν στην αρχαία Ολυμπία (Lapp και Wright, 2003). 31
- Εικόνα 12: Το φράγμα της Αλυζίας; Ο διάδρομος με το ακανόνιστο σχήμα του που σχηματίζεται από διάβρωση μέσω αιώνων φαίνεται στα δεξιά της αριστερής φωτογραφίας και λειτουργεί στη δεξιά φωτογραφία. 32
- Εικόνα 13: Τμήματα του υδραγωγείου του Πεισιστράτου αποκαλύφθηκαν κατά τις ανασκαφές για το μετρό της Αθήνας, όπως φαίνεται: (αριστερά) στη θέση κοντά στο σταθμό του μετρό Συντάγματος. (δεξιά) σε ένα κουτί στο σταθμό του Μετρό Ευαγγελισμός. 36
- Εικόνα 14: Κατά κεφαλήν παγκόσμια οικιακή κατανάλωση νερού ανά περιοχή, 1995 και 2025. Προσαρμογή από τους Rosegrant et al. (2002). Παγκόσμια προοπτική για το νερό έως το 2025: Αποφυγή επικείμενης κρίσης. Έκθεση πολιτικής τροφίμων. Μεταξύ. Res Πολιτική Τροφίμων Inst. (IFPRI) και Intern. Διαχείριση Διαχείρισης Νερού (IWMI), 28 σελ. 43

Εικόνα 15:Κύριος σχεδιασμός του φίλτρου άνθρακα μπαμπού.....	45
Εικόνα 16: Μέρη ενός κεραμικού φίλτρου	46
Εικόνα 17. Φορητό φθινό φίλτρο νερού	47
Εικόνα 18.: Σπιτικό φίλτρο έκτακτης ανάγκης	48
Εικόνα 19: Ο χλωριωτής CTI 8.....	49
Εικόνα 20. Ηλιακή αποστείρωση	50
Εικόνα 21:Τεχνολογίες ηλιακής θερμικής αφαλάτωσης	51

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η μοριακή δομή του νερού

Το νερό είναι μια χημική ουσία απαραίτητη για τη ζωή σε βαθμό που δεν μπορούμε να ζήσουμε χωρίς αυτό. Ως εκ τούτου, το νερό συνδέεται στενά με την ιστορία του πολιτισμού. Αν και τα επιστημονικά επιτεύγματα συνέβαλαν σημαντικά στην παρούσα κατανόηση του ρόλου του νερού στην καθημερινή ζωή, υπάρχουν πολλά που πρέπει να διερευνηθούν σχετικά με τις μοναδικές φυσικοχημικές ιδιότητές του (Clementi, 1976, Eisenberg και Kauzmann, 2005).



Εικόνα 1: Η δομή του πάγου

Τις τελευταίες δεκαετίες, η ιδέα της Υπερμοριακής Χημείας (Supramolecular Chemistry) έχει εισαχθεί από τον Lehn (Lehn, 1995; Steed and Atwood, 2000). Σε αντίθεση με τη Μοριακή Χημεία (ομοιοπολικοί δεσμοί μεταξύ ατόμων για να δώσουν μόρια), η Υπερμοριακή Χημεία ασχολείται με τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων χημικών ειδών για να δώσει το «υπερμόριο» μέσω ασθενέστερων αλληλεπιδράσεων (ηλεκτροστατικές δυνάμεις, σύνδεση υδρογόνου, van der Waals κ.λπ.) και συμμετέχει στη Μοριακή Χημεία (Cox and Schneider, 1992). Στο πλαίσιο της Υπερμοριακής Χημείας η έννοια της «αυτοσυναρμολόγησης» συζητήθηκε εκτενώς (Voet and Voet, 1995) τα τελευταία χρόνια. Στην πραγματικότητα, το νερό, η πιο γνωστή χημική ουσία, δείχνει συμπεριφορά αυτοσυναρμολόγησης. Λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση του, το νερό βράζει σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία ενώ το σημείο πήξης του είναι πολύ υψηλότερο από το αναμενόμενο (Clementi, 1976; Eisenberg και Kauzmann, 2005). Αυτό αποδίδεται στη συμπεριφορά αυτοσυναρμολόγησης του νερού μέσω του σχηματισμού δεσμών υδρογόνου (Εικόνα 1), που θεωρείται από τους Steed και Atwood ως κύρια αλληλεπίδραση κλειδιού στην Υπερμοριακή Χημεία.

Όντας το νερό βασικό συστατικό της ζωής, η αναζήτηση για καθαρό νερό ήταν ήδη αντικείμενο προτεραιότητας στους Αρχαίους Πολιτισμούς (Hall and Dietrich, 2000). Αυτή η εργασία έχει ως στόχο να δώσει μια αναφορά στις κύριες εξελίξεις στον καθαρισμό του νερού από τους αρχαίους πολιτισμούς έως και τη σύγχρονη εποχή και πώς η χημεία συνέβαλε σε αυτές τις εξελίξεις.

1.2. Η διαχρονική σημασία των τεχνικών απολύμανσης νερού των αρχαίων πολιτισμών

Οι αρχαίες τεχνολογίες απολύμανσης νερού και λυμάτων έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν «νέες» και βιώσιμες λύσεις σχετικές με την τρέχουσα παγκόσμια περιβαλλοντική κρίση (Angelakis et al., 2010). Πολλά χαρακτηριστικά των αρχαίων συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων ισχύος, της χρήσης τοπικά διαθέσιμων υλικών και της χαμηλής ή απουσίας μηχανοποίησης σημαίνει ότι είναι αναμφισβήτητα κατάλληλα για χρήση ως τεχνολογίες απολύμανσης νερού και αποχέτευσης (**Water – Sanitation, WATSAN**) χαμηλού κόστους και χαμηλών απαιτήσεων σε συντήρηση, ιδιαίτερα στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Στη σύγχρονη πραγματικότητα, αυτά τα χαρακτηριστικά τεχνολογίας θεωρούνται συνήθως ότι αποτελούν ένα βιώσιμο και αποκεντρωμένο σύστημα WATSAN. Έτσι, είναι δελεαστικό να υποθέσουμε ότι ο αρχαίος κόσμος διέθετε γνώσεις που θα μπορούσαν να επιτρέψουν την εξάλειψη ορισμένων από τις τρέχουσες ανισότητες στην παροχή WATSAN.

Οι τελευταίες μετρήσεις εκτιμούν ότι 884 εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως δεν χρησιμοποιούν βελτιωμένη πηγή πόσιμου νερού, 2,6 δισεκατομμύρια (37% του παγκόσμιου πληθυσμού) δεν χρησιμοποιούν βελτιωμένη αποχέτευση και 1,1 δισεκατομμύρια πρακτική ανοιχτή απόδευση (UNICEF, 2017). Η ταξινόμηση της βελτιωμένης υγιεινής εξαιρεί έναν ανοικτό (ανοιχτό) λάκκο, δημόσιες εγκαταστάσεις ή μια τουαλέτα pour ush / pour flush που εκφορτώνεται απευθείας στο περιβάλλον. Ο επιπολασμός διαφόρων τύπων αποχωρητηρίου - ο παλαιότερος και απλούστερος τύπος τουαλέτας - στον αναπτυσσόμενο κόσμο μπορεί να ερμηνευθεί ως απόδειξη είτε της καταλληλότητας των αρχαίων συστημάτων είτε της έλλειψης προόδου στη διαχείριση των λυμάτων κατά τη διάρκεια των αιώνων.

Οι σύγχρονες θεωρίες για την υγιεινή, τη δημόσια υγεία και τη μετάδοση ασθενειών αναπτύχθηκαν μόνο κατά τον 19ο αιώνα. Για παράδειγμα, από το 1849 ο ιατρός John Snow εντόπισε την εξάπλωση των κρουσμάτων χολέρας στο Λονδίνο σε μολυσμένο πόσιμο νερό, αντί για το βρώμικο αέρα, όπως πιστευόταν ευρέως εκείνη την εποχή (Anon, 1946). Στον αρχαίο κόσμο η επεξεργασία λυμάτων ήταν ελάχιστη ή είχαμε πλήρη απουσία διεργασιών, με άμεση απόρριψη στο περιβάλλον να είναι η τυπική κατάληξη. Έτσι, δεν δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην υγιεινή, την αφαίρεση των παθογόνων και την επεξεργασία και διάθεση των αποβλήτων, ακόμη και αν τα λύματα συνηθίζονταν να επαναχρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς για τουλάχιστον 2.500 χρόνια (Edwards 1992; Lofrano & Brown, 2010).

1.3.Μεταδοτικές ασθένειες μέσω του μη απολυμασμένου νερού

Η ιστορία του κόσμου είναι γεμάτη από περιγραφή ανθρώπων και μεγάλων γεγονότων (ιδίως πολέμων), αλλά υπήρχε πάντα μια γοητεία γύρω από ασθένειες, επιδημίες και κρούσματα. Ίσως στον σύγχρονο κόσμο με την εμφάνιση νέων ασθενειών και την ταχεία εξάπλωσή τους όπως το SARS και η γρίπη H1N1(που δεν σχετίζονται με το νερό), αυτό φαίνεται σαν κάτι ασυνήθιστο, ότι η σύγχρονη ιατρική, η δομή της δημόσιας υγείας και τα εμβόλια μας πρέπει να είναι αρκετά για να αντιμετωπίσουν αυτές τις ασθένειες. {Σημείωση: Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ανέφερε ότι κατά τη διάρκεια της επιδημίας SARS περίπου 29 χώρες ανέφεραν περίπου 6.903 πιθανές περιπτώσεις SARS, συμπεριλαμβανομένων 495 θανάτων. Σύμφωνα με το flucount.org έως τις 7 Δεκεμβρίου 2009, το H1N1 είχε συγκεντρώσει 1.438.880 περιπτώσεις και 14.337 θανάτους σε 195 χώρες.} Ωστόσο, πρέπει να αναγνωριστεί ότι η μετάδοση είναι ένα σημαντικό συστατικό της νόσου και η πορεία για τη μετακίνηση παθογόνων από τον ξενιστή στον ξενιστή επηρεάζεται από τις συμπεριφορές των ανθρώπων, τις κοινωνικές μας δομές και τις φυσικές υποδομές. Αντιμετωπίζουμε άνευ προηγουμένου παγκόσμιο πληθυσμό, μετακίνηση ατόμων σε προσωρινά καταφύγια λόγω συγκρούσεων, πολέμων και φυσικών καταστροφών, συμπεριλαμβανομένων ξηρασιών (που επηρεάζουν την επισιτιστική ασφάλεια), σεισμούς, τυφώνες και πλημμύρες. Αυτά τα παγκόσμια γεγονότα επισημαίνονται τώρα γρήγορα μέσω του συστήματος επικοινωνιών μας, ωστόσο φαίνεται ότι είμαστε ανίκανοι να αντιμετωπίσουμε τον τρέχοντα κίνδυνο ασθένειας και δεν έχουμε μάθει από την ιστορία μας.

Το καθαρό και ασφαλές νερό είναι το πιο σημαντικό στοιχείο για έναν υγιή πληθυσμό, κοινότητα και οικονομία και είναι σημαντικό για τα τρόφιμα και τη συνολική ασφάλεια. Χωρίς πρόσβαση στο νερό η ζωή παύει να υπάρχει, αλλά χωρίς πρόσβαση σε ασφαλές για χρήση νερό, ο αριθμός των νεκρών μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα. Οι τρέχοντες αριθμοί παθογόνων που μεταδίδονται στο νερό εξακολουθούν να μαστίζουν τον πλανήτη, συμπεριλαμβανομένου του *Vibrio cholera*, και ασθένειες με βάση το νερό, όπως η ελονοσία, πρέπει να προκαλούν μεγάλη ανησυχία και αξίζουν πολύ περισσότερη προσοχή. Ενώ μόνο αυτά τα λίγα αναφέρονται σε παγκόσμιο επίπεδο, αυτό δεν περιλαμβάνει εκατοντάδες άλλα παθογόνα με βάση το νερό, όπως *Salmonella typhi*, *E. coli* 0157: H7, *Campylobacter*, *Leptospira*, *Helicobacter*, *Arcobacter*, *Cryptosporidium*, *Giardia* και εκατοντάδες ιοί, συμπεριλαμβανομένου του ιού coxsackie, του εντεροϊού αφθώδους πυρετού, της ηπατίτιδας και του νοροϊού

Το 2010, τα κρούσματα χολέρας εκτιμήθηκαν σε 317.534 με 7.543 θανάτους σε 49 χώρες (ΠΟΥ, 2011α) και επί του παρόντος στην Αϊτή οι εκτιμήσεις έως τις 31 Ιουλίου 2011 ήταν 419.511 περιπτώσεις, από αυτές τις 222.359 νοσηλείες και 5.968 θάνατοι λόγω χολέρας ([http: /](http://)

/www.who.int/hac/crises/hti/en/). Η πολιομυελίτιδα αναφέρθηκε σε 966 κρούσματα από 21 χώρες στις παγκόσμιες στατιστικές και η ελονοσία επισκίασε όλα αυτά με περίπου 81.735.305 κρούσματα με περίπου 100 χώρες να αναφέρουν (ΠΟΥ, 2011β).

Ο στόχος αυτής της εργασίας είναι να αξιολογηθεί η δυνατότητα εφαρμογής επιλεγμένων αρχαίων συστημάτων επεξεργασίας και κυρίως απολύμανσης ύδατος κατά εναλλακτικό τρόπο για τον σύγχρονο αστικό αναπτυσσόμενο κόσμο, κατόπιν της συστηματικής ανασκόπησης των τεχνικών απολύμανσης νερού στον Αρχαίο Κόσμο. Έχοντας αυτό υπόψη, οι ακόλουθες ενότητες είναι σύντομες ανασκοπήσεις των αρχαίων τεχνολογιών νερού και λυμάτων, με έμφαση στην επισήμανση χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τον σημερινό αναπτυσσόμενο κόσμο.

2.ΑΡΧΑΙΟΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΙ ΠΡΙΝ ΤΟ 500 Π.Χ.

Τα βασικότερα κίνητρα που οδήγησαν τον άνθρωπο στην αναζήτηση μεθόδων καθαρισμού του νερού ήταν η δυσάρεστη γεύση και η θολότητα. Οι πρώτες απόπειρες χρονολογούνται περί το 2000

π.Χ. και καταγράφονται σε αρχαία σανσκριτικά κείμενα αλλά και σε κείμενα που σχετίζονται με την αρχαιότερη ιατρική πρακτική “Ayurveda”.

Η έννοια των μικροβίων και των χημικών ρύπων, ήταν άγνωστη εκείνη την εποχή, επομένως η διαύγεια και η καλή γεύση αποτελούσαν αναγκαίο και ικανό εχέγγυο για να θεωρείται το νερό κατάλληλο προς κατανάλωση. Η ανασκόπηση ξεκινάει με τους αρχαίους πολιτισμούς πριν το 500 π.Χ που αποτέλεσαν τα πρώτα παραδείγματα τέτοιων πρακτικών.

2.1. Αρχαία Ινδία

Το νερό είναι μια από τις ουσίες χωρίς τις οποίες δεν μπορεί να υπάρξει ζωή. Το νερό υπήρξε η κινητήρια δύναμη κάθε πολιτισμού και οι άνθρωποι αποδίδουν μεγάλη σημασία σε μια επαρκή παροχή καθαρού νερού για διαφορετικούς σκοπούς, όπως γεωργικές επεμβάσεις, μαγείρεμα, πόση, πλύσιμο, ιατρικούς σκοπούς, θεραπεία τραυμάτων κ.λπ. Στην Αρχαία Ινδία τα ερείπια του Mohenjodaro και Harappan που χρονολογούνται πριν από 5000 χρόνια έδωσαν φως στο γεγονός ότι οι άνθρωποι ακόμη και εκείνης της πρώτης περιόδου είχαν δώσει σημασία στη σωστή παροχή νερού για οικιακούς σκοπούς, άρδευση και για δημόσια λουτρά. Στην αρχαία Ινδία το νερό χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις θρησκευτικές τελετές επειδή πιστεύεται ότι τα καθαρά, θεϊκά, καλά απολυμασμένα νερά μεταφέρουν τις προσφορές των ανθρώπων στους θεούς. Το νερό, αν και το ίδιο είναι από μόνο του καθαριστικό, θεωρήθηκε πολύ ιερό και οι άνθρωποι συχνά προτρέπονταν να μην βλάψουν τα νερά που είναι γεμάτα χυμούς και θρεπτικές ουσίες. Είναι περιττό να επισημανθεί ότι το νερό παίζει ουσιαστικό ρόλο στη ζωή του ανθρώπου, στη σωματική και διανοητική του ανάπτυξη. Είναι ένα ουσιαστικό στοιχείο που προκαλεί υγεία, ευημερία και ευτυχία.

Οι Βεδικοί (φυλή της αρχαίας Ινδίας), σε αρκετούς ύμνους, επικαλέστηκαν το νερό, τον καθαριστικό παράγοντα, που βοηθά τους ανθρώπους να είναι ευγενικοί, να καθαρίζουν τους εαυτούς τους και τους αγαπημένους τους και να απομακρύνουν όλες τις φυσικές ατέλειες. Πίστευαν ότι τα νερά που καταναλώνονται από τους άνδρες δίνουν δύναμη και γίνονται ευοίωνο ποτό μέσα στο στομάχι. Οι ύμνοι που επικαλούνται τα νερά και οι προσευχές που απευθύνονται στον Θεό Varuna, την κύρια θεότητα των υδάτων, αποκαλύπτουν ότι ακόμη και από την Βεδική περίοδο, οι άνθρωποι λάμβαναν προφυλάξεις να χρησιμοποιούν μόνο νερό απαλλαγμένο από κάθε είδους ακαθαρσίες και ότι δόθηκε μεγάλη προσοχή για επαρκή παροχή καλής ποιότητας νερού.

Μια μελέτη αρχαίων και μεσαιωνικών λογοτεχνικών σανσκριτικών έργων και άλλων κειμένων αποκαλύπτει επίσης ότι οι άνθρωποι στην αρχαία Ινδία πρέπει να είχαν άφθονο νερό για πόση, μαγείρεμα, πλύσιμο και άλλους σκοπούς. Ήταν ιδιαίτερο στοιχείο ότι το νερό για δημοτικούς σκοπούς, πόση, για γενική οικιακή κατανάλωση έπρεπε να είναι υγιεινό, ασφαλές, αρκετά μαλακό

χωρίς τραχύτητα, πρακτικά άχρωμο και απαλλαγμένο από μη αποδεκτές οσμές και γεύσεις. Γενικά, το νερό πρέπει να είναι απαλλαγμένο από διάφορους τύπους ακαθαρσιών. Για ιατρική περίθαλψη, χορηγήθηκε νερό με συγκεκριμένες ιδιότητες για διαφορετικούς τύπους ασθενειών. Κινούμενοι σε αυτήν την κατεύθυνση, οι άνθρωποι της αρχαίας και της μεσαιωνικής Ινδίας κατέβαλαν μεγάλη προσπάθεια να δοκιμάσουν και να αναλύσουν διαφορετικούς τύπους νερού που συλλέγονται σε διαφορετικά μέρη και σε διαφορετικές εποχές.

Από την αρχαιότητα ως και σήμερα στην Ινδία, το νερό ταξινομείται γενικά ως σκληρό, μαλακό, μεσαίας σκληρότητας και αλατόνερο σύμφωνα με τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες. Ο Καράκα και άλλοι σοφοί της αρχαίας Ινδίας έχουν πει ότι το νερό είναι τελικά ενός τύπου, δηλαδή εκείνου που πέφτει από τον ουρανό σύμφωνα με τις οδηγίες του Indra.

jalamekam vidfiam sarvam patatyaindrām nabhastalat I tatpatatpatitam caiva desakalavapeksate II

- Caraka Samhita Sutrasthanam, 196

Πιστεύεται ότι ο θεός Indra κατευθύνει την πτώση του νερού από τον ουρανό σύμφωνα με τις δραστηριότητες που εκτελούνται από τους θνητούς. Αυτό το νερό ενώ πέφτει διαρκώς από τον ουρανό αποκτά ιδιότητες ανάλογα με το χρόνο και το χώρο.

Η σύγχρονη επιστήμη αναφέρει ότι το απόλυτα καθαρό νερό (υπερκαθαρό) που αποτελείται μόνο αμιγώς από τη χημική ένωση H_2O , είναι απαλλαγμένο από οποιαδήποτε διαλυμένη ύλη, και είναι διαυγές. Ένα τέτοιο νερό μπορεί να είναι μαλακό, άχρωμο, άοσμο και να έχει τιμή $pH = 7,0$. Αλλά οι αρχαίοι Ινδοί μπορούσαν να διακρίνουν αυτόν τον τύπο νερού που είναι γνωστό ως *antariksam* και αυτό καθίσταται σαφές από τη δήλωση του Sus'ruta: -

ranityam antariksam anirdes'yarasamamftam jivanam tarpanam dharanam asvasajananam sramaklama ripasamadamurcchatandranidradaha prasamanam - Sus'ruta Samhita, Sutrasthanam, 45.3

Το νερό που παράγεται στα σύννεφα όταν αρχίζουν να ρίχνουν τη βροχή στη γη δεν έχει καμία γεύση, καμία οσμή. Είναι απολύτως καθαρό και ευεργετικό όπως το νέκταρ. Δίνει και συντηρεί τη ζωή, ξεδιψάζει, θεραπεύει πληγές που προκαλούνται από όπλα κ.λπ. και αναζωογονεί τη συνείδηση, εκείνων που λιποθυμούν λόγω κόπωσης, διεγείρει τον εγκέφαλο κρατώντας τον σε εγρήγορση, αφαιρεί την υπνηλία, αίσθημα καψίματος του σώματος κ.λπ.

Ακόμα κι αν λέγεται στα αρχαία ινδικά κείμενα όπως η Caraka Samhita ότι κάθε νερό είναι τελικά ενός τύπου, το νερό ταξινομήθηκε ευρέως σε δύο είδη, το *divya* και το *bhauma*. Το *Divya* είναι αυτό που πέφτει από τον ουρανό και είναι πάλι τεσσάρων τύπων, δηλαδή, *dharna*, *kara*, *tusara* και *haima*.

Η Ντάρα είναι το νερό της βροχής που πέφτει συνεχώς από τον ουρανό, η Κάρα είναι νερό με πέτρες, η Τοσάρα είναι νερό χιονιού και το Χαμάμα είναι το νερό από τη δροσιά. Το νερό της βροχής ταξινομείται και πάλι ως ganga και samudtam με βάση εποχιακές παραλλαγές που είναι υπεύθυνες για την επίτευξη των διαφόρων πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων του νερού. Ο τύπος νερού ganga είναι αυτός που δεν είναι ρυπασμένος με σκόνη, δηλητήριο κ.λπ., ενώ αντιθέτως τύπος νερού samudra είναι ρυπασμένος.

