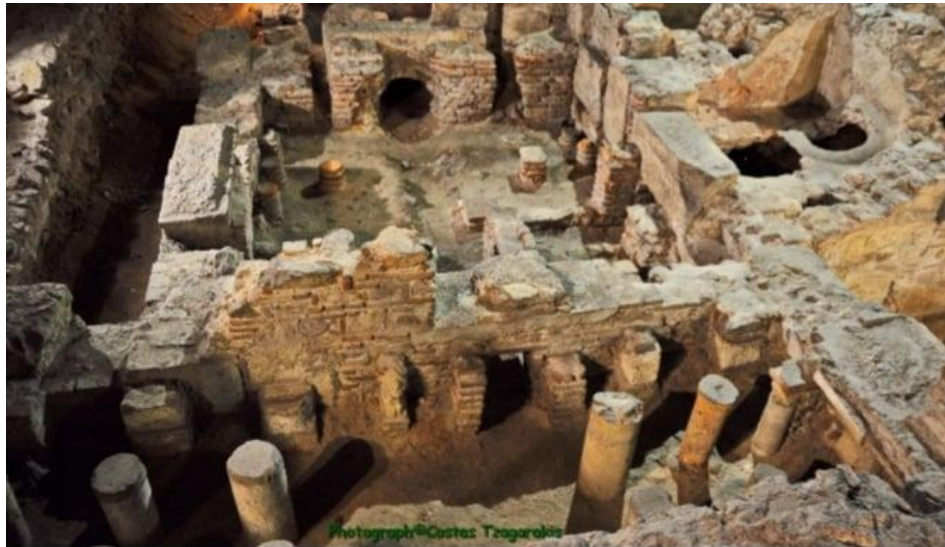




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Εσωτερικά Δίκτυα Ύδρευσης Στη Ρωμαϊκή Εποχή - Η Περίπτωση Της Αθήνας



Διπλωματική Εργασία: Χρήστου Δήμητρα

Επιβλέπων: Μαμάσης Νικόλαος

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβρης 2020

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Εσωτερικά Δίκτυα Ύδρευσης Στη Ρωμαϊκή Εποχή -
Η Περίπτωση Της Αθήνας

Διπλωματική Εργασία: Χρήστου Δήμητρα

Επιβλέπων: Μαμάσης Νικόλαος

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβρης 2020

Θύμωσαν οι θεοί με την αλαζονεία

Την αλήθεια πήγαν και έκρυψαν

Κάτω από την πολυκατοικία

Copyright © Christou Dimitra, 2020.

All rights reserved.

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά την ακαδημαϊκή χρονιά 2019-2020. Υπήρξε μία δύσκολη χρονιά λόγω των χρονικών καθυστερήσεων και των ειδικών συνθηκών που επέφερε η πανδημία του COVID-19. Έτσι, δεν ήταν τελικά δυνατή η επίσκεψη μου σ' όλους τους αρχαιολογικούς χώρους και τα προστατευόμενα μνημεία που σχετίζονται με το Αδριάνειο Υδραγωγείο. Ακόμη και μέσα από αυτήν την δυσκολία, αποτελεί για μένα, εκτός των άλλων, μια ωραία εμπειρία, αφού ασχολήθηκα μ' ένα αντικείμενο που μ' ενδιαφέρει αρκετά.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μαμάση Νικόλαο για την άριστη συνεργασία μας και την πολύτιμη καθοδήγησή του. Πάνω απ' όλα όμως, του είμαι ευγνώμων που μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ιδιαίτερο και εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα. Στη συνέχεια οφείλω να ευχαριστήσω ολόψυχα τον κύριο Ηλία Παπακωνσταντή, λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ. Με την βοήθεια του πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί που περιέχονται στην ενότητα για το δίκτυο διανομής της Πομπηίας. Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Τομέα που με έκαναν με την ποιότητα της διδασκαλίας τους όλα αυτά τα χρόνια, να αγαπήσω το συγκεκριμένο αντικείμενο.

Με αυτήν την διπλωματική ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στην Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Την αφιερώνω και την χρωστώ σ' όσους είναι, ή γίναν μέσα σ' αυτά τα χρόνια, κομμάτι της ζωής μου και που αγαπώ βαθιά.

Περίληψη

Το Αδριάνειο Υδραγωγείο αποτελεί ένα έργο, που μετρά σχεδόν 2000 χρόνια από την ολοκλήρωση της κατασκευής του. Το εξωτερικό υδραγωγείο του έργου, έχει ακόμη την ικανότητα να μεταφέρει νερό από τις πηγές της Πάρνηθας, στην πόλη της Αθήνας. Έχει μελετηθεί αρκετά, ώστε να γνωρίζουμε πολλά πράγματα για την λειτουργία του. Αντιθέτως, το δεύτερο μέρος του έργου, δηλαδή το δίκτυο διανομής εντός της πόλης, παραμένει ένα πεδίο εντελώς ανεξερεύνητο μέχρι τώρα, από τους επιστήμονες μηχανικούς.

Έτσι η παρούσα διπλωματική, εξετάζει αυτό το ελάχιστο μελετημένο, εσωτερικό δίκτυο. Επιπρόσθετα, εξετάζεται το δίκτυο της Πομπηίας, σαν μια δεύτερη περίπτωση ρωμαϊκού εσωτερικού δικτύου ύδρευσης. Με αυτόν τον τρόπο, στο παρόν κείμενο παρατίθενται δύο ρωμαϊκά εσωτερικά δίκτυα ύδρευσης που διέφεραν σημαντικά, δεδομένου ότι το πρώτο λειτουργούσε με βαρυτική ροή και το δεύτερο με ροή υπό πίεση. Προκύπτει ωστόσο, ότι τα βασικά σημεία της λειτουργίας τους και η διάταξη τους, είναι κοινά. Συμπεραίνεται επίσης, ότι τα δίκτυα αυτά κάλυπταν τις ανάγκες των πόλεων λειτουργώντας με συνεχώς τρεχούμενο νερό, χωρίς να υπάρχει η λογική της αποθήκευσης.

Στα πρώτα δύο κεφάλαια γίνεται μια αναδρομή στην εξέλιξη της υδραυλικής επιστήμης και τεχνογνωσίας μέσα στα χρόνια και στους διάφορους πολιτισμούς. Επιπλέον, παρουσιάζεται ότι επικρατούσε σε σχέση με την υδροδότηση της αρχαίας Αθήνας, πριν την κατασκευή του Αδριάνειου υδραγωγείου. Κατόπιν, παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία των ρωμαϊκών λουτρών, μιας και πρόκειται για το σημαντικότερο παραλήπτη των ρωμαϊκών δικτύων διανομής, που δεν υπήρχε πριν απ' αυτά.

Ειδικότερα στην Ενότητα 2.4, περιλαμβάνονται τα βασικά χαρακτηριστικά του δικτύου διανομής της Πομπηίας, έτσι όπως αυτά αναδείχθηκαν μέσα από την πληθώρα των αρχαιολογικών ευρημάτων. Στο τέλος της ενότητας, χρησιμοποιώντας εξισώσεις που ισχύουν για τους μολύβδινους, υπό πίεση αγωγούς της πόλης, πραγματοποιείται ο υπολογισμός των παροχών μιας σειράς αγωγών και παραληπτών. Προέκυψε έτσι, ότι ένα από τα μεγαλύτερα ρωμαϊκά λουτρά που έχουν διασωθεί, τα Στάβια, με έκταση 2400 m², κατανάλωναν 271000 L ημερησίως.

Επειδή το δίκτυο διανομής της ρωμαϊκής Αθήνας δεν είναι καθόλου μελετημένο, χρειάστηκε στο Κεφάλαιο 3, να συγκεντρωθεί το σύνολο των ευρημάτων που σχετίζονται με τα υδραυλικά έργα του Αδριάνειου εντός της πόλης. Τα ευρήματα αυτά ταξινομήθηκαν με βάση τα κοινά τους χαρακτηριστικά. Επιπρόσθετα τοποθετήθηκαν στο Google Earth, χρησιμοποιώντας τις διευθύνσεις στις οποίες βρέθηκαν και περιλαμβάνονται στα αρχαιολογικά δελτία των ανασκαφών. Από τα χαρακτηριστικά και το είδος των ευρημάτων συμπεραίνεται ότι, στο δίκτυο

της Αθήνας η ροή ήταν βαρυτική. Πραγματοποιούνταν σε κλειστές διατομές με ελεύθερη επιφάνεια. Επίσης με βάση τα ευρήματα, τα δίκτυα διανομής των δύο πόλεων, Αθήνας και Πομπηίας, παρόλο που διέφεραν σημαντικά, ακολουθούσαν αμφότερα την τυπική διάταξη των ρωμαϊκών εσωτερικών συστημάτων ύδρευσης.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, η βάση δεδομένων του Google Earth μετατράπηκε σε αρχείο raster ώστε να απεικονιστεί σε περιβάλλον GIS. Παράλληλα, με δεδομένο εισαγωγής το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της Αττικής, παράχθηκαν αρχεία vector και raster, απαραίτητα για την κατανόηση και ανάλυση της βαρυτικής ροής των αγωγών του δικτύου. Έτσι, απεικονίζονται σε αυτό το κεφάλαιο οι τρεις κύριοι κλάδοι που μετέφεραν το νερό από το Λυκαβηττό στις παρυφές της πόλης και η διακλάδωση ενός εξ αυτών στην περιοχή της Αδριάνειας επέκτασης. Στο τέλος του κεφαλαίου, μέσω των εξισώσεων manning που ισχύουν για αγωγούς με ελεύθερη επιφάνεια, υπολογίστηκαν τα μεγέθη της παροχής Q (L/s) και της ταχύτητας V (m/s) για τους αγωγούς που χαράχθηκαν. Η ροή εντός αυτών, όπως προέκυψε, ήταν υποκρίσιμη.

Abstract

The Hadrian's Aqueduct is a project that dates almost 2000 years from the completion of its construction. The external aqueduct of the project still has the ability to transport water from the springs of Parnitha, to the city of Athens. It has been studied enough to know many things about its operation. On the contrary, in the second part of the Hadrian's Aqueduct, the distribution network within the city remains a completely unexplored until now field.

Given all the above, this diplomacy examines this little-studied, internal network. In addition, the Pompeii network is considered as a second case of a Roman internal water supply network. In this way, this text lists two Roman internal water supply networks that differed significantly, since the first operated by gravity flow and the second by pressure flow. It turns out, however, that the basic points of their operation and their arrangement are common. It is also concluded that these networks covered the needs of the cities by operating with constant flow, without any existence of storage.

In the first two chapters there is a review of the evolution of hydraulic science and technique over the years and among different cultures. Furthermore, it is presented what is prevailed in relation to the water supply of ancient Athens, before the construction of the Hadrian's aqueduct. In addition, there are presented the basic elements of the Roman baths, since it is the most important recipient of the Roman distribution networks, which did not exist before.

In particular, Section 2.4 lists the key features of the Pompeii distribution network, as highlighted by the oversupply of archaeological finds. At the end of this section, using the equations that apply to the lead pressure pipes of the city, flow rate through a series of pipes and water supply received by some costumers, have been identified. In this way, it turned out that one of the largest Roman baths, the Stabian, with an area of 2400 m², consumed 271000 L per day.

Because the distribution network of Roman Athens has not been studied at all, it was necessary in Chapter 3 to gather all the findings related to the hydraulic works of Hadrian within the city. These findings were classified based on their common characteristics. Additionally, they were placed in Google Earth, using the addresses where they were found which are included in the archeological excavations. From the characteristics of findings, it is concluded that, in the network of Athens, the flow was gravitational. They were performed in closed sections with free surface. Also based on the findings, the distribution networks of the two cities, Athens and Pompeii, although they are significantly different, they both followed the standard arrangement of Roman internal water systems.