Μεταξύ του bhauma (επιφανειακά ή υπόγεια νερά), απαριθμούνται οι ακόλουθοι εννέα τύποι:

- 1) Nadeya, το νερό των ποταμών που βγαίνει από τα βουνά και ρέει στις εύφορες περιοχές και αυτό το νερό θα έχει την απόχρωση ζαφειρί
- 2) Το Nisyanda είναι το ελαφρώς ζεστό και καθαρό νερό που λαμβάνεται κάνοντας ένα λάκκο στην άμμο με το χέρι.
- 3) Το Sarasa είναι το νερό που έχει λωτό και κρίνα και συλλέγεται από ρέματα που ρέουν από ποτάμια και βουνά.
- 4) Το Bhauma είναι το καθαρό και εύγευστο νερό με την απόχρωση των μπλε κρίνων που συλλέγονται από λίμνες και πηγάδια.
- 5) Η Kaunda είναι το νερό που βρίσκεται στη μέση μεγάλων βραχωδών δεξαμενών. Αυτό το νερό είναι γλυκό, διαυγές και έχει θεραπευτικές ιδιότητες
- 6) Το νερό της Tataka είναι αυτό που συλλέγεται σε μεγάλες λίμνες και το οποίο αναμιγνύεται με γλυκό νερό κάθε χρόνο.
- 7) Το Nairjhara είναι το μαλακό, καθαρό, εύγευστο νερό των καταρρακτών που ρέει κάτω από τους βράχους των βουνών διαπερνώντας τους
- 8) Το νερό Varksa προέρχεται από δέντρα, όπως το νερό καρύδας. Αυτό είναι πολύ νόστιμο, θρεπτικό και δροσιστικό.
- 9) Το Audbhida είναι το νερό που αναβλύζει με δύναμη από μια πηγή

Εκτός από τις αιωρούμενες ουσίες όπως βρύα, ξηρά φύλλα, σάπιο γρασίδι, κ.λπ., αναφέρονται στα αρχαία ινδικά κείμενα έξι τύποι ρύπανσης, δηλαδή, sparsa, rupa, rusa, gandha, vtrya και vipaka. Διαφορετικοί τύποι ανεπιθύμητων ενεργειών προκαλούνται από αυτούς τους έξι τύπους ρύπανσης και πολλές μέθοδοι προβλέπονται επίσης για να απαλλαγεί κανείς από αυτούς τους ρύπους και να κάνετε το νερό κατάλληλο για χρήση για διαφορετικούς σκοπούς. (Atharvaveda, 1971)



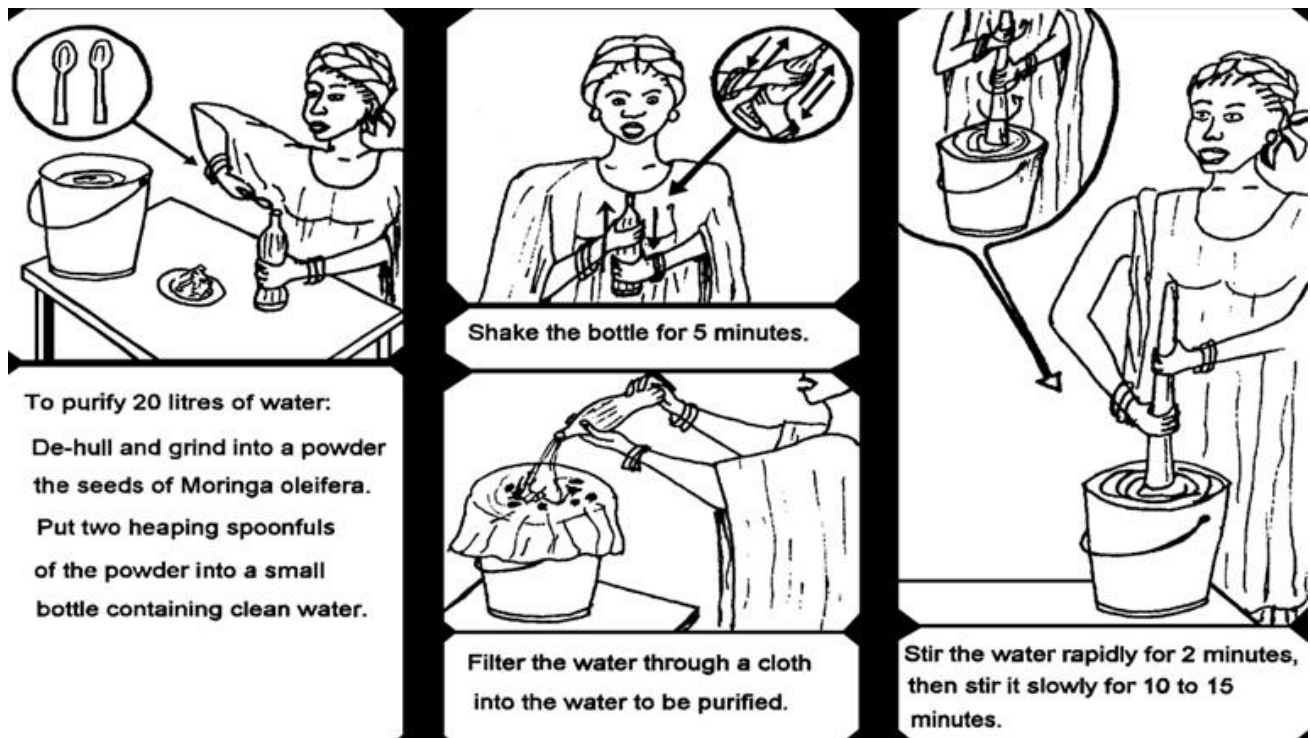
Εικόνα 2: Clearing nut (*Strychnos potatorum* = *Thetraang Kottai* in Tamil) (Πηγή: tamilandvedas.com)

Μόνο τα τελευταία χρόνια οι επιστήμονες της σύγχρονης εποχής στρέφουν την προσοχή τους για να αυξήσουν την ευαισθητοποίηση των ανθρώπων σχετικά με τους κινδύνους που προκαλούνται από τη ρύπανση των υδάτων. Αλλά οι αρχαίοι Ινδοί το είχαν ήδη σκεφτεί και είχαν προειδοποιήσει τους ανθρώπους να μην χρησιμοποιούν επιβλαβές νερό. Γνώριζαν ότι τα νερά του ποταμού ήταν συγκριτικά μαλακά και πιθανότατα περιείχαν διαλυτά άλατα και ιζήματα. Τα υπόγεια νερά από βαθιά πηγάδια είναι συνήθως απαλλαγμένα από αιωρούμενα υλικά και είναι πολύ πιο σκληρά από τα επιφανειακά ύδατα στην ίδια περιοχή. Γνώριζαν ότι σε περιοχές με έντονες βροχοπτώσεις τα επιφανειακά ύδατα περιέχουν λιγότερα μεταλλικά υλικά λόγω αραίωσης.

Η Sus'ruta εξήγησε τους έξι τύπους ρύπων, δηλαδή, spars'a dosa, wpa dosa, rasa dosa, gandha dosa, njrga dosa και nīraka dosa και έχει δώσει τις δυσμενείς επιπτώσεις που προκαλούνται από την κατανάλωση ή τη χρήση νερού με αυτές τις ουσίες. Έχει συνταγογραφήσει μερικές ουσίες όπως καθαρισμό ξηρών καρπών, gomedaKa, λωτούς, βρύα, μαργαριτάρια, παχύ ύφασμα κ.λπ., με τις οποίες μπορούν να απομακρυνθούν από το νερό ακαθαρσίες, συμπεριλαμβανομένων των αιωρούμενων σωματιδίων.

Μερικές μέθοδοι που καταγράφονται στα αρχαία ινδικά κείμενα για τον καθαρισμό του νερού είναι ο βρασμός, η ακτινοβολία με ηλιακό φως πάνω στο νερό, η προσθήκη αρωματικών ουσιών με πτώση λουλουδιών στο νερό, η προσθήκη κόκκινου θερμού σιδήρου, άμμου ή στυπτηρίας (λάσπη) στο νερό κλπ. Το νερό που θερμαίνεται από τις ακτίνες του ήλιου θεωρείται πολύ καλό όπως το νερό του Ganga. Όταν θερμαίνεται από τον ήλιο, τα βακτήρια και άλλες επιβλαβείς ουσίες καταστρέφονται και όταν κατόπιν κρυώνει τη νύχτα, το νερό γίνεται μαλακό και ελαφρύ. Για αυτό, συνιστάται να λαμβάνεται νερό από τα ποτάμια και τις λίμνες την αυγή. Τα νερά Hamsodaka που θερμαίνονται από τις ακτίνες του ήλιου και ψύχονται στο φως του φεγγαριού λέγονται καθαρά. Το

νερό επεξεργάστηκε επίσης με καθαριστικά συστατικά και αρωματίστηκε με άνθη. Αυτό το νερό ονομάστηκε samskrta jalam.



Εικόνα 3: Καθαρισμός νερού όπως περιγράφεται σε αρχαία Ινδικά κείμενα (Πηγή: tamilandvedas.com)

Εάν το νερό ρυπανθεί συνιστάται να ρίχνονται στο νερό τα arjuna, musta, usra, nagakesara, kos'ataka, ainalaka μαζί με ketakaphala. Αυτό θα κάνει το βρώμικο νερό διαφανές, καλαίσθητο και αρωματικό και επιπλέον θα του προσδώσει πολλές άλλες καλές ιδιότητες.

Ένα κομμάτι λάσπης (στυπτηρία), καλυμμένο με fanar, mustaka, ela, usira και candana πρέπει να ψηθεί καλά στη φωτιά του khadira και στη συνέχεια να πέσει στο νερό. Αυτός ο τύπος θεραπείας ονομάζεται pindavasa και σύμφωνα με τους Αρχαίους Ινδούς ανακουφίζει από όλες τις ασθένειες. Ομοίως, περιγράφεται επίσης η επεξεργασία των νερών με λουλούδια και σκόνες. Ονομάζονται pusravasa και curadhivasa. Μια τέτοια θεραπεία θα απομακρύνει, σε κάποιο βαθμό τα sparsa, rupa, rusa, gandha, vtrya και niraka.

Μια άλλη συνταγή για την απομάκρυνση του νερού είναι η εξής: μείγμα από anjana, musta, ustra, rajakosataka, emblic myrobalan και kataka nuts, που χρησιμοποιήθηκαν για να αποδώσουν καλή υφή, καλή γεύση και άλλες ευεργετικές ιδιότητες στο νερό.

37. பாதிரி pātiri



http://species.wikimedia.org/wiki/Stereospermum_chelonoides



- Common Name:
Yellow-flowered fragrant trumpet-flower tree
- Botanical name: Stereospermum chelonoides (L. f.)DC.

http://www.flickr.com/photos/dinesh_valke/tags/stereospermumchelonoides/

<http://karkanirka.org/>

42

Εικόνα 4: Βιβλία Ταμίλ για τον καθαρισμό του νερού (Πηγή: tamilandvedas.com)

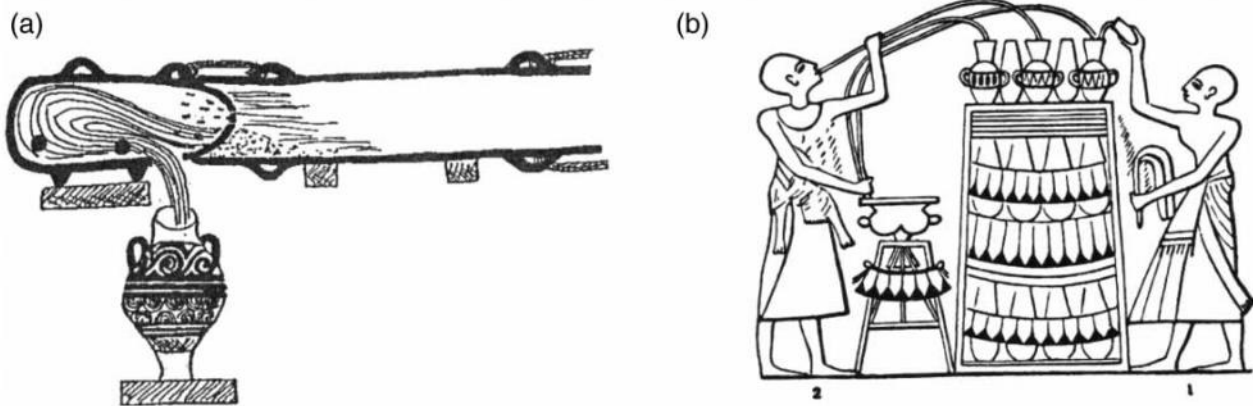
Μερικές μέθοδοι συντήρησης και αποθήκευσης νερού και νερού ψύξης δίνονται επίσης στα αρχαία ινδικά κείμενα. Το νερό πρέπει να φέρεται σε δοχεία φτιαγμένα από κέλυφος καρύδας ή σε πήλινα ή χάλκινα δοχεία. Το νερό από τα δοχεία πρέπει να χύνεται μέσω σωλήνων. Τα δοχεία μπορούν να τυλιχτούν σε βρεγμένα υφάσματα ή να διατηρηθούν σε καθαρή άμμο για να διατηρηθεί η ψύξη του νερού. Το καθαρό νερό πρέπει πρώτα να γλυκανθεί με ένα κομμάτι ζάχαρης καραμέλας ρίχνοντάς το στο νερό. Στη συνέχεια, το νερό θα πρέπει να ψύχεται τοποθετώντας το ίδιο στα μηχανήματα ψύξης του rugaratta (φλοιός areca). Μετά τη διήθηση, το νερό πρέπει να χύνεται σε διαφορετικά αγγεία και να αρωματίζεται με την ουσία των φρούτων και των λουλουδιών. Το πόσιμο νερό μπορεί να γίνει εύγευστο με αυτόν τον τρόπο.

2.2.Αρχαία Αίγυπτος

Στην Αρχαία Αίγυπτο, η υγιεινή των Αιγυπτίων ήταν πολύ καλή. Ωστόσο, αντιμετώπιζαν κάποια προβλήματα, τα οποία ήταν δύσκολο να επιλυθούν. Κανείς στην Αρχαία Αίγυπτο δεν καταλάβαινε τη σημασία της υγιεινής ή πόσο σημαντική ήταν. Δεν ήξεραν ότι έπρεπε να πλύνουν εκεί τα χέρια

αφού σκότωσαν ζώα, αφότου πήγαιναν στο μπάνιο, πριν ασχοληθούν με το φαγητό και σχετικά με πολλά άλλα πράγματα που αφορούσαν βακτήρια και μικρόβια. Η αιτία πολλών θανάτων ήταν άγνωστη στους γιατρούς επειδή δεν γνώριζαν ότι τα βακτήρια και τα μικρόβια που θα μπορούσαν να είναι θανατηφόρα για το ανθρώπινο σώμα. Προτού χτιστούν μπάνια μέσα σε σπίτια, είχαν δημόσιες εγκαταστάσεις. Στην Αρχαία Αίγυπτο σημείωσαν τεράστια βελτίωση στην πρόοδο της τεχνολογίας, που αφορούσε την κατασκευή μπάνιου σε σπίτια. Μερικά ήταν μεγάλα και μερικά μικρά, αυτό θα εξαρτιόταν από το πόσο ψηλά ήταν κάθε άτομο στην κοινωνική ιεραρχία. Εάν ανήκε στην αριστοκρατία είχε καλύτερη πρόσβαση στην αποχέτευση. Στα μπάνια υπήρχε συνήθως μια ρηχή πέτρινη μπανιέρα, ενώ ένα άτομο στεκόταν πάνω της και έχυνε ένα κουβά με νερό στο άτομο που πλενόταν. Δεδομένου ότι το νερό είναι σημαντικό μέρος κάθε διαδικασίας αποχέτευσης, οι Αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποίησαν το νερό και τη δύναμη του ποταμού Νείλου για να ξεπλύνουν τα αρδευτικά συστήματα. Ομάδες γυναικών μαζεύαν νερό για μεμονωμένα σπίτια από το ποτάμι ή το εκάστοτε κανάλι, ενώ οι άνδρες εργάζονταν σε ομάδες που έκαναν το πλυντήριο. Αυτό ήταν ανθυγιεινό γιατί τα κανάλια και τα ποτάμια χρησιμοποιούνταν επίσης για κολύμβηση.

Όσον αφορά την απολύμανση του νερού, σύμφωνα με τον Defner (1921), μια παράξενη, επιμήκη συσκευή με άνοιγμα σε ένα από τα άκρα του, χρησιμοποιούνταν για την επεξεργασία οικιακού νερού. Η συσκευή κατασκευάστηκε με παρόμοιο τρόπο και με το ίδιο υλικό με το νερό από σωλήνες τερακότα. Ο Spanakis (1981) θεωρούσε ότι αυτή η συσκευή ήταν ένα υδραυλικό φίλτρο που πιθανότατα συνδέθηκε με μια δεξαμενή παροχής νερού από ένα σχοινί που διέρχεται από τις εξωτερικές του οπές. Η λειτουργία του βασίστηκε στη διαθεσιμότητα τοπικών, υψηλής ταχύτητας, τυρβώδων συνθηκών, προκειμένου να καθαρίζεται συνεχώς η πορώδης επιφάνεια επιτρέποντας έτσι τη συνεχή ροή του φιλτραρισμένου νερού στο βάζο. Για καθαρισμό μετά από εκτεταμένη συσσώρευση στερεών, ήταν δυνατό να το απελευθερώνει κανείς από το άκρο του σωλήνα χαλαρώνοντας το σχοινί στις οπές. Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει μια αιγυπτιακή συσκευή επεξεργασίας που απεικονίζεται στον τάφο του Amenophis II και αργότερα στον τάφο του Rameses II. Αυτή η συσκευή επέτρεψε στις ακαθαρσίες να κατακάθονται πρώτα και κατόπιν το διαυγές νερό να απομακρυνθεί με σιφόνιο και να αποθηκευτεί για μελλοντική χρήση.

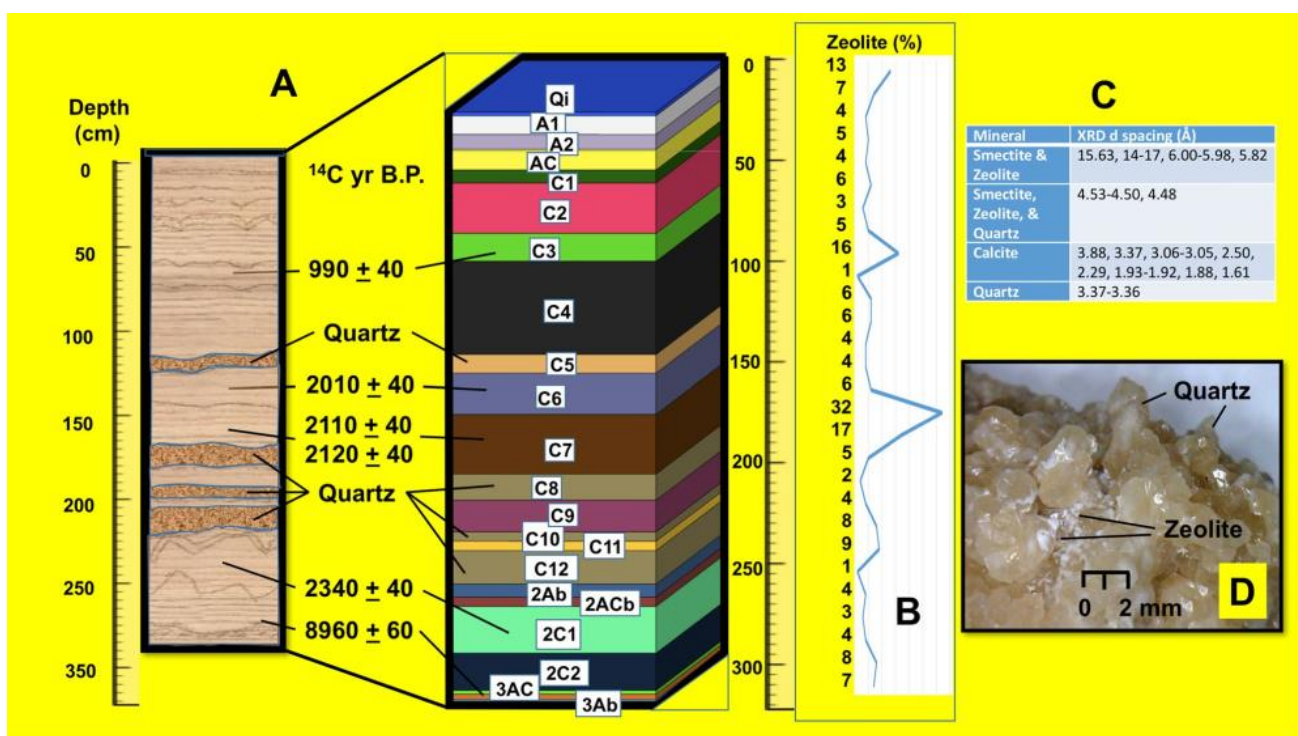


Εικόνα 5: Συσκευή επεξεργασίας νερού που χρησιμοποιούταν από τον Αιγυπτιακό πολιτισμό και κατόπιν από τον Μινωικό πολιτισμό (Defner 1921) και (β) Αιγυπτιακή συσκευή απολύμανσης που δείχνει τη σιφονία νερού ή κρασιού διαυγασμένου με καθίζηση. Αυτή η συσκευή απεικονίστηκε στον τοίχο του τάφου του Αμενόφης Β' στη Θήβα, 1450 π.Χ. (Wilkinson 1878).