In the last chapter, the Google Earth database was converted to a raster file for display in a GIS environment. At the same time, with input data of the Digital Terrain Model of Attica, vector and raster files were produced, necessary for the understanding and the analysis of the gravitational flow of the network pipelines. Thus, in this chapter the three main branches that carried water from Lycabettus to the outskirts of the city and the branching of one of them in the area of Hadrian's extension, is depicted. At the end of the chapter, through the Manning equations that apply to pipelines with free surface, flow rate Q (L/s) and velocity V (m²/s) were calculated in some cases were calculated. The flow within them, as it turned out, was subcritical.

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος	6
Περίληψη.....	7
Abstract	9
1. Εισαγωγή.....	13
1.1 Ρωμαϊκή Εποχή	13
1.1.1 Ρωμαϊκή Κατάκτηση.....	13
1.1.2 Αυτοκράτορας Αδριανός.....	14
1.2 Εξωτερικό Υδραγωγείο	15
1.3 Παλαιότερα υδροδοτικά δίκτυα.....	17
1.4 Ενδείξεις για Ρωμαϊκά Υδραγωγεία στην Αττική.....	19
1.5 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	20
2. Εσωτερικό Δίκτυο Ύδρευσης σύμφωνα με τα Ρωμαϊκά Πρότυπα	22
2.1 Συστήματα ύδρευσης προηγούμενων χρόνων.....	22
2.2 Ρωμαϊκή υδραυλική.....	26
2.3 Ρωμαϊκά Λουτρά.....	29
2.3.1 Εσωτερική Διαρρύθμιση	30
2.3.2 Η προέλευση των Λουτρών	34
2.4 Η Περίπτωση της Πομπηίας.....	38
3. Εσωτερικό δίκτυο Διανομής της Ρωμαϊκής Αθήνας.....	60
3.1 Υπολείμματα αγωγών	60
3.2 Χαρακτηριστικά ρωμαϊκής οικοδομικής.....	71
4. Αναπαράσταση Εσωτερικού Δικτύου Διανομής.....	73
4.1 ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	74
4.2 Το ανάγλυφο της περιοχής	77
4.3 Η δεξαμενή στους πρόποδες του Λυκαβηττού	79
4.4 Σύνδεση του Castellum του Λυκαβηττού με την πόλη.....	80
4.5 Σύνδεση Σ2 με Δεξαμενές.....	88
4.6 Οι παροχές εντός του δικτύου.....	97
4.7 Υδατική κατανάλωση.....	101
5. Σύνοψη - Συμπεράσματα – Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....	103
5.1 Σχετικά με την βιβλιογραφική ανασκόπηση	103

5.2 Σχετικά με την Πομπηία.....	104
5.3 Σχετικά με την Αθήνα.....	106
5.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	109
Αναφορές.....	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	115

1. Εισαγωγή

1.1 Ρωμαϊκή Εποχή

1.1.1 Ρωμαϊκή Κατάκτηση

Οι Ρωμαίοι κυριάρχησαν πλήρως σε ολόκληρη την Ελλάδα στα μέσα του 2ου αι. π.Χ., και πιο συγκεκριμένα μετά το 146 π.Χ. Επακόλουθο της ρωμαϊκής επικράτησης, ήταν οι αλλαγές στη διακυβέρνηση των πόλεων, στην οικονομία τους αλλά και στον καθημερινό τρόπο ζωής των κατοίκων. Οι Αθηναίοι από τον 1ο αιώνα π.Χ., βρίσκονταν σε πολιτική και οικονομική αστάθεια. Η πόλη πολιορκήθηκε και λεηλατήθηκε από τα στρατεύματα του Ρωμαίου στρατηγού Λεύκιου Κορνηλίου Σύλλα, το 86 π.Χ., επειδή είχε ταχθεί με το μέρος του βασιλιά του Πόντου, Μιθριδάτη, κατά των Ρωμαίων. Μεγάλο τμήμα της πόλης και ιδίως της περιοχής γύρω από την Αρχαία Αγορά είχε καταστραφεί (Χωρέμη, 1996).

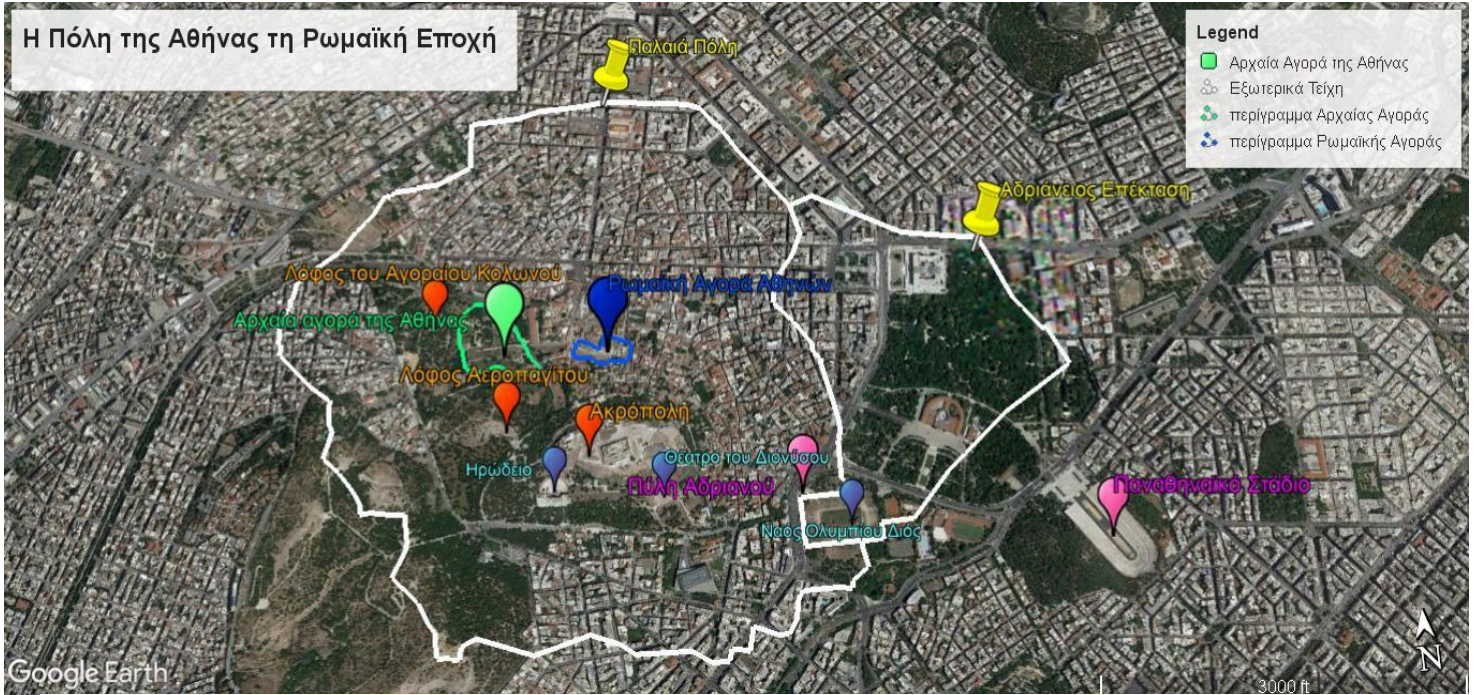
Η ρωμαϊκή εποχή για την Αθήνα, διαρθρώνεται σε τρεις περιόδους. Την περίοδο του Αυγούστου (30 π.Χ.-14 μ.Χ.), έπειτα του Αδριανού (112-138 μ.Χ.) και από το 146 μ.Χ. και ύστερα, την περίοδο των υπόλοιπων Αντωνίνων (Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού, 2006).

Κατά τη διάρκεια του 1ου και 2ου αι. μ.Χ., η πλειονότητα των κατοίκων της Αθήνας ήταν φτωχοί, χρεωμένοι στον πατέρα του Ηρώδη του Αττικού. Σημαντικοί Ρωμαίοι που γοητεύτηκαν από το περασμένο μεγαλείο της Αθήνας (Καίσαρας, Κικέρωνας, Πομπήιος, Μάρκος Αντώνιος, Αύγουστος) συνεισέφεραν στην ανάκαμψη της πόλης από την καταστροφή που είχε προκαλέσει ο Σύλλας (Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού, 2006). Στην καταστροφή αυτή συγκαταλέγονται και τα εξωτερικά τείχη της πόλης, τα οποία ανοικοδόμησε ο Αδριανός (124-135 μ.Χ.). Επιπλέον διεύρυνε την πόλη προς την Ανατολή, φτάνοντας κοντά στο Παναθηναϊκό Στάδιο (Σχήμα 1.1). Η Πύλη του Αδριανού, αποτελεί το όριο της παλαιάς πόλης και της αδριάνειας επέκτασης (Τραυλός, 1993).

Στα τέλη του 1ου αι. π.Χ., διαμορφώθηκε μια νέα αγορά, η λεγόμενη ρωμαϊκή (Σχήμα 1.1). Η εμπορική δραστηριότητα μεταφέρθηκε σ' αυτή, ενώ η παλιά μετατράπηκε σε καλλιτεχνικό κέντρο και χώρο αναψυχής με την προσθήκη κτηρίων και έργων τέχνης, χάρη στις δωρεές των Ρωμαίων ευεργετών της πόλης (Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού, 2006).

Ο 2ος αι. μ.Χ. σηματοδότησε την τελευταία μεγάλη περίοδο ακμής της Αρχαίας Αθήνας με την ολοκλήρωση μιας σειράς έργων, όπως το Υδραγωγείο και η Βιβλιοθήκη του Αδριανού. Αποτελεί μια επαρχιακή πόλη, η οποία όμως διατηρεί ζωντανή κάποια από την παλιότερη αίγλη της. Για σύντομο διάστημα, επί Αδριανού, αποτελεί κέντρο του Πανελληνίου, της πολιτισμικής και θρησκευτικής ένωσης των Ελλήνων. Με το τέλος της περιόδου των Αντωνίνων η πόλη αρχίζει

σταδιακά να παρακαμάζει, έως το 267 μ.Χ. όπου οι Έρουλοι την καταστρέφουν (Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού, 2006).



Σχήμα 1.1 Η πόλη της Αθήνας την Ρωμαϊκή εποχή. Πηγή: Travlos (1971) & Chiotis (2018) μετά από προσαρμογή στο Google Earth.

1.1.2 Αυτοκράτορας Αδριανός

Ο Αδριανός ήταν Ρωμαίος αυτοκράτορας την περίοδο 117–138 μ.Χ. και συγκαταλέγεται στους "Πέντε Καλούς Αυτοκράτορες". Φρόντισε για τις κοινωνικές ανάγκες του ρωμαϊκού λαού, μείωσε αν και δεν κατάργησε τη δουλεία, εξανθρώπισε τον νομικό κώδικα και απαγόρευσε τα βασανιστήρια. Ακόμη έκτισε βιβλιοθήκες, υδραγωγεία, λουτρά και θέατρα.

Ασχολούταν με τη φιλοσοφία και πιο συγκεκριμένα θεωρούταν Επικούρειος. Είχε καταπιαστεί με όλα τα πνευματικά και καλλιτεχνικά πεδία, συμπεριλαμβανομένης και της αρχιτεκτονικής. Χαρακτηριστικά, το Πάνθεον στη Ρώμη, που αρχικά χτίστηκε από τον Αγκρίππα και καταστράφηκε από φωτιά το 80 μ.Χ., χτίστηκε εκ νέου από τον Αδριανό με τη θολωτή μορφή που έχει μέχρι και σήμερα. Αποτελεί ένα από τα πλέον διατηρημένα αρχαία ρωμαϊκά κτίρια και πηγή έμπνευσης πολλών αρχιτεκτόνων της Ιταλικής Αναγέννησης και του Μπαρόκ. Επιπλέον, ο Αδριανός έγραψε ποίηση τόσο στα λατινικά όσο και στα ελληνικά. Θεωρείται ότι συνέθεσε τρία ή τέσσερα επιγράμματα της Παλατιανής Ανθολογίας (Wikipedia, 2008).