2.3.Μάγια

Ο ζεόλιθος έχει από καιρό αναγνωριστεί ως ορυκτό με εξαιρετικές προσροφητικές ιδιότητες (Flaningen, 2001). Πριν από περίπου 2700 χρόνια, Έλληνες και Ρωμαίοι μηχανικοί χρησιμοποίησαν ζεόλιθους ως ποζολάνη στο τσιμέντο στην κατασκευή υδραυλικών κατασκευών μεγάλης κλίμακας όπως υδραγωγεία, γέφυρες, φράγματα και λιμάνια (Jackson et al., 2017). Ωστόσο, θεωρείται ότι οι ζεόλιθοι δεν χρησιμοποιήθηκαν για τον καθαρισμό του νερού μέχρι τις αρχές του εικοστού αιώνα. Υποτίθεται επίσης ότι οι παλαιότερες μορφές καθαρισμού νερού σημειώθηκαν στην Ευρώπη και τη νότια Ασία (Baker, 1981). Οι αρχαιολόγοι πιστεύουν εδώ και πολύ καιρό ότι οι ιθαγενείς του Δυτικού Ημισφαιρίου δεν είχαν επίσημα συστήματα φιλτραρίσματος νερού. Στη Βόρεια Αμερική, οι αρχαίοι αυτόχθονες πολιτισμοί έλαβαν καθαρό νερό από φυσικές φιλτραρισμένες πηγές, το οποίο έβραζαν και χρησιμοποιούσαν πήλινα αγγεία στα οποία οι ρυπαντές, η λάσπη και ο πηλός τραβήχτηκαν στις πλευρές του αγγείου (Tankersley & Meinhart, 1982). Στην Mesoamerica, οι Αζτέκοι βασίστηκαν σε άφθονα αρτεσιανά νερά που έφεραν στις πόλεις τους (π.χ. Tenochtitlan) μέσω υδραγωγείων, τα οποία δεν απαιτούσαν τεχνικές καθαρισμού (Berdan, 2014). Υδραγωγεία κατασκευάστηκαν επίσης από τους Ίνκας, το οποίο έφερε ορεινό νερό πηγής σε πόλεις στην περιοχή των Άνδεων της Νότιας Αμερικής (Wright, 2006). Οι Μάγια ήταν ο μόνος αρχαίος πολιτισμός του Νέου Κόσμου που χρειάστηκε διήθηση νερού, επειδή πολλές από τις πόλεις τους βρίσκονταν σε ένα καρστικοποιημένο τοπίο σε ένα τροπικό και μουσωνικό κλίμα. Ενώ τα συστήματα φιλτραρίσματος άμμου, χαλκιού, φυτών και υφασμάτων έχουν τεκμηριωθεί στην Αίγυπτο, την Ελλάδα και τη Νότια Ασία ήδη από τον 15ο αιώνα π.Χ., δεν υπάρχουν συγκρίσιμα στοιχεία για την περιοχή των Μάγια. Δεν υπάρχει συγκριτική περίπτωση για συστήματα καθαρισμού νερού των Maya, δηλαδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα συγκριτικά δεδομένα. Μέχρι σήμερα, οι ανασκαφές έχουν πραγματοποιηθεί

μόνο σε μερικές δεκάδες από τις χιλιάδες αρχαίες δεξαμενές των Μάγια, και πολλές από αυτές τις ανασκαφές έχουν περιοριστεί σε ένα μόνο λάκκο δοκιμών. Εδώ αναφέρουμε τα ευρήματα μιας σημαντικής πρόσφατης επιστημονικής μελέτης από το Tikal της Γουατεμάλας (Tankersley et al., 2020), όπου ο ζεόλιθος βρέθηκε σε μία από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις αποθήκευσης πόσιμου νερού της Μάγιας που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια των πολιτιστικών περιόδων Late Preclassic to Late Classic (~ 2200–1100 π.Χ.). Το φαινόμενο σύστημα φιλτραρίσματος ζεόλιθου στη δεξαμενή Corriental της Tikal είναι το παλαιότερο γνωστό παράδειγμα καθαρισμού νερού στο δυτικό ημισφαίριο και την παλαιότερη γνωστή χρήση ζεόλιθου για την απολύμανση του πόσιμου νερού στον κόσμο



Εικόνα 6: Χρονοστογραφία της δεξαμενής Corriental. (A) Ορίζοντες εδάφους και ιζημάτα της δεξαμενής Corriental που δείχνουν τη θέση του ανθρωπογενούς χαλαζία και των ραδιοανθρακικών χρόνων π.Χ. (B) Σχετικό ποσοστό του ζεόλιθου σε βάθος. (C) Διακριτικές κορυφές ορυκτών XRD. (Δ) Φωτομικρογραφία ανθρωπογενών κρυστάλλων χαλαζία και ζεόλιθου. (Tankersley et al., 2020)

Η αρχαία πόλη Tikal των Μαγια είναι ένα σημαντικό παράδειγμα για τις πρώτες εφευρέσεις και καινοτομίες στον καθαρισμό του νερού. Στο Tikal, οι Μάγια συνέλεξαν χαλαζία ζεόλιθου από μια χονδροειδή κρυσταλλική πηγή τούφας ~ 30 χλμ. βορειοανατολικά της πόλης μεταξύ ~ 2185 και 965 π.Χ. Οι Μάγια χρησιμοποίησαν αποτελεσματικά αυτούς τους φυσικούς ηφαιστειογενείς ορυκτούς πόρους για τον καθαρισμό μεγάλων όγκων πόσιμου νερού σε ένα τροπικό δασικό περιβάλλον, το οποίο περιπλέχθηκε από καταστροφικούς κυκλώνες, ηφαιστειακά γεγονότα, ξηρασίες και αποστράγγιση κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Το αρχαιολογικό αρχείο του Tikal περιλαμβάνει το παλαιότερο γνωστό σύστημα καθαρισμού νερού ζεόλιθου που αναπτύχθηκε σε μια

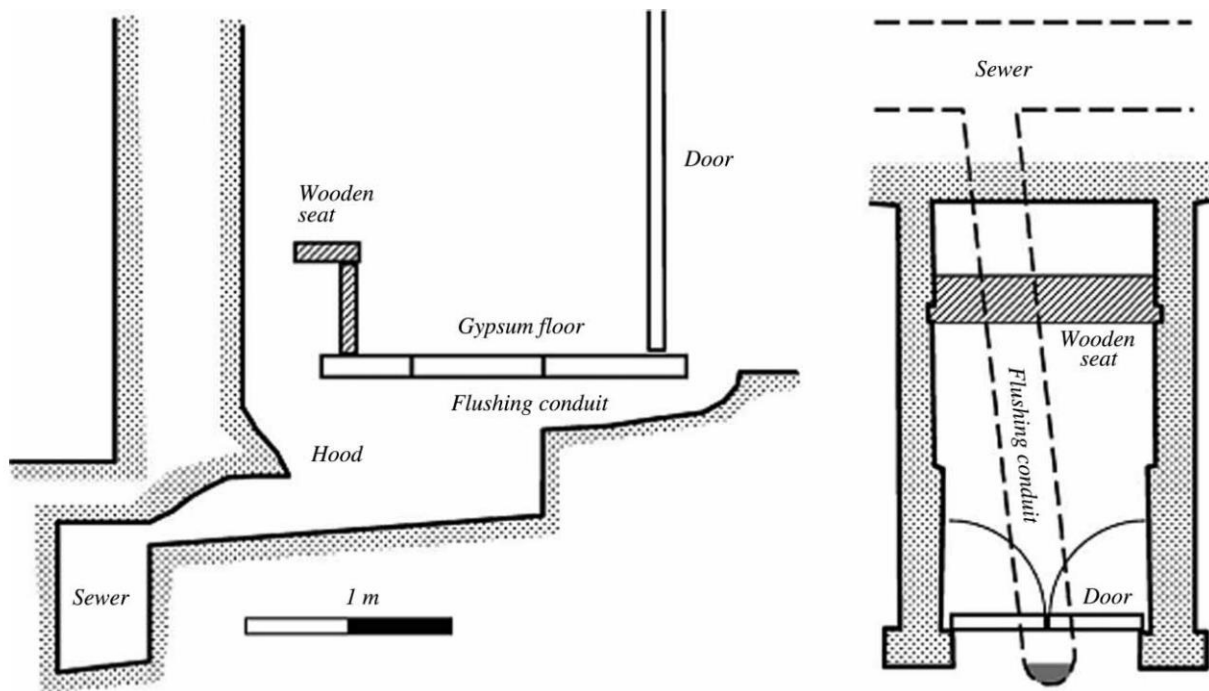
εποχή που καλλιέργειες αλλού στον κόσμο πειραματίζονταν με άλλες μεθόδους καθαρισμού νερού όπως βρασμός, φίλτρα υφασμάτων, πορώδη κεραμικά δοχεία και κόσκινα άμμου.

Το Tikal ήταν μια από τις μεγαλύτερες πόλεις των Μάγια που βρίσκονται στα νότια της αυτοκρατορίας, όπου άλλα κέντρα των Μάγια αναπτύχθηκαν σε συγκρίσιμο περιβάλλον. Όλες αυτές οι τοποθεσίες μαζί αποτελούσαν μέρος του πλαισίου για τον πολιτισμό στα νότια της αυτοκρατορίας των Μάγια. Τα συστήματα ταμειυτήρων αυτών των κέντρων ήταν κρίσιμα για την ύπαρξή τους.

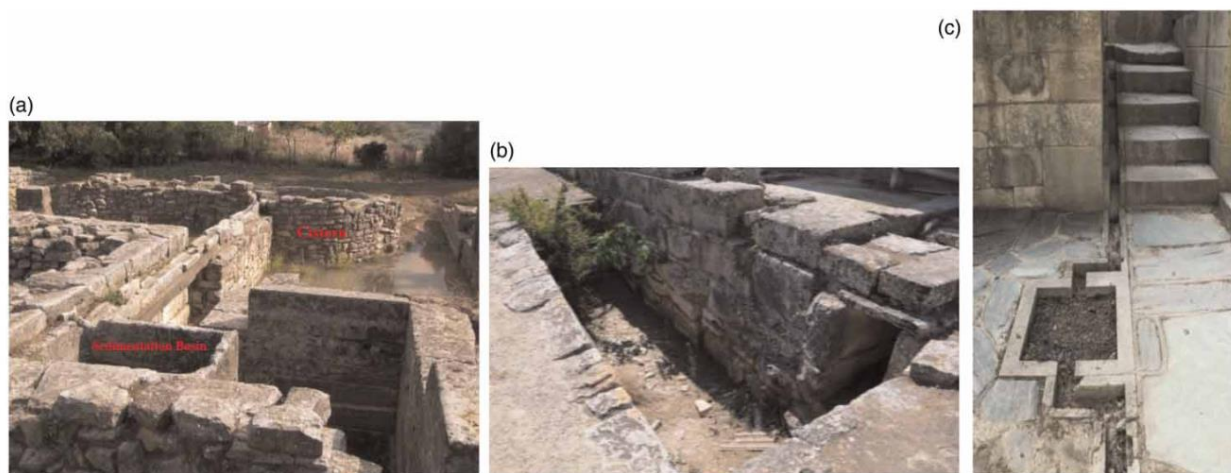
Τα συστήματα καθαρισμού νερού σε αυτές τις τοποθεσίες παραμένουν σε μεγάλο βαθμό άγνωστα. Το αρχαιολογικό αρχείο των συστημάτων καθαρισμού του νερού είναι λιγοστό στο Δυτικό Ημισφαίριο, αλλά εντοπίζεται η ιδιαίτερη περίπτωση του Tikal των Μάγια. Η έλλειψη αρχαιολογικών χώρων με ενδείξεις χαρακτηριστικών απολύμανσης νερού οφείλεται κυρίως στην αρχαιολογική ορατότητα και συντήρηση. Η δεξαμενή Corriental περιέχει τις πρώτες ενδείξεις για ένα σύστημα καθαρισμού νερού με ζεόλιθο. Μπορεί οι Μάγια να είχαν και άλλες μεθόδους και δεν γνωρίζουμε τον βαθμό στον οποίο το Corriental είναι μοναδικό δεδομένου ότι υπάρχουν χιλιάδες αρχαίες δεξαμενές των Μάγια και λιγότερες από 50 έχουν διερευνηθεί μέσω ανασκαφών ή πυρηνοληψίας. Τα παλαιότερα συστήματα καθαρισμού του νερού μπορούν να αξιολογηθούν και να ερμηνευθούν μόνο μέσω διεπιστημονικών ερευνών που περιλαμβάνουν χρονοστρωματικές, ορυκτολογικές και βιολογικές αναλύσεις, οι οποίες, εάν διεξαχθούν αυστηρά πιθανόν να εκθέσουν ένα διαφορετικό αρχείο συστημάτων πρόωρης απολύμανσης νερού όχι μόνο στο Δυτικό Ημισφαίριο, αλλά και αλλού στον αρχαίο κόσμο, επίσης.

2.4. Μινωικός Πολιτισμός

Σε αντίθεση με τους πολιτισμούς της Μεσοποταμίας και της Αιγύπτου, όπου το νερό αφαιρέθηκε από μεγάλους ποταμούς, στην Ελλάδα οι υδάτινοι πόροι ήταν περιορισμένοι σε πολλές περιοχές. Υπήρξε σχεδιασμός υπονόμων, αποχετευτικών συστημάτων, τουαλετών, ουρητηρίων και χώρων απόρριψης λυμάτων με ενδείξεις από περίπου το 3000 π.Χ. και μετά. Ερείπια της πρώτης τουαλέτας στον κόσμο, η οποία θα μπορούσε να ξεπλυθεί μέσω ενός υπόγειου αγωγού, βρέθηκαν στο Παλάτι του Μίνωα, Κνωσός, Κρήτη, το οποίο καταστράφηκε περίπου το 1400 π.Χ. Επίσης στην Κνωσό έχει ανακαλυφθεί ένα σύνθετο δίκτυο αποχέτευσης άνω των 150 μέτρων, ενώ πιστεύεται ότι το βρόχινο νερό και τα λύματα χρησιμοποιήθηκαν για άρδευση, καθώς πολλά κτίρια είχαν υδρορροές και αποχετεύσεις που οδήγησαν σε υπόγειους υπονόμους. (Angelakis et al., 2010)



Εικόνα 7: Τμήμα και σχέδιο τουαλέτας στο ισόγειο στην κατοικημένη συνοικία του Μινωικού Παλατιού (Angelakis et al., 2010)



Εικόνα 8: Παραδείγματα πρακτικών καθίζησης από τους Μινωίτες (φωτογραφίες L.W. Mays). (α) Τύλισσος, (β) Αγία Τριάδα, (γ) Κνωσός

3.Απολύμανση Υδάτων στην Αρχαία Ελλάδα

3.1.Εισαγωγή

Οι διαφορές μεταξύ του αρχαίου ελληνικού πολιτισμού με τους παλαιότερους μεσοποταμικούς και αιγυπτιακούς πολιτισμούς δεν περιορίζονται σε πολιτιστικά ή διανοητικά ζητήματα, αλλά επεκτείνονται και σε συνθήκες υποδομής που σχετίζονται με το νερό. Ενώ η Μεσοποταμία και η Αίγυπτος βασίστηκαν στην εκμετάλλευση νερού μεγάλων ποταμών (δηλαδή, Τίγρης, Ευφράτης και Νείλου), οι εξελίξεις στην Ελλάδα χαρακτηρίζονται από περιορισμένους και συχνά ανεπαρκείς φυσικούς υδάτινους πόρους. Ορισμένοι ποταμοί και λίμνες μικρότερης κλίμακας υπάρχουν στην Ελλάδα. Οι Έλληνες απέφυγαν την ίδρυση των μεγάλων πόλεων τους κοντά σε διαθέσιμους υδατικούς πόρους. Αν και οι λόγοι δεν είναι καλά κατανοητοί, μπορεί να υποθεθεί ότι η προστασία από πλημμύρες και ασθένειες που σχετίζονται με το νερό (π.χ. ελονοσία), καθώς και ένας πιο βολικός τρόπος ζωής σε ξηρό κλίμα ήταν μεταξύ των λόγων. Η λειψυδρία λόγω του ξηρού κλίματος και της απόστασης από τα μεγάλα υδάτινα σώματα οδήγησε στην ανάπτυξη υδραυλικών συστημάτων συλλογής και μεταφοράς νερού καθώς και πρακτικών βιώσιμης διαχείρισης. Το επίκεντρο αυτής της εργασίας είναι οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι πρακτικές διαχείρισης που σχετίζονται με τα αστικά συστήματα νερού στην αρχαία Ελλάδα και τη συνάφειά τους με τη σύγχρονη εποχή. Στις επόμενες ενότητες απεικονίζουμε ότι τέτοιες τεχνολογίες εφαρμόστηκαν ήδη από τον Μινωικό πολιτισμό και συνεχίστηκαν σε παρόμοιο επίπεδο σε άλλα μέρη κατά τη διάρκεια του προϊστορικού ελληνικού πολιτισμού, φτάνοντας σε μια τεχνολογική αιχμή τον 6ο αιώνα π.Χ., πολύ πριν από την πολιτιστική κορυφή στην κλασική Αθήνα. Αυτό που είναι αξιοσημείωτο στην κλασική Αθήνα είναι η πρόοδος που έχει σημειωθεί όσον αφορά βιώσιμες και οικονομικά αποδοτικές πρακτικές διαχείρισης νερού. Μια δεύτερη ακμή, αυτή τη φορά που εκδηλώνει βελτιωμένη κατανόηση των υδραυλικών αρχών, σημειώθηκε κατά την ελληνιστική περίοδο. Τα παραδείγματα τεχνολογιών και πρακτικών διαχείρισης και απολύμανσης υδάτων που δίνονται σε αυτό το κεφάλαιο μπορεί να έχουν κάποια σημασία για τη μηχανική νερού ακόμη και στη σύγχρονη εποχή.

3.2.Κυκλαδικός και Μυκηναϊκός Πολιτισμός

Προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας και διαχείρισης του νερού αναπτύχθηκαν στα νησιά του Αιγαίου κατά την Κυκλαδική περίοδο (περίπου 3100-1600 π.Χ.). Η αρχαιολογική έρευνα του νησιού της Θήρας (γνωστή και ως Σαντορίνη), στο συγκρότημα των Κυκλάδων, βρήκε τουλάχιστον πέντε μπανιέρες από τερακότα. Όλοι τους πρέπει να ήταν σε χρήση μέχρι τη μεγάλη έκρηξη του ηφαιστείου της Θήρας γύρω στο 1600 π.Χ. (σύμφωνα με την τελευταία χρονολογία, Friedrich et al., 2006). Υπήρξε μια μεγάλη παραλλαγή μεταξύ τους. Βρέθηκαν σε πολλά μέρη κατά τη διάρκεια των

ανασκαφών. Ένα ήταν σε ένα δωμάτιο που μάλλον ήταν ένα μπάνιο, εξοπλισμένο με προηγμένο σύστημα αποχέτευσης (Μαρινάτος, 1999). Στη Δήλο, ένα άλλο νησί των Κυκλάδων, όπου έχουν βρεθεί σημαντικά ερείπια εκείνης της περιόδου, η παροχή νερού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το βρόχινο νερό που συλλέγεται και αποθηκεύεται σε δεξαμενές. Τα περισσότερα σπίτια του νησιού είχαν υπόγειες δεξαμενές στις αυλές τους για αποθήκευση ομβρίων υδάτων. Επιπλέον, συλλεγόταν νερό από το εφήμερο ρεύμα Ιπορος σε μια μεγάλη δεξαμενή με μήκος 43 m και πλάτος 8-10 m (Parademos, 1975). Στην ηπειρωτική Ελλάδα, κατά τη Μυκηναϊκή περίοδο (1600-1100 π.Χ.), κατασκευάστηκαν σημαντικά υδραυλικά έργα, όπως φράγματα και τεχνητές δεξαμενές για συγκράτηση και αποθήκευση του νερού των πλημμυρών (Κουτσογιάννης και Αγγελάκης, 2004). Σπίτια σε αρκετές πόλεις, ειδικά στις πολυτελείς, ήταν εξοπλισμένα με μπάνια και, σε ορισμένες περιπτώσεις, μπανιέρες. Η αρχαία ελληνική λέξη «άσάμινθος» (asaminthos), που σημαίνει μπανιέρα, βρίσκεται στα έπη του Ομήρου πολλές φορές, καθώς και σε έργα νεότερων συγγραφέων. Σε ανασκαφές βρέθηκε μπανιέρα από τερακότα, σε ένα σπίτι στη Μυκηναϊκή Πύλο, μια τοποθεσία στη νοτιοδυτική Πελοπόννησο που καταλαμβάνεται τουλάχιστον ήδη από τη Μέση Εποχή του Χαλκού που απεικονίζεται ακολούθως. Το παλάτι του συγκρίνεται σε μέγεθος και πλούτο με το ανάκτορο των Μυκηνών και πιστεύεται ότι ήταν το σπίτι του Νέστορα, που ήταν ο δεύτερος ισχυρότερος μυκηναϊκός βασιλιάς. Αν και η μπανιέρα ήταν σε σταθερή θέση, μάλλον γέμιζε και άδειαιζε χειρωνακτικά χωρίς να συνδέεται απευθείας με τους υπονόμους (παρόμοια με τις μινωικές μπανιέρες).



Εικόνα 9: Μπανιέρα από τερακότα σε σταθερή θέση στη Μυκηναϊκή Πύλο (Z. Philip Ambrose, από το "The Ambrose Collection", Univ. Of Vermont Classics Dept.; [Http://www.uvm.edu/%7Eclassics/mainpagelinks/ambrose.html](http://www.uvm.edu/%7Eclassics/mainpagelinks/ambrose.html)).

3.2. Το υδραγωγείο της Σάμου: η κορυφή της αρχαίας υδραυλικής τεχνολογίας

Στις μεταγενέστερες αρχαϊκές (750-500 π.Χ.) και κλασικές (500-336 π.Χ.) περιόδους, τόσο οι ιστορικές πηγές όσο και οι αρχαιολογικές ανασκαφές αποδεικνύουν ότι οι τεχνολογίες αστικού νερού ήταν αρκετά προηγμένες και διαδεδομένες στην Ελλάδα. Η πρόοδος της τεχνολογίας και διαχείρισης αστικού νερού απεικονίζεται σε αυτό το τμήμα μέσω του εξαιρετικού παραδείγματος της ύδρευσης του νησιού της Σάμου. Το σύστημα ύδρευσης της αρχαίας Σάμου (που βρίσκεται στη θέση του σύγχρονου χωριού Πυθαγόρειο) θαυμάστηκε τόσο στην αρχαιότητα όσο και στη σύγχρονη εποχή (Αγγελάκης και Κουτσογιάννης, 2003). Το πιο σημαντικό μέρος του συστήματος ύδρευσης είναι το «Ευπαλινιον ὄρυγμα», ή «Eupalinean σκάψιμο», ευρύτερα γνωστό ως η σήραγγα του Ευπαλίνου, που πήρε το όνομά του από τον μηχανικό από τα Μέγαρα που το σχεδίασε και το κατασκεύασε. Το υδραγωγείο περιλαμβάνει τη σήραγγα μήκους 1036 m (μέρος NS στο σχήμα 5) και δύο επιπλέον μέρη (PN και SQ στο σχήμα 5) έτσι ώστε το συνολικό μήκος του να υπερβαίνει τα 2800 m. Η κατασκευή του ξεκίνησε το 530 π.Χ., κατά την τυραννία του Πολυκράτη και διήρκεσε δέκα χρόνια. Λειτουργούσε μέχρι τον 5ο αιώνα μ.Χ.

Το έργο του Ευπαλίνου είναι αξιοσημείωτο και αξιοθαύμαστο για τους ακόλουθους λόγους.

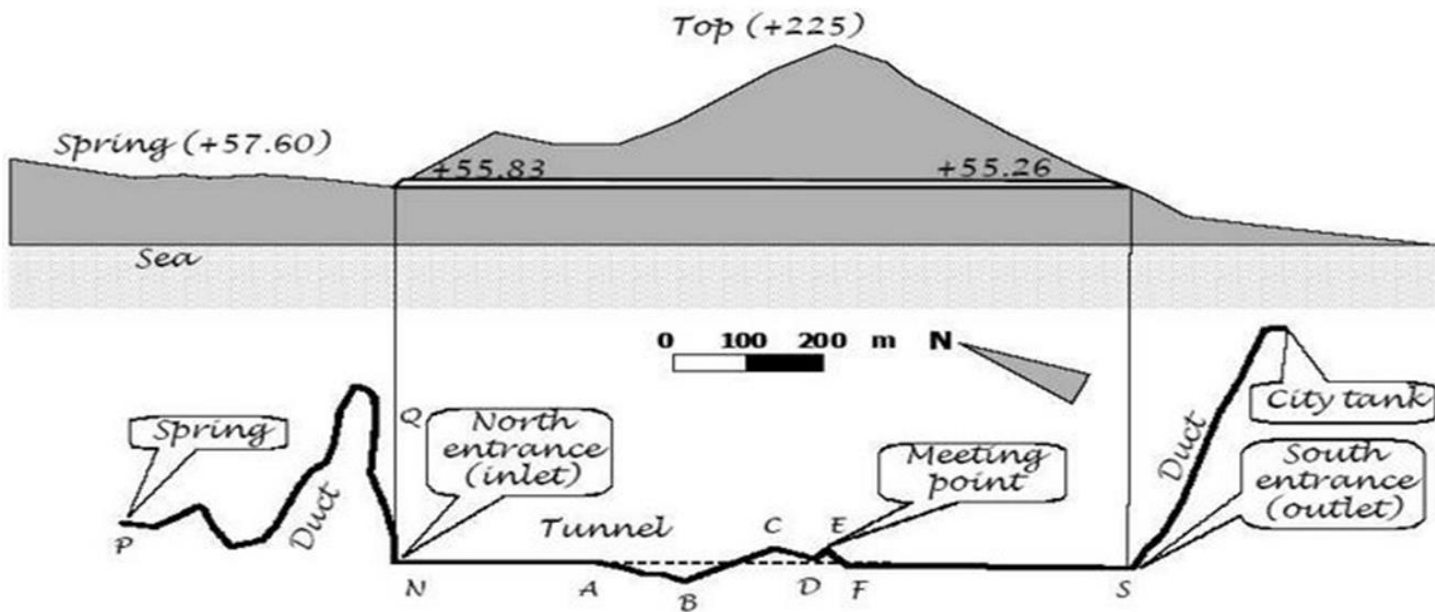
1. Κατασκεύασε την πρώτη γνωστή βαθιά σήραγγα στην ιστορία. Οι ρηχές σήραγγες είναι πολύ πιο εύκολο να κατασκευαστούν με άξονες και η τεχνολογία τους αναπτύχθηκε σε παλαιότερους πολιτισμούς.
2. Όπως έκανε στη σύγχρονη κατασκευαστική πρακτική, ξεκίνησε από δύο ανοίγματα (N και S). Είναι προφανές ότι οι δύο γραμμές κατασκευής συναντήθηκαν στο σημείο E. (εικόνα 10)
3. Για να χαράξει τμήματα της ίδιας ευθείας γραμμής (NA και SF) από δύο σημεία σε ορεινό έδαφος, πρέπει να είχε καλή γνώση της γεωμετρίας και της γεωδαισίας. Υπάρχουν ενδείξεις ότι ο Ευπαλινός έλυσε το πρόβλημα με απλά μέσα και με ακριβή τρόπο περπατώντας πάνω από το βουνό και τοποθετώντας πόλους κατά μήκος του μονοπατιού σε ευθεία γραμμή (μια απλή μέθοδος που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα στη μηχανική γεωδαισία, αλλά για απλούστερα προβλήματα. Στη συνέχεια, ευθυγράμμισε τα τμήματα της σήραγγας με αυτούς τους πόλους.
4. Ταυτόχρονα, έδειξε ότι από τεχνική άποψη μια οριζόντια γραμμή δεν μπορεί απαραίτητα να είναι η καλύτερη διαδρομή. Έτσι, στο σημείο A έφυγε από την οριζόντια γραμμή NA και ακολούθησε

την κατεύθυνση AB, μια εύλογη εξήγηση για αυτό είναι ότι βρήκε ένα φυσικό ρήγμα και διευρύνοντας αυτό ήταν σε θέση να προχωρήσει πολύ πιο γρήγορα (Τσιμπουράκης, 1997).

5. Βρήκε έναν έξυπνο γεωμετρικό τρόπο για να εξαλείψει την επίδραση της αβεβαιότητας στη θέση και την κατεύθυνση (μεγεθυμένος λόγω ήδη εγκατάλειψης της γραμμής ευθείας γραμμής) και να διασφαλίσει την τομή των δύο γραμμών κατασκευής: Εγκαταλείποντας σκόπιμα τις ευθείες διαδρομές στα σημεία Δ και F και η αλλαγή κατεύθυνσης προς τα αριστερά και τα δεξιά, αντίστοιχα, καθιστούσε μαθηματικά σίγουρη ότι οι δύο γραμμές θα τέμνονταν (Kienast, 1995).

6. Βρήκε επίσης μια ιδιαίτερα έξυπνη τεχνική λύση για να εξηγήσει την υδραυλική αρχή ότι το νερό χρειάζεται μια κλίση για να ρέει υπό βαρύτητα. Στην οριζόντια σήραγγα πέτυχε την απαραίτητη κλίση ανασκαφώντας ένα κεκλιμένο κανάλι κατά μήκος μιας πλευράς του δαπέδου. Σε μέρη όπου λόγω κλίσης το βάθος του καναλιού θα ήταν πολύ υψηλό, κατασκευάστηκε μια δεύτερη μικρή σήραγγα κάτω από την κύρια σήραγγα. Η επιλογή μιας οριζόντιας κύριας σήραγγας υπαγορεύτηκε από το γεγονός ότι μια κεκλιμένη θα ήταν αδύνατο να κατασκευαστεί από δύο πλευρές, δεδομένου των τεχνολογικών μέσων της εποχής. Να σημειωθεί ότι η συσσώρευση των υπόγειων υδάτων στο άνω τμήμα (δηλαδή κάτω από κλίση) δεν θα επέτρεπε την κατασκευή του.

Είναι βέβαιο ότι η σήραγγα που κατασκευάστηκε ο Ευπαλινός δεν ήταν η μόνη λύση στο πρόβλημα της μεταφοράς νερού στη Σάμο. Μια απλή εναλλακτική λύση θα μπορούσε να είναι η κατασκευή μιας αλυσίδας ανοιχτών καναλιών και σηράγγων σε ρηχά βάθη με άξονες, ακολουθώντας μια διαδρομή γύρω από το βουνό. Αυτή η λύση, γνωστή ήδη (βλ. Υδραγωγείο Peisistratean, βλ. Παρακάτω), θα ήταν σίγουρα ευκολότερη από τεχνική άποψη, ταχύτερη και λιγότερο δαπανηρή. Οι λόγοι που οδήγησαν στην κατασκευή μιας πιο δαπανηρής λύσης δεν είναι προφανείς. Πιθανώς, ο Ευπαλίνιος και ο τύραννος Πολυκράτες προτίμησαν αυτήν την ανορθόδοξη και πρωτοποριακή λύση επειδή ήθελαν να χτίσουν ένα μνημείο τεχνολογίας και όχι απλώς να λύσουν ένα συγκεκριμένο πρόβλημα μεταφοράς νερού. Προφανώς, αυτή η λύση έχει επίσης το πλεονέκτημα ότι είναι πιο ασφαλής σε περίπτωση πολέμου επειδή δεν εκτέθηκε σε εχθρούς. Όπως θα συζητηθεί αργότερα, η ασφάλεια ήταν ουσιαστικό στοιχείο στα ελληνικά σχέδια. Μερικοί συγγραφείς (π.χ. Apostol, 2004) προτείνουν την ασφάλεια ως κίνητρο για την επιλογή του Ευπαλίνου. Κατά τη γνώμη μου, αυτός δεν είναι επαρκής λόγος, επειδή η εναλλακτική λύση μιας ρηχής σήραγγας θα παρέχει τα ίδια πλεονεκτήματα (υπόγεια κατασκευή που δεν εκτίθεται σε εχθρούς) με φθηνότερο και τεχνικά απλούστερο τρόπο.



Εικόνα 10: Η σήραγγα του Ευπαλίνου: διαμήκη τομή (άνω), οριζόντια κάτοψη (μεσαία) και προβολή της σήραγγας και του κεκλιμένου καναλιού (και σε σημεία δεύτερης σήραγγας κάτω από την κύρια σήραγγα) στη δεξιά πλευρά (κάτω, με την ευγένεια του Tracey Rihll , από την «Ελληνική και Ρωμαϊκή Επιστήμη και Τεχνολογία», <http://www.swan.ac.uk/classics/staff/ter/grst/images/tunnelatitsbest.jpg>).

3.3. Έργα προστασίας από πλημμύρες σε αρχαία Ολυμπία και Αλυζία

Η προστασία των αστικών περιοχών από την καταστροφική δράση των ρευμάτων (πλημμύρες, διάβρωση, καθίζηση) είναι μια άλλη περίπτωση εφαρμογής τεχνολογιών υδραυλικής και διαχείρισης υδάτων. Τέτοιες τεχνικές είναι επίσης απαραίτητες για την ανάπτυξη των γεωργικών περιοχών, δεδομένου ότι οι πιο εύφορες περιοχές είναι οι πλημμύρες των ποταμών. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, έργα μεγάλης κλίμακας (μαζικού ή κυκλώπειου τύπου) του τελευταίου τύπου χρονολογούνται από τη μυκηναϊκή περίοδο. Εδώ παρουσιάζουμε δύο άλλα παραδείγματα από την κλασική περίοδο, που σχετίζονται με την αστική ή προαστιακή ανάπτυξη: τα έργα προστασίας από τις πλημμύρες της Ολυμπίας και το φράγμα της αρχαίας Αλυζίας. Η Ολυμπία είναι ένα από τα πιο σημαντικά ιερά της αρχαιότητας, αφιερωμένη στον πατέρα των θεών Δία (Δίας). Είναι η γενέτειρα των Ολυμπιακών Αγώνων και ο τόπος όπου διοργανώθηκαν. Το ιερό της Ολυμπίας απλώνεται γύρω από τα πόδια του λόφου Κρονίων, όπου συναντώνται τα ποτάμια Αλφειός και Κλαδέος. Για τον έλεγχο της ροής των ποταμών και τον μετριασμό των καταστροφικών συνεπειών τους, κατασκευάστηκαν τεράστια τείχη. Το τείχος του Κλαδέου διατρέχει περίπου το μήκος του αρχαίου Ολυμπιακού χώρου, παράλληλα προς και δυτικά του, ξεκινώντας προς τα πάνω από το άνω άκρο του Γυμνασίου και καταλήγοντας όχι πολύ μακριά από την εκφόρτωση του Κλαδέου στο πολύ μεγαλύτερο Αλφειό. Είναι ένα ύψος 2,7 m, 800 m μήκος κυκλώπων, από τέσσερις πέτρινες σειρές/ Έχει ομοιόμορφη κλίση περίπου 0,077. Ο προφανής σκοπός της κατασκευής του ήταν να περιορίσει τη ροή του ποταμού Κλαδέου στη δυτική πλευρά του τείχους, αποτρέποντας τη διάβρωση του δυτικού περιθωρίου του Ολυμπιακού χώρου. Η ημερομηνία κατασκευής του είναι άγνωστη, αλλά πιθανότατα βρίσκεται στην κλασική περίοδο, όταν ο τόπος πήρε την τελική του μορφή (Lapp και Wright, 2003). Η αρχαία πόλη της Αλυζίας βρίσκεται στη Δυτική Ελλάδα, στην ακτή της Ακαρνανίας. Κοντά στην πόλη, στις παρυφές των Ακαρνανικών Βουνών βρίσκεται ένα μοναδικό παράδειγμα υδραυλικού έργου της ελληνικής αρχαιότητας: ένα πέτρινο φράγμα, εξοπλισμένο με ένα πέτρινο σκαλιστό πλευρικό υπερχειλιστή.

Η ακριβής ημερομηνία κατασκευής της είναι άγνωστη, αλλά λόγω της ευημερίας της πόλης κατά τον 5ο αιώνα π.Χ., αυτή η περίοδος είναι η πιο πιθανή για την κατασκευή του φράγματος. Το σώμα του φράγματος έχει δύο ζώνες. Η κάτω ζώνη χαρακτηρίζεται από τετράγωνα, ακανόνιστα τοποθετημένα, με μικρότερα μπλοκ να γεμίζουν τα κενά μεταξύ τους. Στην άνω ζώνη, όπου η κλίση του φράγματος γίνεται πιο ήπια, οι πέτρες έχουν ομοιόμορφο σχήμα, τοποθετούνται τακτικά, με μικρότερα κενά, τα οποία δεν απαιτούν πλήρωση με άλλες, μικρότερες πέτρες. Η δομή εντυπωσιάζει

τον παρατηρητή με την τεχνολογική και κατασκευαστική συνολική του ποιότητα. Σύμφωνα με τον Murray (1984): «Αυτό είναι το πιο ξεκάθαρο, μεγαλύτερο και πιο τεχνολογικά προηγμένο αρχαίο δείγμα που είναι ακόμη γνωστό σε ολόκληρη τη χώρα». Μια τέτοια δομή σίγουρα απαιτούσε σημαντική επένδυση από την πόλη. Έχουν εκφραστεί διάφορα σενάρια για τους λόγους που οδήγησαν στην κατασκευή του. Οι περισσότερες από αυτές τις προσεγγίσεις καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι το φράγμα κατασκευάστηκε για να συλλέγει πόσιμο νερό ή νερό άρδευσης, ή ακόμη και το πλύσιμο του μαλλιού των προβάτων. Μια πρόσφατη μελέτη (Zarkadoulas, 2005), προτείνει ένα διαφορετικό σενάριο: Οι πλημμύρες στην κοιλάδα της αρχαίας Αλυζίας ήταν εξαιρετικά έντονες που οδήγησαν σε σοβαρά προβλήματα στις αστικές και προαστιακές περιοχές της πόλης. Για να μετριάσουν τις πλημμύρες και να συγκρατήσουν τα χονδροειδή ιζήματα που κατέκλυσαν την κοιλάδα, οι κάτοικοι της Αλυζίας έχτισαν το φράγμα στην πιο κατάλληλη τοποθεσία της κοίτης. Ακόμη και σήμερα αυτή είναι μια από τις πιο αποτελεσματικές λύσεις για τον έλεγχο των πλημμυρών και των ιζημάτων. Η τρέχουσα κατάσταση του φράγματος είναι εξαιρετική. Οι πέτρες από τις οποίες συντίθεται βρίσκονται στην αρχική τους θέση δίνοντάς μας την εντύπωση ότι ο διάδρομος λειτουργεί πάντα αποτελεσματικά, προστατεύοντας το φράγμα από πλημμύρες. Το φράγμα της αρχαίας Αλυζίας είναι ένα εντυπωσιακό έργο υποδομής όχι μόνο για την κλίμακα ή για τη συνολική ποιότητα του σχεδιασμού και της κατασκευής του, αλλά και για τη συνεχή και επιτυχημένη λειτουργία του για 2500 χρόνια.



Εικόνα 11: Τα τείχη στην αρχαία Ολυμπία (Lapp και Wright, 2003).



Εικόνα 12: Το φράγμα της Αλυζίας; Ο διάδρομος με το ακανόνιστο σχήμα του που σχηματίζεται από διάβρωση μέσω αιώνων φαίνεται στα δεξιά της αριστερής φωτογραφίας και λειτουργεί στη δεξιά φωτογραφία.

3.4. Αρχαία Αθήνα

Η Αθήνα δεν είχε ποτέ επαρκείς φυσικούς υδάτινους πόρους. Οι δύο κύριες ροές, ο Ιλίσος και ο Κηφισός έχουν διαλείπουσα ροή. Η παροχή νερού ήταν μια ατελείωτη πρόκληση για την πόλη. Τα νερά πηγής στην περιοχή δεν μπορούσαν να καλύψουν τη ζήτηση, έτσι οι περισσότεροι άνθρωποι βασίστηκαν σε τεχνητά πηγάδια για την παροχή νερού. Κατά την ανασκαφή της αρχαίας αγοράς από την Αμερικανική Σχολή Κλασικών Σπουδών στην Αθήνα, βρέθηκαν πάνω από τετρακόσια πηγάδια. Αντιπροσώπευαν τόσο δημόσια όσο και ιδιωτικά έργα. Υπήρχε μια μεγάλη παραλλαγή σε βάθος, η οποία κυμαίνεται από 2,5 έως 37 m, με μέσο όρο περίπου 10 m. Τον 6ο αιώνα π.Χ., τα πηγάδια περιστασιακά ήταν επενδυμένα με λιθόκτιστη τοιχοποιία και, αρχίζοντας από τον 4ο αιώνα π.Χ., κυκλικά τύμπανα από τερακότα χρησιμοποιήθηκαν συχνά για να σχηματίσουν έναν άξονα μεγάλης αντοχής (Lang, 1968). Καθώς ο πληθυσμός αυξήθηκε, ο αριθμός των πηγαδιών αυξήθηκε. Ο Σόλων, ο Αθηναίος πολιτικός και ποιητής στα τέλη του 7ου και στις αρχές του 6ου αιώνα π.Χ., προέβη σε νόμο σχετικά με τον τρόπο χειρισμού του νερού από τα πηγάδια.

Τον 6ο αιώνα π.Χ., υπό την τυραννία του Πεισίστρατου (που κατέλαβε την εξουσία το 546 και κυβέρνησε μέχρι το θάνατό του το 527) και αργότερα των γιων του, χτίστηκαν μεγάλα δημόσια έργα. Το πιο σημαντικό υδραυλικό έργο ήταν ένα υδραγωγείο, που πήρε το όνομά του, το οποίο μετέφερε νερό από τους πρόποδες του Υμηττού, στο κέντρο της πόλης κοντά στην Ακρόπολη. Στα

περίχωρα της πόλης το υδραγωγείο διακλαδίστηκε για να προμηθεύσει βρύσες και δεξαμενές. Το μεγαλύτερο μέρος του ήταν σκαλισμένο ως σήραγγα σε βάθος που φτάνει τα 14 μέτρα. Σε άλλα μέρη κατασκευάστηκε ως κανάλι, είτε λαξευμένο σε βράχο είτε κατασκευασμένο από πέτρα τοιχοποιίας, με βάθος 1,30-1,50 m και πλάτος 0,65 m (Papademos, 1975). Στο κάτω μέρος της σήραγγας ή του καναλιού, τοποθετήθηκε ένας σωλήνας από κεραμικά τμήματα. Τα τμήματα σωλήνων είχαν ελλειπτικά ανοίγματα στο πάνω μέρος τους, καλυμμένα με κεραμικά καλύμματα, για τον καθαρισμό και τη συντήρησή τους. Τα άκρα των τμημάτων ήταν κατάλληλα διαμορφωμένα, έτσι ώστε το καθένα να μπορεί να προσαρμόζεται σφιχτά στην επόμενη.

Λίγο μετά (510-508 π.Χ.), η δημοκρατία ιδρύθηκε στην Αθήνα και διήρκεσε έως το 322 π.Χ., με λίγα διαστήματα με την ολιγαρχική διακυβέρνηση. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, δεν πραγματοποιήθηκαν μεγάλα υδραυλικά έργα, παρόλο που η ανάγκη για πόσιμο νερό αυξήθηκε καθώς η πόλη συνέχισε να αυξάνεται. Αυτό που έκαναν οι Αθηναίοι ήταν οι μικρής κλίμακας κατασκευές μαζί με την ανάπτυξη ενός θεσμικού πλαισίου για τη βιώσιμη διαχείριση του νερού. Από τη ζωή του Πλούταρχου του Θεμιστοκλή, είναι γνωστό ότι υπήρχε τουλάχιστον ένας δημόσιος αξιωματούχος που ασχολήθηκε με τα υδατικά έργα ακόμη και στις αρχές του 5ου αιώνα π.Χ. Διορίστηκε για τη λειτουργία και τη συντήρηση του συστήματος ύδρευσης της πόλης, για την παρακολούθηση της εφαρμογής του κανονισμού και για τη διασφάλιση της δίκαιης κατανομής του νερού. Είναι σαφές ότι η διαχείριση των υδάτων ήταν πολύ σημαντική για την πόλη. Κατά την περίοδο της δημοκρατίας, τα πηγάδια συμπληρώθηκαν σταδιακά ή αντικαταστάθηκαν από δεξαμενές. Η κατασκευή δεξαμενών ήταν γνωστή πρακτική από παλαιότερα χρόνια. Για παράδειγμα, αρκετοί του 6ου αιώνα π.Χ. έχουν βρεθεί μέσα στο τείχος της Ακρόπολης στα αριστερά των Προπυλαίων. Έσκαψαν στον βράχο της επιφάνειας, με κανάλια αποστράγγισης, ήταν σε θέση να συκρατήσουν αρκετούς μήνες παροχή νερού που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο εάν ήταν απαραίτητο, αλλά συνήθως χρησιμοποιήθηκε για μπάνιο (Crouch, 1993). Αλλά οι περισσότερες δεξαμενές χρονολογούνται από τον 4ο έως τον 1ο αιώνα π.Χ. Ο κύριος λόγος της εξάπλωσης των δεξαμενών εκείνη την περίοδο πρέπει να ήταν η μείωση της διαθεσιμότητας των υπόγειων υδάτων λόγω της υπερβολικής άντλησης. Ήταν ιδιωτικοί και συνήθως μικροί, με μέση διάμετρο περίπου 3 μέτρα στο επίπεδο του δαπέδου. Οι δεξαμενές αυτές πληρώνονταν με βρόχινο νερό το οποίο συλλεγόταν από τις γύρω στέγες και κατευθύνθηκαν με σωλήνα προς το στόμιο της δεξαμενής. Το νερό της δεξαμενής χρησιμοποιείτο συνήθως για το πλύσιμο και το νερό του πηγαδιού για πόσιμο (Lang, 1968).

Οι κύριες μέθοδοι απολύμανσης νερού στην Αρχαία Αθήνα, συνοψίζονται ακολούθως:

Άνθρακας

Η χρήση του κάρβουνου ως μέσο διήθησης αναφέρεται τόσο σε σανσκριτικά όσο και σε αρχαία Ελληνικά κείμενα. Το κάρβουνο από ότι φαίνεται από τα αρχαιολογικά ευρήματα, τοποθετούνταν μέσα σε αμφορείς και συνέβαλλε στην μείωση των οσμών και της θολότητας. Στη σύγχρονη εποχή, αποδεικνύεται επιστημονικά η αποτελεσματικότητα του άνθρακα και εφαρμόζεται ευρέως με τη μορφή διηθητικών φίλτρων ενεργού άνθρακα, τα οποία απομακρύνουν οργανικές ουσίες του νερού. Για παράδειγμα ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται ευρέως για την απομάκρυνση γεωσμίνης από το νερό, μιας ουσίας η οποία προσδίδει δυσάρεστη γεύση και οσμή.