Ο Αδριανός υπήρξε βαθύτατα φιλέλληνας. Έφτασε στην Ελλάδα το φθινόπωρο του 124 μ.Χ. και συμμετείχε στα Ελευσίνια Μυστήρια. Μετά από αίτηση των Αθηναίων πραγματοποίησε αναθεώρηση του συντάγματός τους. Όσο έμεινε στην Ελλάδα, προσπάθησε να δημιουργήσει

ένα είδος περιφερειακής βουλής για να ενώσει όλες τις ημιαυτόνομες πρώην πόλεις–κράτη σε όλη την Ελλάδα και την Ιωνία. Η βουλή αυτή, γνωστή ως Πανελλήνιον, απέτυχε παρά τις έντονες προσπάθειες να υπάρξει συνεργασία ανάμεσα στους Έλληνες.

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα περιόδευσε στην Πελοπόννησο. Δεν γνωρίζουμε ακριβώς τη διαδρομή που ακολούθησε, ωστόσο ο Πausanias αναφέρει διάφορα σημάδια που σχετίζονται με εκείνον, όπως οι ναοί που έχτισε και το άγαλμά του που κατασκεύασαν οι, ευγνώμονες για τις ευεργεσίες του, κάτοικοι της Επιδαύρου.

Τον Μάρτιο του 125 μ.Χ., ο Αδριανός είχε φθάσει στην Αθήνα όπου και πήρε μέρος στα Διονύσια. Όσον αφορά τα έργα του, αρχικά φρόντισε για την αποπεράτωση του Ναού του Ολυμπίου Διός, που χτιζόταν επί πέντε αιώνες, ενώ μαζί με την ανοικοδόμηση πολλών δημόσιων κτιρίων, ήταν και το Υδραγωγείο, η Πύλη του Αδριανού και η Βιβλιοθήκη.

Επισκέφτηκε ξανά την Ελλάδα, τον Σεπτέμβριο του 128 μ.Χ., συμμετέχοντας και πάλι στα Ελευσίνια Μυστήρια. Πιθανόν, αυτή του η περιοδεία να επικεντρώθηκε στην Αθήνα και την Σπάρτη. Είχε πάλι κατά νου, το Πανελλήνιον που θα έφερνε κοντά όλες τις ελληνικές πόλεις όπου και να βρίσκονταν γεωγραφικά. Το μέρος συνάντησης αυτή τη φορά θα ήταν ο νέος ναός του Διός στην Αθήνα (Wikipedia, 2008).

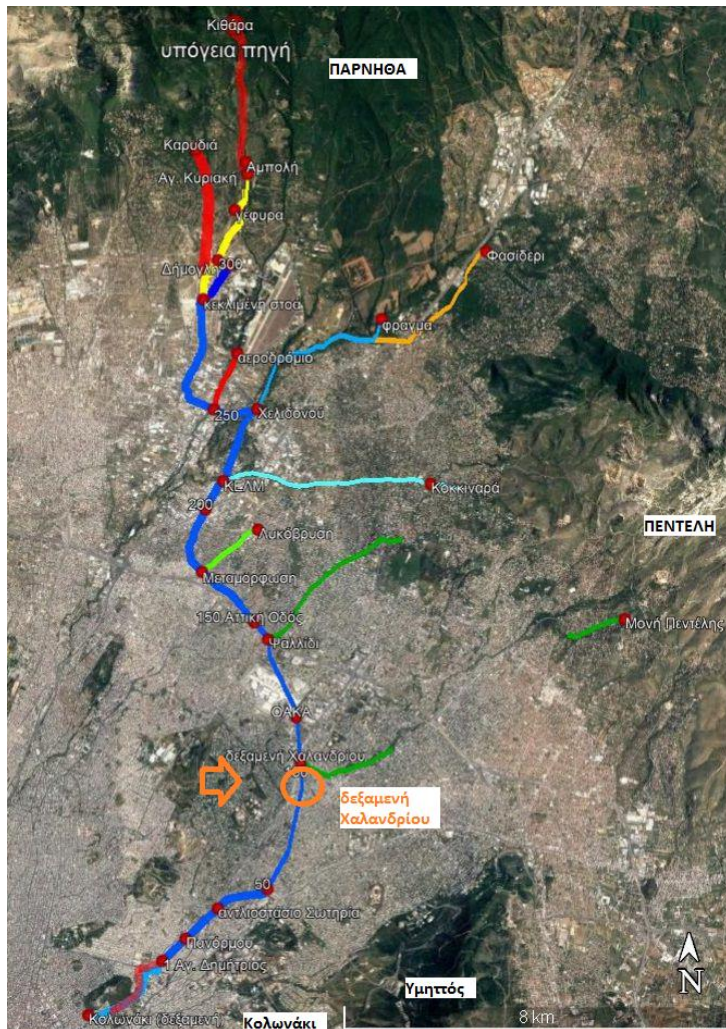
1.2 Εξωτερικό Υδραγωγείο

Το Αδριάνειο υδραγωγείο κατασκευάστηκε το 134- 140 μ.Χ., από τους αυτοκράτορες Αδριανό και Αντωνίνο και ήταν εξ' ολοκλήρου υπόγειο. Η κύρια σήραγγα του υδραγωγείου, με μέγιστο ύψος 2 m και τυπικό πλάτος μόλις 50 cm, ξεκινούσε από την περιοχή του σημερινού Ολυμπιακού Χωριού (Αχαρναί) και κατέληγε μετά από περίπου 20 km στη δεξαμενή της ομώνυμης πλατείας στο Κολωνάκι, διασχίζοντας τις περιοχές Αχαρναί, Κηφισιά, Μεταμόρφωση, Ν. Ηράκλειο, Μαρούσι, Χαλάνδρι, Ν. Ψυχικό, Αμπελοκήπους. Αν και ξεκινούσε από τις πηγές της Πάρνηθας, ο μεγαλύτερος όγκος νερού που μετέφερε στην πόλη της Αθήνας ήταν το υπόγειο νερό που συνέλεγε από το υπέδαφος (υδρομάστευση). Κατασκευάστηκε με τη μέθοδο όρυξης εκ διαδοχικών φρεάτων (κατά μέσο όρο ανά 40 m). Πρόκειται για δύσκολο έργο, το οποίο σχεδιάστηκε από ικανότατους μηχανικούς και υλοποιήθηκε από έμπειρους τεχνίτες, αντέχοντας τελικά στον χρόνο. Η χάραξή της εκμεταλλεύθηκε στο μέγιστο τη μορφολογία του εδάφους, ώστε να καλύψει υπογείως μόλις 110 m επιφανειακής υψομετρικής διαφοράς, μεταφέροντας νερό μόνο με τη βαρύτητα. Το υδραγωγείο ήταν διερχόμενο κάτω από ρέματα, σχεδόν εφάπτομενικά προς τον πυθμένα της κοίτης (Δευτεραίος & Μαμάσης, 2018, pp.5-7).

Το Αδριάνειο υδραγωγείο παρέμεινε εκτός λειτουργίας για αρκετούς αιώνες. Πιθανώς λόγω καταπτώσεων και αποφράξεων σε διάφορα σημεία της σήραγγας, έπαψε να είναι δυνατή η χρήση του. Ανακαλύφθηκε και επαναλειτούργησε τον 19ο αιώνα. Πιο συγκεκριμένα, σε προσπάθειες καθαρισμού μιας “πηγής” στον Άγιο Δημήτριο Αμπελοκήπων, διαπιστώθηκε ότι

το νερό έφθανε εκεί μέσα από σήραγγα η οποία κατάντη είχε καταρρεύσει και φραχθεί εσκεμμένα. Στο σημείο αυτό ανέβλυζε το νερό, δίνοντας την εντύπωση πηγής. Χρησιμοποιούταν από τους Τούρκους για το πότισμα των κήπων τους (Leigh, 1998, pp.29-32). Μετά την απελευθέρωση από τους Τούρκους (δεκαετία του 1830) το υδροδοτικό πρόβλημα της Αθήνας ήταν μεγάλο και επειδή ταυτόχρονα αυξάνονταν ο πληθυσμός της, χρειαζόταν να βρεθεί μια λύση άμεσα. Με πρωτοβουλία της εκάστοτε δημοτικής αρχής της πόλης γίνονταν σημαντικά έργα κατά καιρούς, όπως επισκευές και καθαρισμοί του υδραγωγείου, το οποίο τέθηκε και πάλι σε λειτουργία το 1847. Αποτέλεσε κύρια πηγή ύδρευσης της Αθήνας από τη δεκαετία του 1870 μέχρι το 1931 οπότε και ολοκληρώθηκε η κατασκευή του φράγματος Μαραθώνα. Έπειτα συνέβαλλε βοηθητικά μέχρι το 1960 (έναρξη υδροδότησης από την Υλίκη) αλλά στη συνέχεια εγκαταλείφθηκε λόγω αστικής μόλυνσης των υδάτων (Δευτεραίος & Μαμάσης, 2018).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.1, η κύρια σήραγγα ενισχύονταν από αρκετούς παράπλευρους τροφοδοτικούς κλάδους. Συνδέονταν μαζί της σε διάφορες τοποθεσίες, κυρίως πάνω σε άξονες ρεμάτων που συναντούσε στην πορεία της. Ένας εξ αυτών ξεκινώντας από την περιοχή της Μονής Πεντέλης και ακολουθώντας τη διεύθυνση του ρέματος Χαλανδρίου, συνδεόταν μέσω μικρής κυκλικής δεξαμενής στην οδό Ελ Αλαμίν.



Εικόνα 1.1 Κύριες Συνιστώσες Αδριάνειου Υδραγωγείου **Πηγή:** (Δευτεραίος & Μαμάσης , 2018) μετά από προσαρμογή.

Το Αδριάνειο υδραγωγείο εξακολουθεί να λειτουργεί μέχρι σήμερα, χωρίς καμία συντήρηση και χωρίς να δέχεται πια πηγαία νερά, λόγω της μόνιμης υδρομάστευσης. Αν και μεταφέρει σημαντικές ποσότητες, δεν χρησιμοποιείται στην ύδρευση της Αθήνας. Παρ' ότι η διαχείρισή του παραμένει στην ΕΥΔΑΠ Α.Ε., επειδή ταυτόχρονα είναι ένα σημαντικό μνημείο αρχαίας τεχνολογίας, υπάγεται στις δύο αρμόδιες Εφορείες Αρχαιοτήτων. Εκείνες επιβλέπουν και αδειοδοτούν τις απαραίτητες επεμβάσεις που αφορούν σε αρχαία τμήματά του.

1.3 Παλαιότερα υδροδοτικά δίκτυα

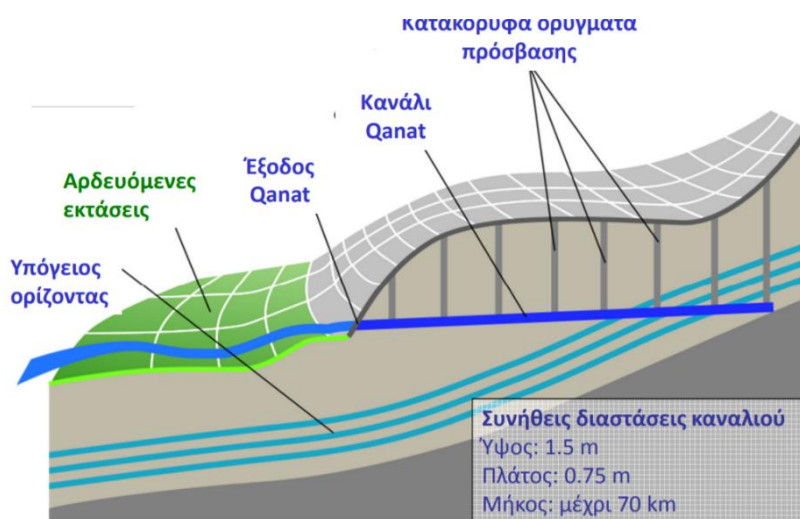
Η εξασφάλιση νερού για τις καθημερινές ανάγκες των πολιτών, αποτελούσε για τους επιφανείς άνδρες της Αθήνας μείζον ζήτημα (Camp, 1977, pp.151, 297). Ενδεικτικά, ο Πλούταρχος στους Βίους Παράλληλους, και συγκεκριμένα στην Βιογραφία του Κίμωνα, αναφέρει πως εκείνος

“μετέτρεψε την Ακαδημία από ένα άνυδρο και ξηρό σημείο σ’ ένα καλά ποτισμένο ελαιώνα” (Camp, 1977, pp.281-355) .