Άργυρος

Το ασήμι χρησιμοποιείται από την αρχαιότητα για τον καθαρισμό του νερού. Οι αρχαίοι Έλληνες και οι Ρωμαίοι διατηρούσαν το νερό τους σε ασημένιες κανάτες .

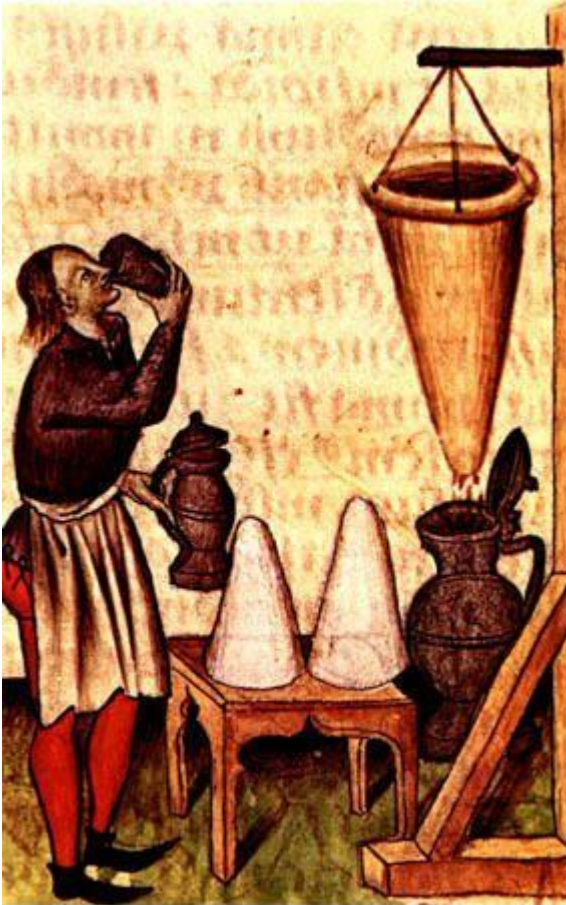
Ασημένια αγγεία χρησιμοποιούνταν για την συντήρηση των τροφών αλλά και για τον καθαρισμό του νερού. Ο Ηρόδοτος αναφέρει πως ο Κύρος (Περσία, 550-529 π.Χ.) κατανάλωνε βρασμένο νερό σε ασημένια δοχεία. Τα ασημένια σκεύη χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορους αρχαίους πολιτισμούς (Ελλάδα, Φοινικία, Ρώμη) για να απολυμαίνουν το νερό αλλά και για να συντηρούν αλλοιώσιμα αγαθά.

Ιστορικές πηγές αναφέρουν ο Μέγας Αλέξανδρος (335 π.Χ.) ακολουθώντας τη συμβουλή του Αριστοτέλη, αποθήκευε το νερό σε ασημένια δοχεία και το έβραζε πριν το καταναλώσει.

Πρωτοπόροι στην μελέτη των αντιβακτηριακών ιδιοτήτων του ασημιού ήταν οι Ravelin (1869) και von Nageli (1893), οι οποίοι παρατήρησαν ότι ακόμη και σε πολύ μικρές ποσότητες, τα άλατα του ασημιού είναι τοξικά για πολλά είδη βακτηριδίων. Στις αρχές του 20ου αιώνα, δημιουργήθηκε ένα πορώδες μεταλλικό πλέγμα από ασήμι (“Katadyn silver”), που χρησιμοποιήθηκε ως αντιβακτηριδιακό φίλτρο νερού.

«Το γάντι του Ιπποκράτη»

Ο Ιπποκράτης ασχολήθηκε εκτεταμένα με την απολύμανση του νερού γύρω στο 500 π.Χ., καθώς θεωρούσε το νερό πηγή ζωής. Έτσι δημιούργησε μια απλή κατασκευή από λεπτό ύφασμα, γνωστό ως «γάντι του Ιπποκράτη» το οποίο επέτρεπε την διήθηση του νερού, ενώ συγκρατούσε τα σωματίδια που προκαλούσαν οσμές και άσχημη γεύση. Πριν τη διήθηση του νερού από την κατασκευή του ο Ιπποκράτης έβραζε το νερό.



Κρασί

Σύμφωνα με τον αρχαίο Έλληνα ποιητή Ησίοδο, οι αρχαίοι Έλληνες συνήθιζαν να διαλύουν το κρασί σε νερό σε αναλογία 1:3 και μάλιστα την μίξη την έκαναν από το πρωί για το βραδινό συμπόσιο. Αυτή η συνήθεια οφείλονταν μάλλον στο γεγονός ότι το κρασί περιείχε πολύ περισσότερο αλκοόλ απ'ότι σήμερα. Σήμερα όμως οι επιστήμονες, διαπιστώνουν επιπλέον, ότι πρόκειται για απολυμαντική μέθοδο, καθώς ακόμη και μικρές ποσότητες κρασιού μπορούν να σκοτώσουν παθογόνους μικροοργανισμούς. Το γεγονός της πρωινής προετοιμασίας, υποδηλώνει ενδεχομένως πως υπήρχε και τότε η γνώση για την αντιβακτηριδιακή ιδιότητα του κρασιού, γι'αυτό και έδιναν χρόνο στο μίγμα να αντιδράσει. (Dolara P., 2005)

Νεροκάρδαμο

Το νεροκάρδαμο είναι ένα από τα αρχαιότερα φυτά, πλούσιο σε βιταμίνες, μέταλλα και ιχνοστοιχεία, ο Διοσκουρίδης το ονόμαζε «σισύμβριο», γνωστό στην Αρχαία Ελλάδα και Περσία είναι ένα υδρόβιο φυτό, ενδεικτικό για την καθαρότητα των νερών στην περιοχή που φύεται. Έχει την ιδιότητα να καθαρίζει το νερό από νιτρικά και φωσφορικά άλατα.

Παρόλο που κατά τη δημοκρατία κατασκευάστηκαν πολλά δημόσια κτίρια (π.χ. Παρθενώνας) με μνημειακό χαρακτήρα στην πόλη, δεν εφαρμόστηκαν σοβαρές υδραυλικές κατασκευές. Μια

επαρκής εξήγηση μπορεί να ληφθεί από τον Αριστοτέλη: «... Και πρέπει να διαθέτει, αν είναι δυνατόν, άφθονη φυσική τροφοδοσία πηγαίων και πηγών, αλλά σε αντίθετη περίπτωση, έχει επινοηθεί ένας τρόπος παροχής νερού μέσω της κατασκευής μεγάλων δεξαμενών για βρόχινο νερό...» (Αριστοτέλης, Πολιτική, III, I330b, απόδοση από <http://hydra.perseus.tufts.edu/>) Ένας άλλος λόγος για την απουσία μεγάλων υδραυλικών έργων κατά την περίοδο της δημοκρατίας, σε αντίθεση με την περίοδο της τυραννίας (βλ. Πολυκράτης και Πεισίστρατος), πρέπει να είναι το γεγονός ότι όλες οι αποφάσεις ελήφθησαν δημοκρατικά. Έτσι, είναι πιθανό οι Αθηναίοι να διστάζουν να χρηματοδοτήσουν έργα μεγάλης κλίμακας αυτού του είδους. Η έκταση και το κόστος των λύσεων που επιλέχθηκαν έπρεπε να είναι απόλυτα σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες και τη γενική οικονομική κατάσταση της πόλης. Αργότερα, όταν οι Ρωμαίοι ανέλαβαν τον έλεγχο της πόλης, το νερό έγινε θέμα πολυτέλειας και κύρους. Τα δημόσια συστήματα νερού αναπτύχθηκαν και τα υδραγωγεία χρησιμοποιήθηκαν για τη μεταφορά νερού σε δημόσιες βρύσες. Η πιο σημαντική κατασκευή αυτής της περιόδου ήταν ένα υδραγωγείο, που χτίστηκε υπό τη βασιλεία του αυτοκράτορα Αδριανού (117-138 μ.Χ.), που μεταφέρει νερό από τα βουνά Πάρνηθα και Πεντέλη στην Αθήνα, καλύπτοντας απόσταση 25 χλμ. Το Ανδριάνειο Υδραγωγείο παρείχε στους Αθηναίους μεγάλες ποσότητες πόσιμου νερού υψηλής ποιότητας. Η αυξημένη τροφοδοσία άλλαξε εντελώς τον τρόπο με τον οποίο οι Αθηναίοι χειρίζονταν το νερό, όπως μπορεί να συναχθεί από τους μεγαλύτερους σωλήνες υπερχειλίσης που κατασκευάστηκαν κατά την περίοδο αυτή (Lang, 1968). Ιδιωτικές εγκαταστάσεις, όπως πηγάδια και δεξαμενές έτειναν να εγκαταλείπονται, γεγονός που υποδηλώνει μια στάση διαχείρισης του νερού διαφορετική από την κλασική περίοδο.



Εικόνα 13: Τμήματα του υδραγωγείου του Πεισιστράτου αποκαλύφθηκαν κατά τις ανασκαφές για το μετρό της Αθήνας, όπως φαίνεται: (αριστερά) στη θέση κοντά στο σταθμό του μετρό Συντάγματος. (δεξιά) σε ένα κουτί στο σταθμό του Μετρό Ευαγγελισμός.

3.5. Ελληνιστική Εποχή

Η ελληνιστική περίοδος (323-146 π.Χ.) χαρακτηρίζεται από σημαντική πρόοδο στα μαθηματικά (ιδιαίτερα τη γεωμετρία), τη φυσική και την τεχνολογία (π.χ. Κουτσογιάννης και Αγγελάκης, 2003). Η γνωστή αντλία έλικας νερού που εφευρέθηκε από τον Αρχιμήδη (287-212 π.Χ.), είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα του πώς η γεωμετρία, σε συνδυασμό με την κατανόηση της φυσικής (βαρύτητας και υδραυλικής) βοήθησαν τις τεχνολογικές εξελίξεις. Ιδιαίτερα στην Αλεξάνδρεια, σημειώθηκαν σημαντικές εξελίξεις στην υδραυλική, η οποία επέτρεψε την εφεύρεση προηγμένων υδραυλικών και πνευματικών οργάνων και συσκευών (όπως αντλίες, υδραυλικά ρολόγια, μουσικά όργανα, λέβητες ατμού). Όλες αυτές οι εξελίξεις αντικατοπτρίζουν μια καλή κατανόηση του συνδυασμού της δράσης της πίεσης του αέρα και του νερού και ιδιαίτερα η λειτουργία ενός σιφονιού και ενός ανεστραμμένου σιφονιού.

Υπάρχουν ενδείξεις ότι η ροή υπό πίεση ήταν γνωστή πολύ νωρίτερα από αυτήν την περίοδο, όπως στην Μινωική περίοδο (βλ. Το jet d'eau που περιγράφεται παραπάνω). Ωστόσο, η ελληνιστική περίοδος φαίνεται να είναι η πρώτη στην ιστορία στην οποία η ροή υπό πίεση εφαρμόστηκε σε μεγάλη τεχνολογική κλίμακα για τη μεταφορά νερού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το σύστημα παροχής νερού της ακρόπολης της Περγάμου. Η αρχαία πόλη της Περγάμου βρίσκεται στη δυτική Ανατολία (σήμερα Τουρκία), 30 χλμ. από το Αιγαίο Πέλαγος. Λίγα είναι γνωστά για την ιστορία της πόλης πριν από την ελληνιστική περίοδο. Η δυναστεία του βασιλείου της Περγάμου ξεκίνησε με τον Στρατηγό Φιλετύρο (283-263 π.Χ.) και τελείωσε το 133 π.Χ. με την παράδοσή του στους Ρωμαίους μετά το θάνατο του τελευταίου βασιλιά, του Αττάλου Γ' (Υπουργείο Αιγαίου και Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2006).

Ο πρώτος οικισμός της πόλης ήταν στην κορυφή ενός ψηλού λόφου. Οι ανάγκες σε νερό της πόλης καλύφθηκαν από βρόχινο νερό που αποθηκευόταν σε ένα σύστημα δεξαμενών (παρέχοντας ασφαλή παροχή νερού σε περίπτωση πολέμου) και από μια μικρή πηγή στους πρόποδες του λόφου. Μέχρι το 1993, είχαν βρεθεί 149 τέτοιες δεξαμενές, οι οποίες θα μπορούσαν να υποστηρίξουν πληθυσμό περίπου 7 900 κατοίκων (Garbrecht και Garbrecht, 2005). Η πόλη άρχισε να επεκτείνεται και περίπου 200 π.Χ. η ζήτηση νερού ξεπέρασε τους τοπικά διαθέσιμους υδάτινους πόρους. Εγκαταστάθηκαν τρία υδραγωγεία για τη μεταφορά νερού από τα βουνά. Το ανεστραμμένο σιφόνι ήταν κατασκευασμένο από μέταλλο (μόλυβδο) και στηριζόταν με μεγάλες πέτρινες κατασκευές (Garbrecht et al., 2001). Ένας θάλαμος καθίζησης ιζημάτων κατασκευάστηκε στο ανάντη άκρο του ανεστραμμένου σιφονιού για να αποφευχθεί η παρεμπόδιση της λειτουργίας του από ιζήματα

(Garbrecht and Garbrecht, 2005). Το μεγάλο μήκος της κατασκευής και πάνω από όλα η υψηλή πίεση κεφαλής, και οι δύο καθιστούν ανέφικτη οποιαδήποτε εναλλακτική, είναι σίγουρα ένα ορόσημο της υδραυλικής μηχανικής.

3.6.Σημασία των τεχνικών της Αρχαίας Ελλάδας για τη σημερινή εποχή

Για να θέσουμε σε προοπτική τις αρχαίες πρακτικές διαχείρισης και επεξεργασίας των υδάτων που συζητούνται σε αυτή την εργασία, είναι σημαντικό να εξεταστεί η συνάφειά τους με τη σύγχρονη εποχή και να εξαχθούν συγκεκριμένα συμπεράσματα

Η συνάφεια των αρχαίων έργων θα εξεταστεί από την άποψη της εξέλιξης της τεχνολογίας, των τεχνολογικών εξελίξεων, των αρχών σχεδιασμού και των αρχών διαχείρισης.

Ένα σημαντικό ερώτημα που πρέπει να συζητηθεί είναι εάν οι σύγχρονες τεχνολογίες νερού προήλθαν από τα αρχαία ελληνικά τεχνολογικά επιτεύγματα ή ήταν τα ελληνικά επιτεύγματα ξεχασμένα εντελώς (κατά τη διάρκεια των σκοτεινών εποχών) και έπρεπε να ανακαλυφθούν ξανά στη σύγχρονη εποχή. Η τελευταία διατριβή θα μπορούσε να θεωρηθεί ως επέκταση του Crouch's (1993) που σκεφτόταν την εξέλιξη των τεχνολογιών στην αρχαιότητα. Συγκεκριμένα, δηλώνει: *«Λόγω του κενού στο αρχαιολογικό αρχείο, δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι αν κάποια από τις γνώσεις τους (π.χ. οι Μυκηναίοι και οι Μινωίτες) για τη διαχείριση των υδάτων επέζησε της κατάρρευσης αυτών των πολιτισμών και των 400 χρόνων περίπου των Σκοτεινών Αιώνων που ακολούθησαν. [...] Δεν θα περιμέναμε από αυτές [εξελιγμένες τεχνολογίες] να επιβιώσουν αλλά να ξαναεφευρεθούν ανεξάρτητα όταν αργότερα η ελληνική κοινωνία έφτασε στην τεχνολογική πολυπλοκότητα. »*

Η εξέλιξη της επιστήμης και της μηχανικής δεν είναι γραμμική αλλά μάλλον χαρακτηρίζεται από ασυνέχειες και παλινδρόμηση. Από την άλλη πλευρά, δεν είναι «Μαρκοβιανή» υπό την έννοια ότι μόνο το παρόν (δηλαδή η κατάσταση σε μια συγκεκριμένη στιγμή στιγμή) και όχι το παρελθόν (δηλαδή ολόκληρη η ιστορία) επηρεάζει το μέλλον. Οι «Γέφυρες» από το παρελθόν στο μέλλον είναι πάντα παρούσες, αν και μερικές φορές δεν είναι προφανείς. Επομένως, εκτός από κατασκευές που λειτουργούν συνεχώς ή κατά διαστήματα μέχρι σήμερα (κοχλίας του Αρχιμήδη), έχουν διατηρηθεί γραπτές πληροφορίες από την αρχαία Ελλάδα (συμπεριλαμβανομένων ακόμη και λεπτομερών συμβάσεων μεταξύ του κοινού και κατασκευαστών υδραυλικών έργων, Κουτσογιάννης και Αγγελάκης, 2003). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για μια τέτοια «γέφυρα» προέρχεται από την αστρονομία: Το ηλιοκεντρικό μοντέλο του ηλιακού συστήματος διατυπώθηκε για πρώτη φορά από τον Αρίσταρχο της Σάμου (310-230 π.Χ.), ο οποίος επίσης υπολόγισε πως να μετρήσει τις αποστάσεις και τα μεγέθη του Ήλιου και της Σελήνης. Για χρόνια πιστεύεται ότι ο Κοπέρνικος

επανεφήυρε εκ νέου αυτή τη θεωρία 1800 χρόνια αργότερα. Σήμερα γνωρίζουμε ότι ο Κοπέρνικος γνώριζε τη θεωρία του Αρίσταρχου, καθώς το αρχικό του σχέδιο του *De Revolutionibus* έχει επιβιώσει και περιλαμβάνει ένα απόσπασμα που αναφέρεται στον Αρίσταρχο (Weisstein, 2006).

Η σήραγγα του Ευπαλίνου και οι δύο γραμμές κατασκευής της δεν ξεχάστηκαν για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ο Ηρόδοτος (Ιστορία, Γ, 60) αναφέρει τη σήραγγα που την αποκαλεί «ἀμφίστομον» ή «δι-στόμα», υποδεικνύοντας ότι κατασκευάστηκε από δύο ανοίγματα. Τέσσερις αιώνες μετά ο Ευπαλίνος, ο μαθηματικός και φυσικός Ήρωνας (Ηρώνας) της Αλεξάνδρειας (Διοπτρά, ΙΙ; 1ος αιώνας π.Χ.), εμπνευσμένος από αυτήν τη σήραγγα, μελέτησε το πρόβλημα πώς «να σκάψει ένα βουνό σε ευθεία γραμμή από δύο στόμια» (Apostol, 2004). Η λύση που πρότεινε η οποία βασίζεται σε μια διαδρομή γύρω από το βουνό, είναι τεχνολογικά κατώτερη από εκείνη του Ευπαλίνου - αλλά η πιο ουσιαστική είναι ότι η σημασία του προβλήματος και η σκοπιμότητα της λύσης του μεταβιβάστηκαν στις επόμενες γενιές και στην ιστορία.

Ο Ήρωνας ήταν ο ίδιος μηχανικός και μαζί με τους προκατόχους του Αλεξάνδριους μηχανικούς Ctesibius και Philon Byzantius, και ο Συρακούσιος μαθηματικός, μηχανικός και φιλόσοφος Αρχιμήδης, προσέφεραν τα θεμέλια και τις βασικές εφαρμογές της υδροστατικής και της υδροδυναμικής (Κουτσογιάννης και Αγγελάκης, 2003). Όπως συζητήθηκε παραπάνω, η ανάπτυξη ενός τέτοιου επιστημονικού πλαισίου στην ελληνιστική περίοδο ήταν μια επιστημονική βάση του υδραγωγείου πίεσης στην Πέργαμο. Σε αυτήν την περίπτωση, υποστηρίχθηκε ότι κανένα άλλο ανεστραμμένο σιφόνι αυτού του μεγέθους δεν έχει κατασκευαστεί για ενάμιση χιλιετία μετά (Garbrecht και Garbrecht, 2005), το οποίο μπορεί να ερμηνευθεί ως περίπτωση ασυνέχειας στην ιστορία της τεχνολογίας. Ωστόσο, αυτό μπορεί να αμφισβητηθεί επειδή ο Ρωμαίος μηχανικός Βιτρούβιος περιγράφει το ανεστραμμένο σιφόνι (Hodge, 2002) και επειδή σιφόνια (ίσως μικρότερου μεγέθους) βρέθηκαν σε ρωμαϊκά υδραγωγεία μεταγενέστερων περιόδων, για παράδειγμα στο Lugdunum (Lyon; Screen, 2005). Άλλες καινοτομίες αυτής της περιόδου ήταν σε συνεχή χρήση κατά τη διάρκεια των αιώνων. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η αντλία έλικας του Αρχιμήδη, η οποία χρησιμοποιείται ακόμα σήμερα από εφαρμογές μεγάλης κλίμακας (π.χ. σε αντλιοστάσια λυμάτων και αποχέτευσης) έως ιατρικές διαδικασίες (π.χ. σε χειρουργική επέμβαση για τη διατήρηση της κυκλοφορίας του αίματος).

Ένα άλλο ζήτημα που πρέπει να εξεταστεί είναι η σύγκριση της υδραυλικής τεχνολογίας στην αρχαιότητα με αυτήν της σύγχρονης εποχής. Σίγουρα πολλές σύγχρονες εξελίξεις δεν ήταν γνωστές στην αρχαιότητα, όπως η χρήση σωλήνων από πλαστικό και σκυρόδεμα, τα αυτοματοποιημένα συστήματα διανομής αστικού νερού υπό πίεση, η χρήση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού όπως οι αντλίες και ο αποτελεσματικός μηχανικός εξοπλισμός για την κατασκευή υδραυλικών έργων. Αλλά

σε κάποιο βαθμό αυτές είναι διαφορές στην συσκευή την κατασκευή και στην κλίμακα εφαρμογών και όχι διαφορές των θεμελιωδών αρχών που χρησιμοποιούνται. Ακόμη και ο τρόπος ζωής που σχετίζεται με τα πρότυπα υγιεινής του πολιτισμού μπορεί να μην αποτελεί πρόσφατη εξέλιξη.

Για παράδειγμα, οι τουαλέτες έκπλυσης εφοδιασμένες με καθίσματα που μοιάζουν με τουαλέτες σήμερα και στραγγισμένοι από υπονόμους υπήρχαν από τους Μινωικούς χρόνους (π.χ. στο παλάτι της Κνωσού, Angelakis et al., 2005). Η ουσιαστική πρόοδος των σύγχρονων εποχών είναι η καλύτερη κατανόηση και μαθηματικοποίηση της υδραυλικής που επιτρέπει καλύτερο σχεδιασμό και διαχείριση υδραυλικών έργων και πολύ μεγαλύτερες κλίμακες εφαρμογής.