Οι Αθηναίοι χρησιμοποιούσαν αγωγούς για την διανομή νερού μέσα στην πόλη, πολύ πριν το Αδριάνειο υδραγωγείο. Το πόσιμο νερό ωστόσο, το συλλέγαν από πηγάδια μιας και το νερό που μεταφερόταν μέσω των αγωγών ήταν κακής ποιότητας. Πιο συγκεκριμένα, στο διάστημα από τις αρχές του 1ου αιώνα μ.Χ. μέχρι και τις αρχές του 2ου αιώνα, το πλήθος των πηγαδιών δεν φαίνεται να άλλαξε, ενώ το μέσο βάθος μειώθηκε μόλις 4.6 m (Leigh, 1998, pp.25-28). Δηλαδή στο στενό χρονικό διάστημα πριν το Αδριάνειο υδραγωγείο, δεν υπήρξε κάποια αλλαγή στην ποσότητα νερού που μπορούσαν να συλλέξουν από τα πηγάδια.

Το πρώτο δίκτυο διανομής που αναπτύχθηκε στην πόλη της Αθήνας, ήταν αυτό του Πεισιστράτειου υδραγωγείου. Λειτουργούσε από το 550 π.Χ. (Camp, 1977, pp.64-73). Το υδραγωγείο μετέφερε νερό από τις πηγές του Υμηττού στον Εθνικό Κήπο και από εκεί διανεμόταν με αγωγούς μέσα στην πόλη.

Η σήραγγα του Πεισιστράτειου ήταν κατασκευασμένη σαν ένα κανάλι qanat (Leigh, 1998, p.12). Πρόκειται για τεχνική που ξεκίνησε στο Ιράν, πριν την Αχαιμενιδική εποχή (500 π.Χ.), όπου και χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα. Ουσιαστικά αξιοποιεί τα υπόγεια νερά, εκμεταλλευόμενη τις κλίσεις του εδάφους, ώστε να μη χρειάζεται άντληση με τεχνητό τρόπο. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.2, το κανάλι ξεκινά από ένα επικλινές επίπεδο, υψηλότερο από αυτό της πεδιάδας, και συνεχίζει έως το πεδινό έδαφος. Τα κατακόρυφα ορύγματα χρησιμοποιούνται για παροχή αέρα, καθαρισμό και συντήρηση του καναλιού. Το ξηρό κλίμα της περιοχής, η διάνοιξη πηγαδιών που ήδη χρησιμοποιούσαν εκτενέστατα για να συλλέγουν το πόσιμο νερό αλλά και η τεχνογνωσία που κατείχαν για τα ορύγματα από την διάνοιξη των ορυχείων στο Λαύριο, έφεραν τους Αθηναίους κοντά σ’ αυτή την τεχνική (Hodge, 1992, p.2).



Εικόνα 1.2 Η δομή ενός qanat Πηγή: (Μαμάσης, 2011)

Πιθανότατα υπήρχε ένα ακόμη, μεγάλης κλίμακας υδραγωγείο, τον 4ου αιώνα π.Χ., που μετέφερε νερό από την Πάρνηθα στην Αθήνα. Αυτή η υπόθεση βασίζεται σε τέσσερις επιγραφές που βρέθηκαν στην περιοχή των Αχαρνών (Vanderpool, 1965, pp.166-174). Επειδή από τα κομμάτια των επιγραφών, φαίνεται να σχηματίζεται το όνομα "Αχαρναί", δεν είναι σίγουρο αν το νερό έφτανε μέχρι την Αθήνα ή αν απλά πρόκειται για τοπικό υδρευτικό σύστημα. Σύμφωνα με μια διαφορετική εκδοχή το παραπάνω υδραγωγείο είναι το ίδιο με το Υδραγωγείου του Πόρου, το οποίο τροφοδοτούσε την πόλη από τα ανατολικά προς τα δυτικά της και έφτανε μέχρι την Αγορά της Αθήνας (Camp, 1977, pp.132-133). Σε κάθε περίπτωση, είναι ενδιαφέρον ότι οι πηγές στις χαμηλές πλαγιές της Πάρνηθας ήταν γνωστές στους Αθηναίους από τον 4ο αιώνα μ.Χ., και ότι η πόλη της Αθήνας, είχε αγοράσει τα δικαιώματα αυτής της γης. Εν κατακλείδι, κρίνοντας από τα πηγάδια και τις υπάρχουσες υδραυλικές εγκαταστάσεις, το υδραγωγείο του Αδριανού, μπορεί να διευκόλυνε ως προς την διαθεσιμότητα του νερού μες στην πόλη, ωστόσο πρόβλημα έλλειψης νερού δεν υπήρχε.

1.4 Ενδείξεις για Ρωμαϊκά Υδραγωγεία στην Αττική

Στα ερείπια των Μακρών Τειχών, και πιο συγκεκριμένα στην κορυφή των θεμελίων του βορειότερου τμήματος, βρέθηκαν τμήματα τοιχοποιίας στα οποία είχε χρησιμοποιηθεί σαν συνδετικό υλικό μεταξύ των πλακιδίων μια μορφή κονιάματος. Επιπρόσθετα, τα πλακίδια που χρησιμοποιήθηκαν εναλλασσόταν μεταξύ ορθογώνιων και σταυροειδών. Εφόσον τα Μακρά Τείχη χρονολογούνται κατά τον 5ο αιώνα π.Χ., πρόκειται σίγουρα για μετέπειτα προσθήκη, η οποία έφερε τα χαρακτηριστικά της Ρωμαϊκής τοιχοποιίας. Επομένως είναι πιθανό να πρόκειται για τμήμα στοάς ρωμαϊκού υδραγωγείου (Conwell, 1992, pp.538-540).