Οι σημερινοί μηχανικοί συνήθως χρησιμοποιούν μια περίοδο σχεδιασμού κατασκευών περίπου 40 έως 50 ετών, η οποία σχετίζεται με οικονομικά ζητήματα. Η βιωσιμότητα, ως αρχή σχεδιασμού, μπήκε στο λεξικό της μηχανικής την τελευταία δεκαετία. Είναι δύσκολο να συναχθούν οι αρχές σχεδιασμού των αρχαίων μηχανικών. Ωστόσο, είναι αξιοσημείωτο ότι πολλά αρχαία έργα λειτουργούν για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα, έως και τη σύγχρονη εποχή. Για παράδειγμα, νερό για τη σύγχρονη πόλη της Αθήνας προμήθευε κυρίως το Αδριάνιο υδραγωγείο μέχρι τη δεκαετία του 1920 και εν μέρει μέχρι τη δεκαετία του 1950. Το υδραγωγείο του Πεισιστράτου λειτουργεί ακόμη (με κάποιες διακοπές, που η πιο πρόσφατη που προκλήθηκε πριν από δύο χρόνια από ζημιά από την κατασκευή ενός σύγχρονου υπόγειου χώρου στάθμευσης), αν και όχι για την παροχή νερού αλλά για την άρδευση του Εθνικού Κήπου στο κέντρο της Αθήνας. Η Αθήνα μπορεί να θεωρηθεί ως παράδειγμα μιας βιώσιμης πόλης δεδομένου ότι η ιστορία της επεκτείνεται για περισσότερα από 3000 χρόνια (παρόλο που η βιωσιμότητα και η ομορφιά της πόλης έχουν επιδεινωθεί το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα). Παρά τους συχνούς σεισμούς και τις καταστροφές, αρκετές κατασκευές έχουν επιβιώσει μέχρι σήμερα, αντικατοπτρίζοντας το μεγαλείο της ιστορίας της πόλης.

Το αθηναϊκό παράδειγμα που περιγράφηκε νωρίτερα φανερώνει αξιοθαύμαστες ισορροπίες μεταξύ (α) δομικών και μη διαρθρωτικών (θεσμικών) μέτρων. β) έργα μεγάλης κλίμακας (π.χ. υδραγωγείο Πεισιστράτου) και έργα μικρής κλίμακας (πηγάδια και δεξαμενές) · και (γ) συμφέροντα του κοινού (για έργα μεγάλης κλίμακας) και του ιδιωτικού τομέα (για έργα μικρής κλίμακας). Το τελευταίο είναι εμφανές ακόμη και στον κανονισμό του Σόλωνα που συζητήθηκε παραπάνω, του οποίου ο απώτερος σκοπός ήταν η εξισορρόπηση δημόσιου και ιδιωτικού ενδιαφέροντος για την κατασκευή και τη λειτουργία των πηγαδιών. Σήμερα, παρόμοιες λύσεις αναζητούνται συχνά τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες. Στη σύγχρονη Αθήνα, η ευθύνη για τη διαχείριση του συστήματος ύδρευσης ανήκει στην ΕΥΔΑΠ Α.Ε. η οποία ανήκει ακόμη σε μεγάλο ποσοστό στο Ελληνικό Δημόσιο. Ορισμένοι δήμοι στην περιοχή της Αθήνας εξακολουθούν να

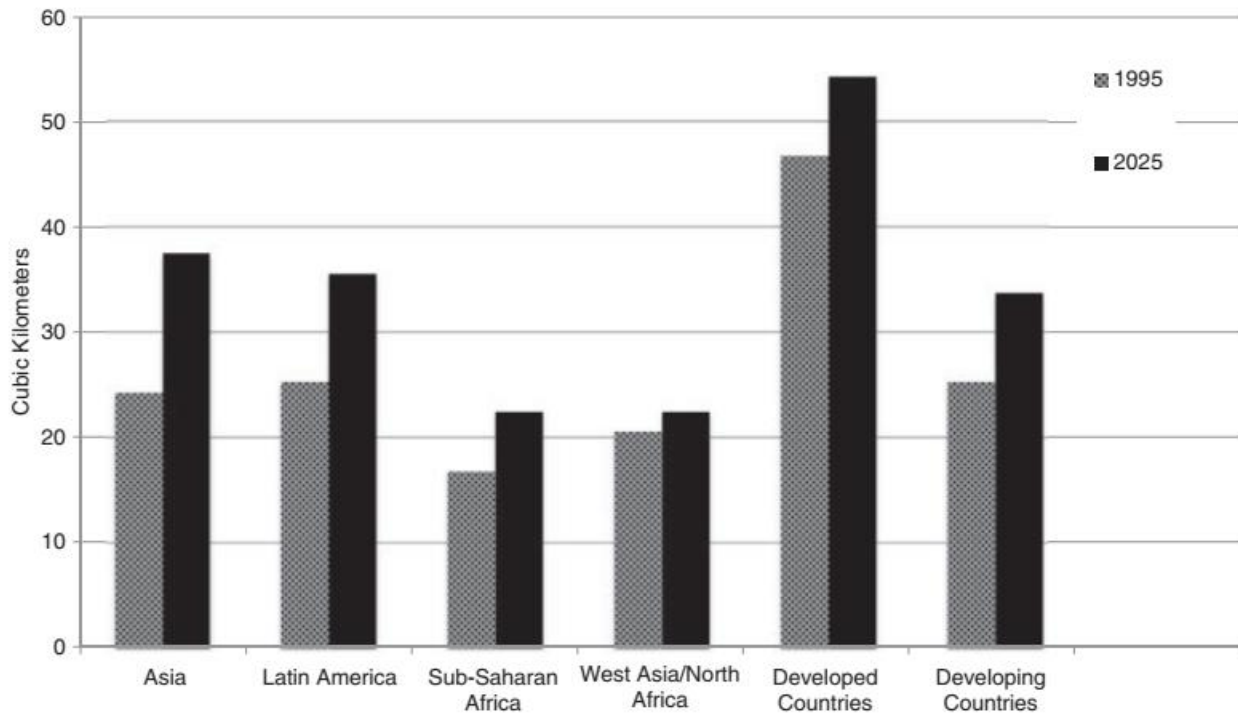
διαδραματίζουν κάποιο ρόλο στη διαχείριση της παροχής νερού. Αυτές οι μεταβολές προς τα εμπρός και προς τα πίσω δείχνουν σαφώς ότι μια τέτοια ισορροπία μεταξύ ιδιωτικών και δημόσιων συμφερόντων δεν έχει τεκμηριωθεί μέχρι σήμερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΒΑΣΙΣΜΕΝΕΣ ΣΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑΣ

4.1. Η αναγκαιότητα χρησιμοποίησης εναλλακτικών τεχνικών απολύμανσης νερού από την αρχαιότητα στη σημερινή εποχή

Σύμφωνα με τον Εκπαιδευτικό Επιστημονικό και Πολιτιστικό Οργανισμό των Ηνωμένων Εθνών (UNESCO), το 97,5% των υδάτινων πόρων του πλανήτη είναι αλμυρό νερό, ενώ το υπόλοιπο 2,5% είναι γλυκό νερό. Περίπου τα δύο τρίτα των πόρων γλυκού νερού βρίσκονται σε παγετώνες και τα μόνιμα καλύμματα πάγου στην Αρκτική και την Ανταρκτική. Το υπόλοιπο ένα τρίτο αποτελείται από υπόγεια νερά, μερικά από τα οποία είναι προσβάσιμα, και επιφανειακά νερά (ποτάμια, ρέματα και λίμνες). Έτσι, λιγότερο από το 1% των υδάτινων πόρων του Πλανήτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους ανθρώπους (Rooy, 2003; UNESCO, 2009). Επιπλέον, το 80% του διαθέσιμου νερού για ανθρώπινη χρήση χρησιμοποιείται από τη γεωργία, την κτηνοτροφία και την παραγωγή ενέργειας, επιδεινώνοντας περαιτέρω την έλλειψη νερού στον κόσμο (Shannon et al., 2007). Δυστυχώς, η παγκόσμια παροχή νερού επηρεάζεται επίσης πολύ από την κλιματική αλλαγή, η οποία έχει ως αποτέλεσμα κυρίως αλλαγές στη συχνότητα και ένταση των βροχοπτώσεων, αυξημένη ξηρασία και μειωμένη κάλυψη χιονιού.

Το νερό είναι ένας πολύτιμος πόρος που απαιτείται για οικιακές, κτηνοτροφικές, βιομηχανικές και αρδευτικές χρήσεις. Οι αναπτυσσόμενες χώρες χρησιμοποιούν πολύ λιγότερο νερό από τις ανεπτυγμένες. Όσον αφορά την οικιακή χρήση, η κατά κεφαλήν κατανάλωση νερού είναι διπλάσια στις ανεπτυγμένες χώρες από ό, τι στις αναπτυσσόμενες. Το σχήμα που ακολουθεί (Rosegrant et al., 2002) δείχνει την κατά κεφαλήν κατανάλωση νερού ανά παγκόσμια περιοχή και τις προβλέψεις για το 2025. Η πρόσβαση σε ασφαλές νερό και αποχέτευση είναι ένα από τα 10 επιτεύγματα δημόσιας υγείας μεταξύ 2001 και 2010.



Εικόνα 14: Κατά κεφαλήν παγκόσμια οικιακή κατανάλωση νερού ανά περιοχή ανά έτος, 1995 και 2025. Προσαρμογή από τους Rosegrant et al. (2002). Παγκόσμια προοπτική για το νερό έως το 2025

Εκτιμάται ότι ένα δισεκατομμύριο του παγκόσμιου πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση σε ασφαλές καθαρό νερό και περίπου 2,6 δισεκατομμύρια άνθρωποι στερούνται βελτιωμένης υγιεινής (ΠΟΥ / UNICEF, 2000, 2004, 2010 · ΠΟΥ, 2003). Ένα άλλο σημάδι κακής υγιεινής στις αναπτυσσόμενες χώρες είναι το εύρημα ότι 1,1 δισεκατομμύρια άνθρωποι εξακολουθούν να αφοδεύουν στο ύπαιθρο (ΠΟΥ / UNICEF, 2010). Κατά συνέπεια, περισσότερα από δύο εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν κάθε χρόνο από ασθένειες που μεταδίδονται στο νερό. Ενεήντα τοις εκατό των περιπτώσεων διάρροιας σχετίζονται με κατανάλωση κακής ποιότητας νερού. Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές επιδημιολογικές μελέτες σε αναπτυσσόμενες χώρες στην Αφρική, την Ασία και τη Νότια Αμερική. Υπάρχουν περίπου 4 δισεκατομμύρια περιπτώσεις διαρροϊκής νόσου ετησίως, με αποτέλεσμα έως και 2,5 εκατομμύρια θανάτους / έτος από ενδημική διάρροια (Kosek et al., 2003). Η ενδημική διάρροια προκαλεί 1,7 δισεκατομμύρια επεισόδια / έτος και αντιπροσωπεύει περίπου το 17% όλων των θανάτων σε παιδιά ηλικίας κάτω των 5 ετών (Black et al., 2010; WHO, 2005). Μια μελέτη στο Γιαουντέ του Καμερούν, αποκάλυψε την επικράτηση διάρροιας 14,4% που σχετίζεται με μολυσμένο πόσιμο νερό (Yongsi, 2010).

Ο αναπτυξιακός στόχος της Χιλιετίας (MDG) που χρηματοδοτείται από τα Ηνωμένα Έθνη (<http://www.un.org/millenniumgoals>) στοχεύει στην αύξηση της πρόσβασης σε ασφαλές πόσιμο νερό και αποχέτευση στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η MDG στοχεύει στη μείωση κατά 50% του

αριθμού των ατόμων χωρίς πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό και αποχέτευση έως το 2025 (ΠΟΥ / UNICEF, 2010). Εκτός από ορισμένες περιοχές, όπως η υποσαχάρια Αφρική, τα στοιχεία του ΠΟΥ / UNICEF (2012) δείχνουν ότι ο στόχος του πόσιμου νερού για τους στόχους της ΑΣΧ επιτεύχθηκε το 2010, καθώς 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι είχαν πρόσβαση σε ασφαλείς πηγές πόσιμου νερού μεταξύ του 1990 και του 2010. Έτσι, περίπου 11% του παγκόσμιου πληθυσμού εξακολουθεί να χρησιμοποιεί μη ασφαλείς πηγές πόσιμου νερού και περίπου 2,5 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε βελτιωμένη αποχέτευση.

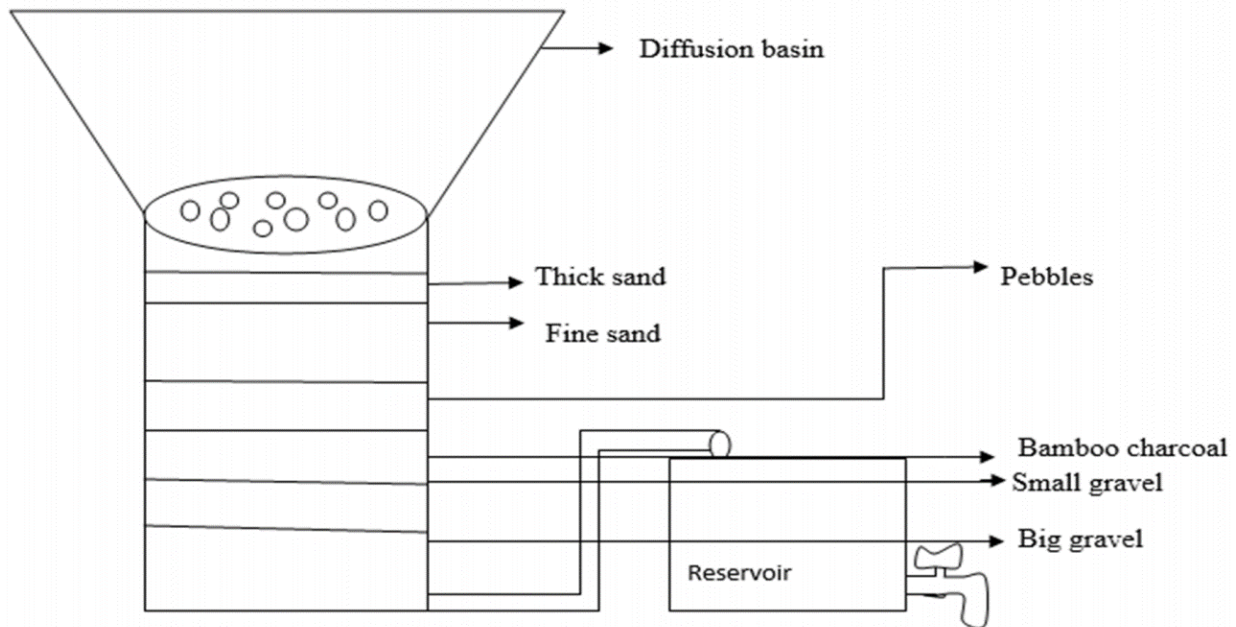
Η επίτευξη αυτών των στόχων απαιτεί την ανάπτυξη χαμηλού κόστους, αποτελεσματικών, βιώσιμων και κοινωνικά αποδεκτών τεχνολογιών επεξεργασίας πόσιμου νερού. Σε αυτήν την προσπάθεια σημαντική βοήθεια δίνουν οι τεχνικές απολύμανσης και επεξεργασίας νερού από την αρχαιότητα που περιγράφηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, οι οποίες στην πλειονότητά τους αποτελούν εύκολες στην εφαρμογή και φθηνές μέθοδοι για την εξυπηρέτηση περιοχών που αντιμετωπίζουν σοβαρά οικονομικά προβλήματα και έχουν έλλειψη υποδομών. Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν ορισμένες εναλλακτικές πρακτικές απολύμανσης νερού που βασίζονται σε αυτές της αρχαιότητας οι οποίες έχουν σήμερα εφαρμογή κυρίως σε κάποιες αναπτυσσόμενες χώρες του πλανήτη.

4.2. Άνθρακας από μπαμπού

Τα μέλη της ερευνητικής ομάδας της E4C Community από το Μπανγκαλόρ της Ινδίας προτείνουν να σχεδιάσουν και να κατασκευάσουν ένα φυσικό φίλτρο που αποτελείται από μπαμπού, χαλίκια, βότσαλο και άλλα τοπικά διαθέσιμα φυσικά προσροφητικά μέσα για την πραγματοποίηση αυτού του καθαρισμού. Οι ιδιότητες του άνθρακα από μπαμπού, όπως το υψηλό πορώδες, τα συστατικά των ορυκτών, ο ρυθμός απορρόφησης, η ύπαρξη ακίνδυνων μικροβίων κ.λπ., το καθιστούν ιδανικό για τη χρήση του στον καθαρισμό του νερού.

Κατά τη διάρκεια των διεργασιών επεξεργασίας του νερού, ο άνθρακας από μπαμπού διαλύει ακόμη και τα πλούσια μεταλλικά του περιεχόμενα στο νερό, έτσι το καθαρισμένο νερό γίνεται πλούσιο σε μέταλλα. Εκτός από τη χρήση μπαμπού, προτείνουν επίσης τη χρήση χαλικιών και βότσαλων σε διάφορα στάδια για να βοηθήσουν στην καθίζηση των σωματιδίων και συνεπώς στον περαιτέρω καθαρισμό. Με την έκθεση στο ηλιακό φως, οι ακτίνες UV διαδραματίζουν επίσης το ρόλο τους στον καθαρισμό με την ικανότητά τους να σκοτώνουν ή/και να αδρανοποιούν παθογόνα βακτήρια. Η διαδικασία που προτείνουν είναι αυτόχθονη, φιλική προς το περιβάλλον, χαμηλού κόστους και συνεπάγεται ελάχιστη συντήρηση. Μπορεί να καθαρίσει 30 λίτρα νερού ανά ώρα με την εφαρμογή της μεθόδου διακοπτόμενης λειτουργίας και ροής κάτω από το μέγιστο ηλιακό φως.

Ο άνθρακας από μπαμπού είναι πλούσιος σε πολλά μέταλλα και ιχνοστοιχεία, όπως κάλιο, μαγνήσιο, νάτριο και ασβέστιο.



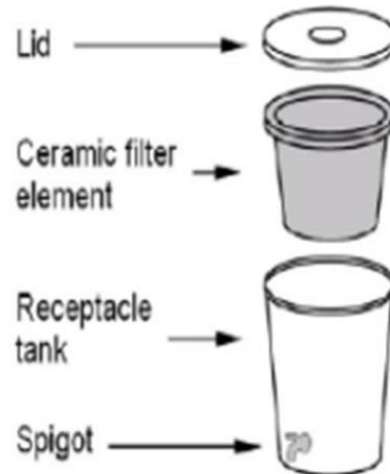
Εικόνα 15:Κύριος σχεδιασμός του φίλτρου άνθρακα μπαμπού (Qiblaway, 2008)

4.3. Κεραμικά φίλτρα

Μετά το τσουνάμι του Ινδικού Ωκεανού του 2004, το ασφαλές πόσιμο νερό έγινε τεράστιο πρόβλημα στη Σρι Λάνκα. Το εμφιαλωμένο νερό ήταν μια προσωρινή λύση. Αυτό που χρειάστηκαν οι κατεστραμμένες κοινότητες ήταν ένας φθηνός τρόπος επεξεργασίας του νερού στο σημείο χρήσης. Η Αμερικανική Εταιρεία Ερυθρού Σταυρού συνεργάστηκε με την Εταιρεία Ερυθρού Σταυρού της Σρι Λάνκα για να προμηθεύσει φίλτρα αργίλου σε κοινότητες που πλήττονται από τσουνάμι. Τα φίλτρα νερού αργίλου και ψαμμίτη έχουν χρησιμοποιηθεί για πάνω από χίλια χρόνια. Στο Εθνικό Μουσείο της Σρι Λάνκα εκτίθεται ένα φίλτρο 1200 ετών και ο σχεδιασμός του δεν έχει αλλάξει πολύ στη σημερινή του μορφή. Κάθε φίλτρο μοιάζει με μια μεγάλη γλάστρα από πηλό. Όταν το νερό τροφοδοτείται στο φίλτρο, διαπερνά με αργό ρυθμό το υλικό από πηλό και στάζει μέσα σε ένα δοχείο αποθήκευσης. Το φίλτρο λειτουργεί ως κόσκινο γιατί ο πηλός από τον οποίο είναι κατασκευασμένο είναι πορώδης. Αυτοί οι μικροσκοπικοί πόροι είναι αρκετά μεγάλοι για να επιτρέπουν στο νερό να διεισδύσει, αλλά αρκετά μικρό για να παγιδεύσει βακτήρια και άλλους δυνητικά παθογόνους οργανισμούς. Τα φίλτρα που κατασκευάζονται με τη χρήση του σχεδιασμού

του Ερυθρού Σταυρού επεξεργάζονται περίπου 2 λίτρα νερού ανά ώρα, προσθέτοντας έως και 40 λίτρα την ημέρα. Αυτό αρκεί για τις περισσότερες οικογένειες.

(<https://www.engineeringforchange.org/static/content/Water/S00024/>)

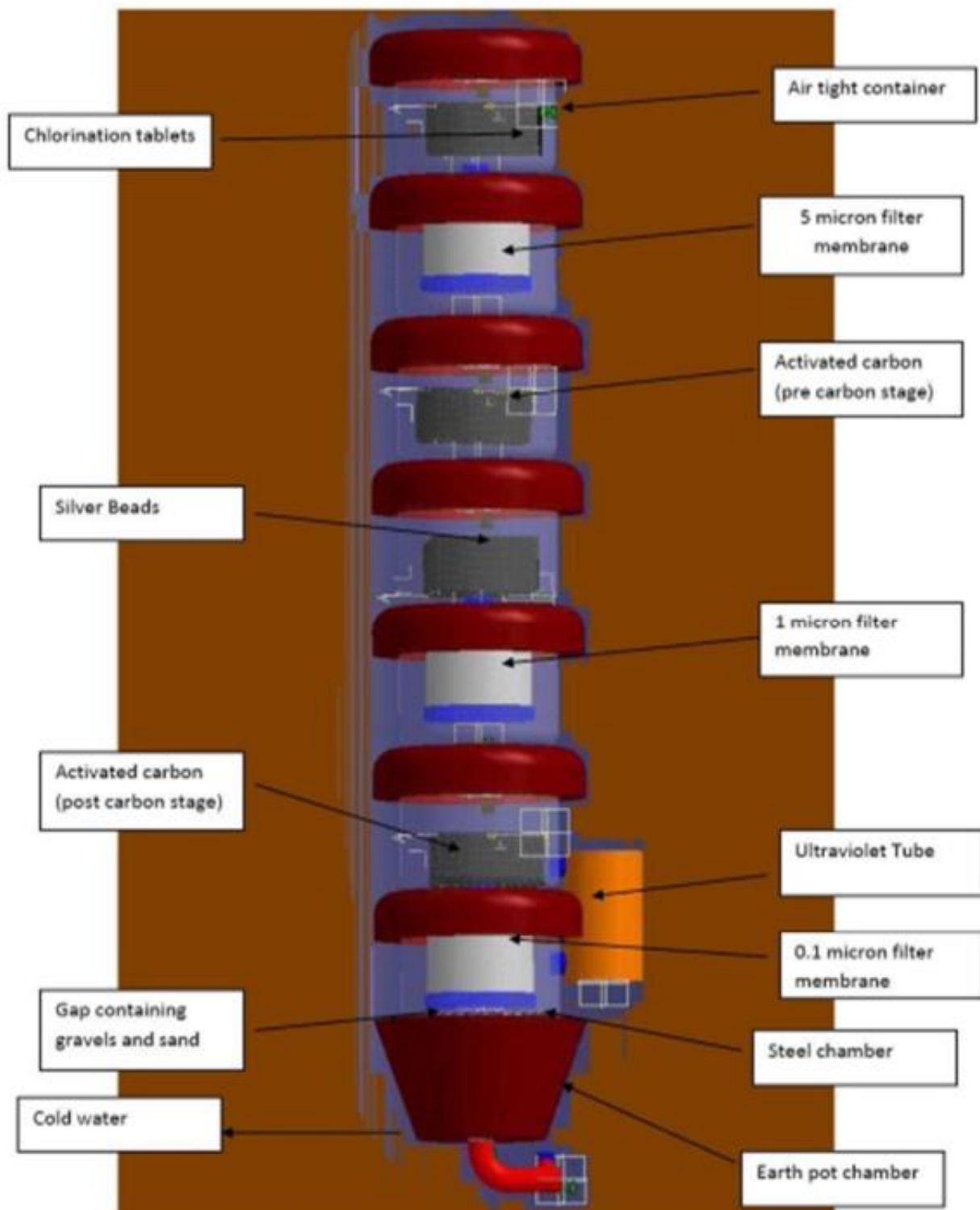


Εικόνα 16: Μέρη ενός κεραμικού φίλτρου (Qiblaway, 2008)

4.4. Φορητό φθινό φίλτρο νερού

Μια ομάδα μαθητών στο BITS-Pilani έχουν αναπτύξει ένα φορητό φίλτρο νερού. Αυτός ο φορητός σχεδιασμός φίλτρου που προτάθηκε ως απάντηση σε μια πρόσκληση για καλύτερη διήθηση νερού σε βρύσες στην Ινδία χρησιμοποιεί χλώριο, χάντρες αργύρου, ενεργό άνθρακα και άμμο. Ρυθμός ροής: 10 λίτρα ανά ώρα.

(<https://www.engineeringforchange.org/solution/library/view/detail/Water/S00024/>)

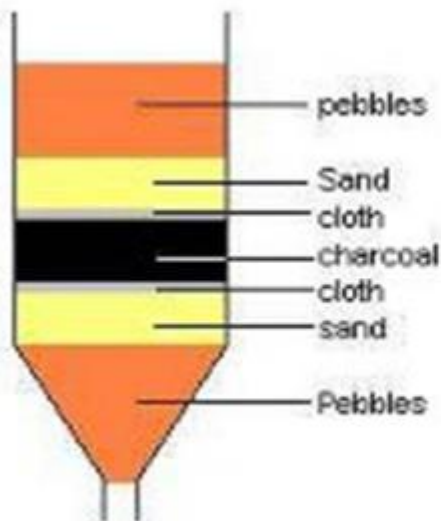


Εικόνα 17. Φορητό φθινό φίλτρο νερού (Qiblaway, 2008)

4.5. Οικιακό φίλτρο έκτακτης ανάγκης

Όταν μια τοπική κοινωνία βρίσκεται σε μια κατάσταση επιβίωσης, γενικά δεν έχει πρόσβαση σε συστήματα καθαρισμού του νερού, ώστε να έχει τη δυνατότητα να έχει πόσιμο νερό, θα μπορούσαν τα νοικοκυριά της απλά να ζεσταίνουν το νερό. Ωστόσο, ακόμα και μετά το βρασμό παρόλο που οι παθογόνοι μικροοργανισμοί θα έχουν εξαλειφθεί, οι χημικές ουσίες θα παραμείνουν στο νερό μετά το μαγείρεμα. Αυτό θα μπορούσε να επηρεάσει την υγεία των κατοίκων. Έτσι, η πιο καλύτερη λύση για την οικιακή επεξεργασία νερού είναι να χρησιμοποιηθεί ένα φίλτρο. Μπορεί κανείς να κατασκευάσει ένα φίλτρο νερού με τα υλικά στα οποία έχει πρόσβαση. Αυτό το φίλτρο διυλίζει τις ουσίες. Είναι συνετό να βράζει κανείς το νερό αφού το φιλτράρει έτσι ώστε να σκοτωθούν όλα τα βακτήρια και οι ιοί. (<https://www.engineeringforchange.org/solution/view/141>)

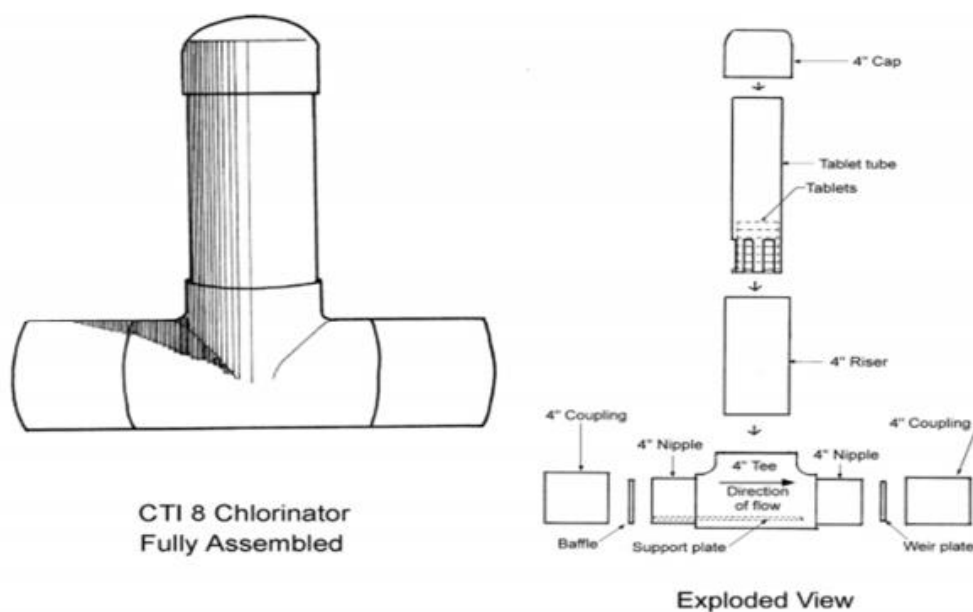
Ένα φίλτρο νερού μπορεί να δημιουργηθεί αφαιρώντας το κάτω μέρος μιας φιάλης. Πρώτα γυρίζουμε τη φιάλη ανάποδα (με το καπάκι προς τα κάτω) και μετά βάζουμε κατά σειρά τα ακόλουθα υλικά στη φιάλη: Βότσαλα, Άμμο, ένα κομμάτι ύφασμα ή επίδεσμοι, Κάρβουνα, ένα κομμάτι ύφασμα ή επίδεσμοι, Άμμος, Βότσαλα



Εικόνα 18.: Σπιτικό φίλτρο έκτακτης ανάγκης (Qiblaway, 2008)

4.6. Ο χλωριωτής CTI 8

Το CTI (Compatible Technology International) είναι ένας μη κερδοσκοπικός Μη Κυβερνητικός Οργανισμός (ΜΚΟ) στις ΗΠΑ. Ο σχεδιασμός του CTI 8 περιλαμβάνει μια συσκευή απολύμανσης πόσιμου νερού σε συστήματα νερού με βαρύτητα. Είναι χαμηλού κόστους, μη ηλεκτρικό και απαιτεί ελάχιστη συντήρηση. Το CTI 8 είναι ικανό να παρέχει σταθερή και κατάλληλη δόση χλωρίου για τον έλεγχο των παθογόνων οργανισμών που προκαλούν ασθένειες σε μικρά συστήματα ύδατος της κοινότητας (<https://www.engineeringforchange.org/news/files>)



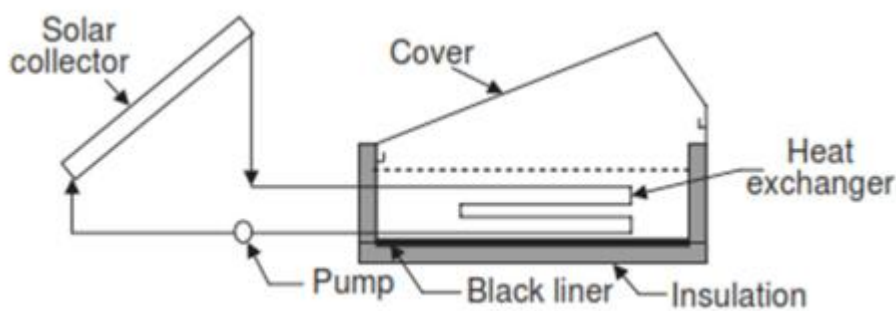
Εικόνα 19: Ο χλωριωτής CTI 8 (Qiblaway, 2008)

4.7. Ηλιακή απολύμανση

Η ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιούνταν από την αρχαιότητα για την απολύμανση του νερού. Μόλις τις τελευταίες δεκαετίες έχει κινήσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων, αυτή η μέθοδος. Το Ελβετικό Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας και το Υπουργείο ύδρευσης και αποχέτευσης στις αναπτυσσόμενες χώρες έχουν συμβάλει στη διάδοση της ηλιακής απολύμανσης του νερού (SODIS). Ο λόγος που κάνει την τεχνολογία τόσο διαδεδομένη είναι η ευκολία χρήσης και η αποτελεσματικότητα: το νερό τοποθετείται σε αποστειρωμένα πλαστικά μπουκάλια και εκτίθεται στο άμεσο φως του ήλιου για περίπου έξι ώρες. Οι μικροοργανισμοί στο νερό απορροφούν το φως του ήλιου και αφού εκτεθούν σε επαρκείς δόσεις ακτινοβολίας UV, προκαλούνται μεταλλάξεις στο γενετικό υλικό τους και αναστολή της

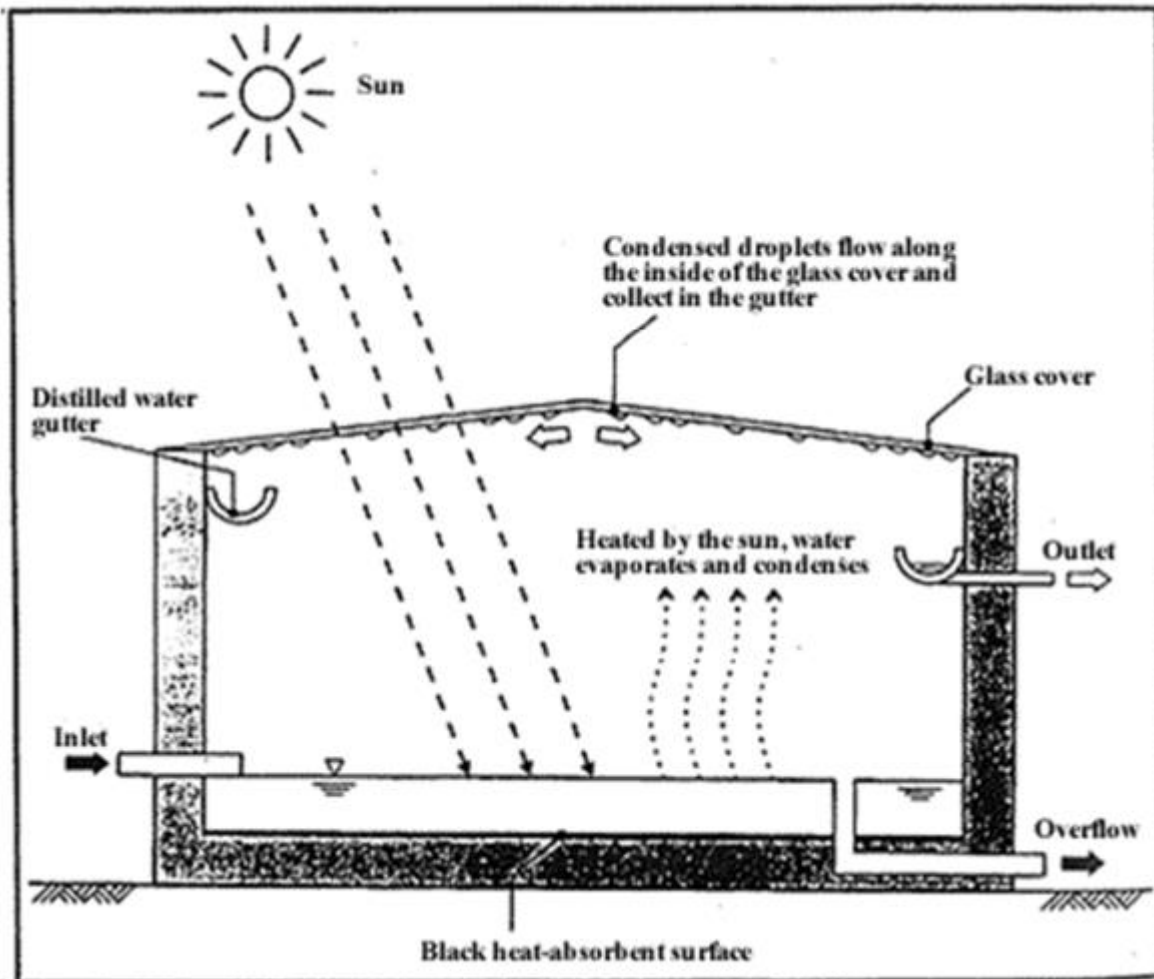
αναπαραγωγής τους. Αν και ορισμένοι παθογόνοι μπορεί να επιβιώσουν, παύουν να είναι μολυσματικοί. Η μέθοδος βελτιστοποιείται με την χρήση φίλτρου, φτιαγμένου από ακατέργαστη άμμο και χαλίκι, που συγκρατεί τα αιωρούμενα σωματίδια πριν την έκθεση του νερού στον ήλιο.

Η ηλιακή απολύμανση είναι διεργασία κατά την οποία η ηλιακή θερμότητα χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του νερού με εξάτμιση και συμπύκνωση. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό νερού από αλατούχο νερό, η διαδικασία ονομάζεται επίσης ηλιακή αφαλάτωση. Η αφαλάτωση μετατρέπει το αλατόνερο με υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι, περίπου 3.5% κατά βάρος σε θαλασσινό νερό και περίπου 0,6% σε υφάλμυρο νερό, σε γλυκό νερό κατάλληλο για πόσιμο και για άλλους σκοπούς. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αφαλάτωση, είτε ως θερμική ενέργεια μέσω της χρήσης ηλιακών θερμικών συλλεκτών ή ηλιακών λιμνών, είτε με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Κυρίως μέσω της χρήσης φωτοβολταϊκών κυττάρων.



Εικόνα 19. Ηλιακή απολύμανση (Qiblaway, 2008)

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας στις διαδικασίες θερμικής αφαλάτωσης είναι μία από τις πιο ελπιδοφόρες εφαρμογές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ηλιακή αφαλάτωση μπορεί είτε να είναι άμεση χρήση ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή αποστάγματος απευθείας στον ηλιακό συλλέκτη ή έμμεση. συνδυασμός συμβατικών τεχνικών αφαλάτωσης, όπως αφαλάτωση πολλαπλών σταδίων (MSF), συμπύεση ατμών (VC), αντίστροφη όσμωση (RO), απόσταξη μεμβράνης (MD) και ηλεκτροδιάλυση, με ηλιακούς συλλέκτες για παραγωγή θερμότητας. Η άμεση ηλιακή αφαλάτωση σε σύγκριση με τις έμμεσες τεχνολογίες απαιτεί μεγάλες χερσαίες εκτάσεις και έχει σχετικά χαμηλή παραγωγικότητα. Ωστόσο, είναι ανταγωνιστική με τις μονάδες έμμεσης αφαλάτωσης στην παραγωγή μικρής κλίμακας λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους και της απλότητας (Qiblawey, 2008)



Εικόνα 21: Τεχνολογίες ηλιακής θερμικής αφαλάτωσης (Qiblaway, 2008)

4.8. Στυπτηρία / Ενεργός άνθρακας

Τα παραπροϊόντα των σύγχρονων μεθόδων απολύμανσης (χλωρίωση, οζόνωση, επεξεργασία με υπεριώδη ακτινοβολία UV) είναι γονιδιοτοξικά και κυτταροτοξικά.

Μίγμα στυπτηρίας ποτάσας, λευκαντικό σε σκόνη και ασβέστη έχουν χρησιμοποιηθεί πειραματικά στο Μπαγκλαντες για την απολύμανση του νερού και πέτυχαν την μείωση επεισοδίων διάρροιας.

Ο ενεργός άνθρακας, χρησιμοποιείται αποτελεσματικά, για την διήθηση των οργανικών παραπροϊόντων χλωρίωσης αλλά και των οργανικών ρυπαντών γενικά, και απαλλάσσει το νερό από δυσσομία και τοξικές ουσίες.

4.9.Άργυρος

Νανοσωματίδια αργύρου, μπορούν να παρέχουν ασφαλή καθαρισμό του νερού στο μέλλον. Με το ασήμι να είναι γνωστό για τις αντιβακτηριδιακές του ιδιότητες, επιστήμονες του Πανεπιστημίου McGill προχώρησαν στη χρήση νανοσωματιδίων αργύρου, για την κατασκευή συσκευής καθαρισμού του νερού σε καταστάσεις ανάγκης.

Η εξαιρετικά βιοκτόνος δράση και η μη τοξικότητα στα ανθρώπινα κύτταρα, καθιστά το ασήμι κατάλληλο για τους σκοπούς καθαρισμού του νερού. Πολυμερή που περιέχουν νανοσωματίδια αργύρου έχουν αντιβακτηριακή δράση, εξαιτίας της παρατεταμένης απελευθέρωσης του αργύρου (Pradeep T., 2009)

4.10.Κλαδιά πεύκου λειτουργούν ως φίλτρα για πόσιμο νερό

Η ψίχα του ξύλου περιέχει το λεγόμενο ξύλωμα, ένα σύστημα αγωγών που ανεβάζει νερό από τις ρίζες στα κλαδιά και τα φύλλα (ένα δεύτερο σύστημα αγωγών, το φλοίομα, κατεβάζει θρεπτικά συστατικά από τα φύλλα μέχρι τις ρίζες).

Οι αγωγοί του ξυλώματος δεν είναι συνεχείς, αλλά χωρίζονται σε επιμέρους αγγεία, αποτελούμενα από νεκρά κύτταρα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους στις άκρες μέσω μικρών οπών που ονομάζονται βοθρία. Μια βασική λειτουργία των οπών αυτών είναι να εμποδίζουν τυχόν φυσαλίδες να μετακινούνται από αγγείο σε αγγείο και να φράζουν το σύστημα. Όπως αποδεικνύεται όμως, τα βοθρία μπορούν να λειτουργούν και ως φίλτρα νερού που κατακρατούν τυχόν σωματίδια, επιτρέποντας την εύκολη ροή του υγρού και κατακρατώντας τα μικρόβια. (Rohit Karnik, MIT, 2003; Boutilier M. et al.,2014)

4.11.Κορίανδρος ή κόλιανδρος της οικογένειας των σελινοειδών.

Άλλο ένα θαυματουργό φυτό για τον καθαρισμό των υδάτων και του αίματος.

Σε ερευνητικό πρόγραμμα αναζήτησης φτηνών και άφθονων υλικών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να φιλτράρουν τους βιομηχανικούς ρύπους στα υπόγεια ύδατα, δοκίμασαν διάφορα φυτά, μετρώντας την περιεκτικότητα του μολύβδου σαν δοκιμαστικό μέταλλο.

Οι δοκιμές έδειξαν ότι ο κόλιαντρος ήταν ένα από τα πιο αποτελεσματικά φυτά για τον καθαρισμό του νερού από τα βαρέα μέταλλα. (Douglas Schauer, 2013)

4.12. *Luffa cylindrica*

Ανήκει στην οικογένεια των κολοκύθων. Στην περίπτωση που ωριμάσει και αφυγρανθεί, χρησιμοποιείται σαν σφουγγάρι. Αλλά έχει και απορροφητικές ιδιότητες, δηλαδή είναι ικανό να απορροφήσει ιόντα βαρέων μετάλλων γι' αυτό και θεωρείται φτηνή μέθοδος απολύμανσης του νερού. (Aluyor E. & Audu T., 2009)

4.13. Χέλι

Μάλλον παράδοσιακή τεχνική, θεωρείται η τοποθέτηση χελιού σε στέρνες αποθήκευσης νερού, που συναντάται στα ελληνικά νησιά. Τα χέλια υποτίθεται πως τρώνε τα "νερομάμουνα" ενώ εμποδίζουν την ανάπτυξη βρύων στα τοιχώματα της στέρνας. Επίσης το χέλι θεωρείται δείκτης καθαρότητας του νερού, διότι δεν μπορεί να επιβιώσει σε μολυσμένα νερά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ της οικοδόμησης της γνώσης στην επιστήμη, την ιατρική και τη μηχανική που μας οδήγησε στον 21ο αιώνα όπου το ασφαλές νερό βρίσκεται στον τρέχοντα ορισμό του. Μπορούμε να απολυμάνουμε το νερό για σχεδόν οποιοδήποτε μολυσματικό παράγοντα είναι γνωστός, έχουμε νέα εργαλεία όπως η γονιδιωματική που μας παρέχουν μια εικόνα για τη βιολογική φύση ενός «υγιούς» συστήματος και έχουμε τοξικογονική και φυσιολογικά μοντέλα που μας βοηθούν να κατανοήσουμε καλύτερα το ανθρώπινο σύστημα όπως αυτό εκτίθεται σε μολυσματικούς

παράγοντες. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, η Ευρωπαϊκή Ένωση και ο Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών έχουν καταρτίσει όλα τα κριτήρια και τα πρότυπα για την προστασία, την αποκατάσταση και την επεξεργασία του νερού για τη διασφάλιση της ασφάλειας. Όλοι υποστηρίζουν την ποσοτική αξιολόγηση μικροβιακού κινδύνου (QMRA) (Haas et al., 1999) ως πλαίσιο για την ενσωμάτωση της επιστήμης, της ιατρικής και της μηχανικής στην επίτευξη των στόχων του ασφαλούς νερού. Οι πιο πρόσφατες οδηγίες του ΠΟΥ για την ποιότητα του πόσιμου νερού προτείνουν το QMRA για τον καθορισμό στόχων βάσει υγείας (WHO, 2011c). Αυτό χρησιμοποιήθηκε επίσης για τη θέσπιση κανονισμών για τα ύδατα, στο πλαίσιο του νόμου περί ασφαλούς πόσιμου νερού των ΗΠΑ (SDWA), μέσω ιδρυμάτων όπως το USEPA και έχει αποδειχθεί ότι είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί η ασφάλεια των υδάτων (Δημόσιος Νόμος, 1974) χρησιμοποιώντας την επιστήμη βασισμένες σε προσεγγίσεις. Θα αναδύονται πάντα νέα ζητήματα που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν όπως η εμφάνιση *Cryptosporidium* και άλλα σημαντικά ζητήματα, όπως η απομάκρυνση του μολύβδου από υδραυλικά, τα οποία στις ΗΠΑ θεσπίστηκαν στις τροποποιήσεις του 1986 και σταθεροποιήθηκαν στον κανόνα του μολύβδου και του χαλκού (McGill, 1993). Απαιτείται σημαντική επένδυση στον τομέα της ανάλυσης κινδύνου για το νερό για να οδηγήσει σε κατάλληλα εργαλεία ανάλυσης αποφάσεων (Kammen και Hassenzah, 1999). Συνολικά, η ποιότητα του πόσιμου νερού στις ανεπτυγμένες χώρες έχει βελτιωθεί μέσω των διαφόρων κανονισμών και προτύπων που αποδεικνύονται μέσω της μείωσης των επιδημιών εμφάνισης μέσω του πόσιμου νερού σε χώρες με ισχυρούς κανονισμούς. Δεδομένου ότι το επίκεντρο είναι η μείωση ή εξάλειψη ασθενειών που σχετίζονται με το νερό, η ενέργεια και η προσπάθεια επικεντρώνονται στη συνεχή βελτίωση των συστημάτων νερού για την επίτευξη αυτών των στόχων. Ένας σημαντικός στόχος είναι η ικανότητα πρόβλεψης πιθανών εστιών και η πρόληψή τους μέσω μηχανικών συστημάτων. Το QMRA είναι ένα πολυτομεακό εργαλείο που επιτρέπει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων και τους μηχανικούς να αξιολογούν τις τρέχουσες ή πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από το μολυσμένο πόσιμο νερό. Αυτός ο τομέας της εκτίμησης κινδύνου είναι ένα επαναληπτικό σύνολο πλαισίων μοντελοποίησης που αναπτύσσει ένα συνεχώς εξελισσόμενο πεδίο. Η δύναμη των εργαλείων υποστήριξης αποφάσεων είναι ότι επιτρέπουν μια προοπτική για το πώς οι κίνδυνοι μπορούν να επηρεάσουν την υγεία πληθυσμών διαφόρων μεγεθών. Η εξερεύνηση του παρελθόντος δείχνει ότι υπάρχουν πολλά ζητήματα που παραμένουν το κλειδί για την κατανόηση του κινδύνου.

α) Δυνατότητα του οργανισμού (ή χημική ουσία): Η συνάρτηση δόσης-απόκρισης παρέχει το εργαλείο που μας βοηθά να μετρήσουμε το επίπεδο κινδύνου που σχετίζεται με το επίπεδο έκθεσης (επίπεδο μόλυνσης).

β) Οι συνέπειες του αποτελέσματος (τύπος νοσηρότητας και θνησιμότητας) επηρεάζονται από τα γενετικά χαρακτηριστικά του παθογόνου και του ξενιστή σε σχέση με την ευαισθησία και την κατάσταση του ανοσοποιητικού.

γ) Η απέκκριση του παθογόνου στο περιβάλλον και η επιβίωσή του και

δ) Οι περιβαλλοντικές συνθήκες, ιδίως το κλίμα που επηρεάζει τη μεταφορά και, τελικά, τη χρονική και χωρική φύση της έκθεσης.

Τα ιστορικά στοιχεία για τις μεταφερόμενες ασθένειες δείχνουν ότι η σχιστοσωμίαση, ο τυφοειδής, η δυσεντερία και η χολέρα που έχουν οδό κοπράνων-νερού προκάλεσαν εκτεταμένη και σοβαρή ασθένεια, δραματικά ποσοστά επίθεσης και υψηλή θνησιμότητα. Σε μια σύγχρονη κοινωνία αυτές οι ασθένειες μπορούν να εξαλειφθούν. Ωστόσο, αυτές οι ασθένειες έχουν παγκόσμια δύναμη παραμονής, καθώς η γνώση της επιστήμης, της ιατρικής και της μηχανικής δεν έχει χρησιμοποιηθεί. Η υγιεινή δεν έλαβε ποτέ τόσο μεγάλη προσοχή όσο το πόσιμο νερό και ήταν πιο δύσκολο να αντιμετωπιστεί. Ακόμη και με εξελιγμένα συστήματα νερού στους αρχαίους πολιτισμούς, τα απόβλητα αντιμετωπιζόνταν ακόμη με λάκκους ή με γλάστρες έως ότου τεθούν σε λειτουργία οι αποχετεύσεις. Ακόμα και τότε η επεξεργασία λυμάτων δεν έχει προχωρήσει για την αντιμετώπιση της ανάκτησης θρεπτικών ουσιών, της ανάκτησης ενέργειας και της ασφαλούς ανάκτησης νερού σε παγκόσμιο επίπεδο και μόλις πρόσφατα λαμβάνει την προσοχή που αξίζει.

Ζούμε σε έναν κόσμο όπου σε μια στιγμή μπορούμε να παρακολουθούμε και να δούμε τι συμβαίνει σε όλο τον κόσμο. Βλέπουμε ξηρασίες, πλημμύρες, λιμό, καταστροφές και πολέμους. Το μόνο που έχουν όλα αυτά είναι η ανάγκη παροχής νερού και αποχέτευσης στους ανθρώπους. Η μαζική χολέρα στην Αϊτή δεν θα έπρεπε να είχε συμβεί, εάν τα μαθήματα του παρελθόντος είχαν ληφθεί υπόψη.

Ο Μπιλ Γκέιτς το 2011 (<http://www.nytimes.com/2011/02/01/health/01polio.html>) επανέλαβε τη συνεχιζόμενη υποστήριξή του για την εξάλειψη της πολιομυελίτιδας μέσω προγραμμάτων εμβολιασμού (χρηματοδοτείται σε μεγάλο βαθμό από το Ίδρυμα Bill και Melinda Gates). Η ασθένεια που προκαλείται από τον ιό της πολιομυελίτιδας μεταδίδεται μέσω χειρών, τροφίμων και νερού που έχουν μολυνθεί με κόπρανα. Ο ιός Polio ανήκει στην οικογένεια Picornaviridae που περιλαμβάνει πολλούς εντερικούς ιούς που εξαπλώνονται την οδό από του στόματος κοπράνων και μπορεί να ταξινομηθεί ως ένας παράγοντας που προκαλεί την ασθένεια μέσω του νερού. Ενώ το πρόγραμμα εμβολιασμού για αυτήν την ασθένεια έχει επιτευχθεί παγκοσμίως, ταυτόχρονα ο αναπτυσσόμενος κόσμος επενδύει στην επεξεργασία νερού τόσο για τα λύματα όσο και για το πόσιμο νερό. Δεν είναι τυχαίο ότι ο ιός της πολιομυελίτιδας παραμένει απειλή σε περιοχές όπου δεν υπάρχει αποχέτευση και ανεπαρκής επεξεργασία νερού. Οι ασθένειες που οφείλονται στη ρύπανση από τα

κόπρανα θα συνεχίσουν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στις κοινότητες έως ότου τεθεί σε εφαρμογή η επεξεργασία νερού, η οποία όχι μόνο θα βοηθήσει στην εξάλειψη της πολιομυελίτιδας αλλά και εκατοντάδων άλλων ασθενειών. Πρέπει να θυμόμαστε ότι η χολέρα και ο τυφοειδής, δύο σημαντικά παθογόνα από το στόμα στα κόπρανα, εξαλείφθηκαν στον ανεπτυγμένο κόσμο όχι μέσω εμβολιασμών αλλά μέσω επεξεργασίας νερού. Αυτές οι αρχαίες ασθένειες εξακολουθούν να μαστίζουν τις αναπτυσσόμενες χώρες λόγω του μολυσμένου νερού. Απαιτούνται διαγνωστικά ποιότητας νερού και στοχευμένα προγράμματα για διορθωτικά μέτρα.

Σε πολλά μέρη του κόσμου δεν υφίστανται οι απαραίτητες υποδομές για την καταπολέμηση των ασθενειών αυτών, ούτε και υπάρχουν οι απαιτούμενοι πόροι. Συνεπώς, οι μόνες λύσεις για την αντιμετώπιση αυτού του ανθρωπιστικού προβλήματος είναι αυτές που έρχονται από την αρχαιότητα και τις πρακτικές λύσεις απολύμανσης νερού των πολιτισμών αυτών. Με την παρούσα εργασία γεφυρώσαμε το χρόνο μεταξύ της αρχαιότητας και της σημερινής εποχής, δείχνοντας μερικές μεθόδους απολύμανσης ύδατος που έχουν εφαρμογή σε εναλλακτικό επίπεδο σήμερα ενώ οι ρίζες τους βρίσκονται στην Αρχαία Ελλάδα, στην Αρχαία Ινδία, Αίγυπτο κλπ. Ευελπιστούμε αυτή η εργασία να αποτελέσει έναν οδηγό για περαιτέρω εξερεύνηση αυτών των τεχνικών απολύμανσης ύδατος και δημιουργίας νέων εφευρέσεων, εμπνευσμένων από τις χαμένες στο χρόνο αυτές εποχές.

Αναφορές

Aluyor E. & Audu T.,(2008) Department of Chemical Engineering, University of Benin, Benin City, Nigeria.

Angelakis, A. N., and Koutsoyiannis, D. (2003). "Urban Water Resources Management in Ancient Greek Times." Stewart, B.A. and T. Howell, T., eds., *The Encyclopedia of Water Science*, 999-1007, Dekker, New York, 2003.

Angelakis, A. N., and Spyridakis, S. V. (1996). "*The status of water resources in Minoan times: A preliminary study.*" Angelakis A. N. and Issar, A.S., eds., *Diachronic Climatic Impacts on Water*

- Resources with Emphasis on Mediterranean Region. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 161-191 (Chapter 8).
- Angelakis, A. N., Koutsoyiannis, D., and Tchobanoglous, G. (2005). “Urban wastewater and stormwater technologies in Ancient Greece.” *Water Research*, 39(1), 210-220.
- Angelakis, A., Salgot, M., Paranychianakis, N. & Feo, G. D. (2010) *Newsletter. IWA Specialist Group on Water and Wastewater in Ancient Civilisations.*
- Anon, (1946) John Snow – Anaesthetist and Epidemiologist. *BMJ (British Medical Journal)* 2 (4475), 535–535
- Apostol, T. M. (2004). “The Tunnel of Samos.” *Engineering and Science*, 67(1), 30-40.
- Atharvaveda, (1971) translated into English by W.D. Whitney Vol I, Motilal Banarsidass, Delhi, 1971,1. 4, 5, 6.
- Baker, M. N. (1981) *The Quest for Pure Water: The History of Water Purification from the Earliest Records to the Twentieth Century*, American Water Works Association, Denver.
- Berdan, F. (2014) *Aztec Archaeology and Ethnohistory*, Cambridge University Press, Cambridge
- Buffet, B., and Evrard, R. (1950). *L'Eau Potable a Travers Les Ages*. Editions Soledi, Liege, Belgium.
- Clasen, T. 2009. Scaling Up Household Water Treatment Among Low-Income Populations. WHO Report, WHO/HSE/WSH/09.02, Geneva, Switzerland.
- Clementi, E. (1976). *Determination of the Liquid Water Structure: Coordination Numbers for Ions and Solvation for Biological Molecules*, Springer-Verlag, Berlin; New York.
- Cox, B.G. and Schneider, H. (1992). *Coordination and Transport Properties of Macrocyclic Compounds in Solution*, Elsevier Scientific Publications, Pays-Bas, Amsterdam, The Netherlands.
- Crouch, D. P. (1993). *Water Management in Ancient Greek Cities*. Oxford University Press, New York - Oxford.
- Defner, M. (1921) *Late Minoan water treatment device*. Archaeological Newsletter No 78, Iraklion, Greece (in Greek)
- Dolara P. (2005) “*Inhibitory activity of diluted wine on bacterial growth: the secret of water purification in antiquity*” International Journal of Antimicrobial Agents. Publisher ELSEVIER
- Douglas Schauer (2013) Ivy Tech Community College Lafayette Indiana
- Edwards, P. (1992) *Reuse of human wastes in aquaculture – a technical review*

- Eisenberg, D. and Kauzmann, W. (2005). *The Structures and Properties of Water*, Oxford Chemical Books in Physical Chemistry, Oxford University Press, UK.
- Evans, S. 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*. Vols. I-IV, Macmillan and Co., London, UK (Reprinted in 1964 by Biblo and Tannen, New York, USA).
- Fawell, John (2006). Fluoride in drinking-water (1st published.ed.). Geneva: WHO. p. 47. ISBN 9241563192.
- Flanigen, E. M. (2001) Zeolites and molecular sieves: An historical perspective. *Stud. Surf. Sci. Catal. 137*, 11–15
- Friedrich, W. L., Kromer, B., Friedrich, M., Heinemeier, J., Pfeiffer, T., and Talamo, S. (2006). “Santorini Eruption Radiocarbon Dated to 1627-1600 B.C.”, *Science*, 312(5773), 548 (DOI: 10.1126/science.1125087)
- Gangadharan D. et al.,(2010) “Polymeric microspheres containing silver nanoparticles as a bactericidal agent for water disinfection” Water Research. Publisher ELSEVIER
- Garbrecht, G., Brinker, W., Fahlbusch, H., Hetch, K., and Thies, H. (2001). “Die Wasserversorgung von Pergamon.” *Altertumer von Pergamon, Band 1: Stadt und Landschaft, Teil 4*, Deutsches Archaeologisches Institut AvP I.4, herausgegeben im Auftrag des Institutes von Wolfgang Radt, Verlag Walter de Gruyter, Berlin/New York.
- Garbrecht, J. D., Garbrecht, G. K. H. (2005). “Water Supply Challenges and Solutions of the Ancient City of Pergamon”, *Proceedings of Oklahoma Water 2005*, Paper #6, Oklahoma Water Resources Research Institute, Stillwater, OK, 5 pp.
- Hirtle, Lacey Elizabeth, 2008, University WaterLoo
- Hodge, A. T. (2002). “Roman waterworks (G. De Kleijn: The Water Supply of Ancient Rome: City Area, Water, and Population)”, *The Classical Review*, 52(02), 346-348 (doi: 10.1093/cr/52.2.346).
http://education.sulekha.com/water-harvesting-system-in-india_91824_blog
<http://rashidfaridi.com/2013/06/20/time-tasted-ancient-water-harvesting-systems-in-india/>
http://thewaterproject.org/water_scarcity_2#phys=18
<http://www.epa.gov/npdes/pubs/primer.pdf>
<http://www.jbbardot.com/water-filters-and-filtration-systems-remove-fluoride-arsenic-dangerous-bacteria-heavy-metals-from-your-water-supply/>
<http://www.nbr.org/research/activity.aspx?id=356>
<http://www.wateraid.org/~media/Publications/drinking-water-quality-rural-india.pdf>
<http://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications>
<https://aquamiamqua.wordpress.com/dive-into-the-worlds-water-issues/>

- <https://www.engineeringforchange.org/news/files/CTI8%20InformationManual11.1-pdf.pdf>
- <https://www.engineeringforchange.org/solution/library/view/detail/Water/S00024>
- <https://www.engineeringforchange.org/solution/view/141>
- https://www.engineeringforchange.org/static/content/Water/S00024/clay_water_filter_red_cross.pdf
- Jackson, M. D. et al. (2017) Phillipsite and Al-tobermorite mineral cements produced through low-temperature water-rock reactions in Roman marine concrete. *Am. Miner.* 102, 1435–1450
- Kienast, H. J. (1995). *Die Wasserleitung des Eupalinos auf Samos, Deutsches Archäologisches Institute, Bonn.*
- Koutsogiannis, D. (2000). “Urban water systems management: Remarks - questions – opinions”, Water and Environment, Water Supply and Sewerage Company of Athens, Athens, Greece (in Greek).
- Koutsogiannis, D., and Angelakis, A. N. (2003). “Hydrologic and hydraulic science and technology in ancient Greece”, Stewart, B. A. and Howell, T., eds., *The Encyclopedia of Water Science*, 415-417, Dekker, New York, 2003 (DOI: 10.1081/E-EWS-120016393).
- Koutsogiannis, D., and Angelakis, A. N. (2004). “Agricultural hydraulic works in ancient Greece”, Stewart, B.A. and Howell, T., eds., *Encyclopedia of Water Science*, New York, N.Y., USA (DOI: 10.1081/E-EWS-120020412).
- Krishnamurthy R. *Indian Journal of History of Science*, 1996 - new.dli.ernet.in
- Lang, M. (1968). “Waterworks in the Athenian Agora”, Excavations of the Athenian Agora Picture Book No. 11, American School of Classical Studies at Athens, Connecticut, USA.
- Lapp, R. J. and Wright, K. R. (2003). “Olympia Floods Sedimentation”, WPI Technical Report, Wright Paleohydrological Institute (WPI), Denver, Colorado.
- Lehn, J.M. (1995). *Supramolecular Chemistry; Concepts and Perspectives, A Personal Account*, Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- Lofrano, G. & Brown, J. (2010) Wastewater management through the ages: A history of mankind. *Science of the Total Environment* 408 (22), 5254–5264.
- Maksimovic, C., and Tejada-Guibert, J. A. (eds.) (2001). *Urban Water Management - Deadlock or Hope*, IWA Publishing, London.
- Marinatos, S. (1999). *Excavations at Thera VI-VII, 1972-1973 Seasons (Second Edition)*, The Archaeological Society at Athens, Athens, Greece.
- Metcalf & Eddy, Inc. (1972). *Wastewater Engineering*. McGraw-Hill Book Company. ISBN 0-07-041675-3.
- Ministry of the Aegean and University of Athens (2006). *Archaeological Atlas of the Aegean* (http://www.ypai.gr/atlas/Default_uk.asp#)

- Murray, W. M. (1984). “The ancient Dam of the Mytikas Valley”, *American Journal of Archaeology*, 88(2), 195-203.
- Papademos, D. L. (1975). *The Hydraulic Works in Ancient Greece* (Τα Υδραυλικά Έργα Παρά τοις Αρχαίοις) Vol. C (in Greek), Ed. TEE, Athens, Greece.
- Pejack, E. 2011. Solar pasteurization. In *Drinking Water Treatment, Strategies for Sustainability*, C. Ray and R. Jain (Eds). Springer, New York.
- Pradeep T. (2009) “Noble metal nanoparticles for water purification: A critical review” Thin Solid Films. Publisher ELSEVIER
- Qiblawey, F. Banat Solar thermal desalination technologies *Desalination*, 220 (2008), pp. 633–644
- Rohit Karnik (2014) “Water filtration using plant xylem” MIT
- Rosegrant, M.W., X. Cal, and S.A. Cline. 2002. *Global Water Outlook to 2025: Averting an Impending Crisis*. Food Policy Report. Inter. Food Policy Res. Inst. (IFPRI) and Intern. Water Management Inst. (IWMI), 28pp.
- Schumacher, E. F. (1974) *Small is Beautiful: A Study of Economics as if People Mattered*. Sphere Books Ltd, London, UK.
- Screen, B. M. (2005). “Around the Roman world in 180 days”, MsA thesis, University of South Africa (<http://etd.unisa.ac.za/ETD-db/theses/available/etd-06122006-142238/.pdf>)
- Skandhan K.P. et al., (2011) “Water purification prescribed in Ayurveda” AYU
- Sobsey, M.D. 2002. *Managing Water in the Home: Accelerated Health Gains from Improved Water Supply*. WHO Report, WHO/SDE/WSH/02.07, Geneva, Switzerland.
- Spanakis, S. G. (1981) *Water Supply of Iraklion 828–1939*. Technical Chamber of Greece, Department of Eastern Crete, Iraklion, Greece
- Steed, J.W. and Atwood, J.L. (2000). *Supramolecular Chemistry*, J. Wiley & Sons Ltd, West Sussex, UK.
- Tankersley, K. B. & Meinhart, J. (1982) Physical and structural properties of ceramic materials utilized by a fort ancient group. *Midcontinental J. Archaeol.* 7, 225–243
- Tankersley, K.B., Dunning, N.P., Carr, C. et al. (2020) Zeolite water purification at Tikal, an ancient Maya city in Guatemala. *Sci Rep* **10**, 18021, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75023-7>
- Tassios, T. P. (2002). “From Peisistratēan to Evinos” (Από το Πεισιστράτειο στον Εύηνο) (in Greek). Kathimerini, 24 March 2002, Athens, Greece.
- Tsimpourakis, D. (1997). 530 BC, *The Digging of Eupalinos in Ancient Samos* (530 π.Χ., Το Όρυγμα του Ευπαλίνου στην Αρχαία Σάμο) (in Greek); Editions Arithmos, Athens.

- UNICEF (2017) Water sanitation and hygiene. Definition of indicators. Retrieved 15 January 2021, from http://www.unicef.org/progressforchildren/2006n5/index_35533.html
- Viollet, P.-L. (2003). “*The Predecessors of European Hydraulic Engineers: Minoans of Crete and Mycenaeans of Greece (2100-1200 BC)*.” XXX IAHR Congress, Theme E: Linkage Between Education Research and Professional Development in Water Engineering. August 2003, Thessaloniki, Greece.
- Voet, D. and Voet, J.G. (1995). *Biochemistry* (Chap. 2, “Aqueous solutions”), John Wiley & Sons, Somerset, N.J., USA.
- Weisstein, E. W. (2006). *Copernicus, Nicholas, in World of Biography*, (<http://scienceworld.wolfram.com/biography/Copernicus.html>).
- WHO. 2011. Evaluating Household Water Treatment Options: Health-Based Targets and Microbiological Performance Specifications. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- WHO. 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th edition. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation.
- WHO/UNICEF. 2012. Progress on Drinking Water and Sanitation. 2012 Update.
- Wilkinson, J. G. (1878) *The Manners and Customs of the Ancient Egyptians*. J. Murray, London. www.tamilandvedas.com
- Wright, K. (2006) *Tipon: Water Engineering Masterpiece of the Inca Empire*, American Society of Civil Engineers, Reston
- www.thefutureofthings.com/5833-aqueduct-pedal-water-filter/
- Xanthopoulos, Th., Christoulas, D., Mimikou, M., Aftias, M., and Koutsoyiannis, D. (1996) “Flood protection of the Athens basin”, *Monthly Technical Review*, 48, 50-53 (in Greek).
- Zarkadoulas, N. (2005). “*The dam of ancient Alyzia (Το φράγμα της αρχαίας Αλυζίας)*”, Postgraduate Thesis, 94 pages, Department of Water Resources, Hydraulic and Maritime Engineering - National Technical University of Athens, Athens (in Greek).