Υπολείμματα ρωμαϊκού υδραγωγείου έχουν βρεθεί και στην Ελευσίνα. Πρόκειται για ένα τμήμα υδραγωγείου του 2ου αιώνα μ.Χ., στην οδό Δήμητρας, βορειοανατολικά του ναού της Δήμητρας και της Περσεφόνης (Travlos, 1988b, p.104). Επιπλέον έχει βρεθεί και ένα λουτρό πλησίον της εκκλησίας του Αγίου Γεωργίου (Leigh, 1998, pp.92-95). Τα στοιχεία αυτά σε συνδυασμό με την επίσκεψη του Αδριανού στα Ελευσίνια μυστήρια, το 124 μ.Χ., καθιστούν πιθανό το ενδεχόμενο, το υδραγωγείο της Ελευσίνας, να είναι σύγχρονο με το Αδριάνειο.

Στην περίπτωση που τα τρία υδραγωγεία -Αθήνας, Πειραιά, Ελευσίνας- είναι της ίδιας χρονολογικής περιόδου, πολύ πιθανό να αποτελούσαν μέρος ενός μεγάλου σχεδίου που αφορούσε ολόκληρη την Αττική. Παράλληλα θα αποτελούσε μια συμφέρουσα συμφωνία για τους ντόπιους εργάτες και μια κίνηση στήριξης της οικονομίας της Αττικής.

Στις Αχαρνές έχει βρεθεί ένα συγκρότημα από ρωμαϊκά λουτρά, που αργότερα χρησιμοποιήθηκαν σαν αποθήκες. Αλλά και στη Μεταμόρφωση, έχει καταγραφεί ένας αγωγός από τοιχοποιία, με εσωτερικό ύψος 1.2 m και εσωτερικό πλάτος 0.62 m (Leigh, 1998, p.96). Οι

διαστάσεις αυτές συναντώνται σε κάποιους από τους αγωγούς του δικτύου διανομής της ρωμαϊκής Αθήνας, που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 3.

Επιπρόσθετα έχουν βρεθεί δύο ρωμαϊκά λουτρά που συγκαταλέγονταν στην περιουσία του Ηρώδη του Αττικού. Το πρώτο ήταν στην Κηφισιά και χρονολογείται στις αρχές του 2ου αιώνα μ.Χ. (Travlos, 1988b, pp. 201-202) και το δεύτερο στο Μαραθώνα (Themelis, 1974, pp.241-242). Στην Κηφισιά, έχει βρεθεί επιπλέον μια ρωμαϊκή δεξαμενή. Εκτός των άλλων, η περιοχή αυτή ήταν σημαντική για του Αθηναίους, καθώς πριν την κατασκευή του Αδριάνειου, χρησιμοποιούσαν τα πηγάδια της, που βρίσκονταν στο Κεφαλάρι (Leigh, 1998, p.96).

Εν κατακλείδι, με βάση τα παραπάνω, τα υδραυλικά έργα του Αδριανού, δεν αφορούσαν μόνο την Αθήνα. Κατά τον 2ο και πιθανά και τον 3ο αιώνα μ.Χ., υπήρξε έντονη προσπάθεια να βελτιωθεί η πρόσβαση σε νερό, για όλες τις χρήσεις, για όλους τους κατοίκους της Αττικής.

1.5 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Αν και γνωρίζουμε ήδη αρκετά για την λειτουργία του εξωτερικού υδραγωγείου της ρωμαϊκής Αθήνας, το δίκτυο διανομής εντός της πόλης, δεν είναι μέχρι σήμερα, καθόλου μελετημένο. Έτσι λοιπόν, η παρούσα διπλωματική στοχεύει στην ανάδειξη ενός αντικειμένου πρόσφορου για επιστημονική μελέτη. Αν και η πλήρης αναπαράσταση του δικτύου διανομής μιας αρχαίας πόλης, συνεπάγεται την πλήρη εξάρτηση από τα διαθέσιμα ευρήματα, η περίπτωση της ρωμαϊκής Αθήνας, δεν είναι απαγορευτική. Οι αρχαιολογικές ενδείξεις, όπως θα φανεί και στην συνέχεια των κεφαλαίων, ήδη εξασφαλίζουν την γνώση των βασικών χαρακτηριστικών της υδραυλικής του δικτύου.

Δεδομένου ότι, τα συστήματα υδροδότησης των ρωμαϊκών πόλεων, αποτελούν έργα αξιοσημείωτα μέσα στην ιστορία της ανθρωπότητας, η παρούσα διπλωματική δεν επικεντρώνεται αποκλειστικά στην περίπτωση της Αθήνας. Δεδομένης της πληθώρας των αρχαιολογικών ενδείξεων και των υπάρχουσών επιστημονικών μελετών για το δίκτυο της Πομπηίας, αποτέλεσε μια καλή ευκαιρία για να μελετηθεί μια ακόμη ρωμαϊκή πόλη. Αν και εν τέλει δεν έχει πολλά κοινά σημεία με το αντίστοιχο της Αθήνας, η οργάνωση του ήταν βοηθητική στην αναπαράσταση του τελευταίου.

Εν κατακλείδι, τα έργα των μηχανικών της αρχαιότητας, δεν γίνεται να κατανοηθούν στο σήμερα, αν λείπει η συμβολή των σημερινών μηχανικών από την μελέτη τους. Η παρούσα διπλωματική είναι μια μικρή συμβολή στην πλούσια και σημαντική επιστημονική δουλειά χρόνων, που έχει πραγματοποιηθεί από την μεριά των αρχαιολόγων. Παράλληλα αποτελεί μια ακόμη απόδειξη, για την αναγκαιότητα της διαθεματικότητας, της πολύπλευρης προσέγγισης

και της συνεργασίας των επιστημονικών κλάδων για την κατάκτηση της γνώσης. Συνεπακόλουθα, για την κατάκτηση της αλήθειας και τη βελτίωση της ζωής των ανθρώπων.

Το αδιαμφισβήτητο υψηλό επίπεδο τεχνολογικής γνώσης και πρακτικής του σήμερα, δεν στερεί τίποτα από την αίγλη των μεγάλων έργων των προηγούμενων αιώνων. Τα προηγμένα αποτελέσματα, με διαθέσιμα πενιχρά μέσα, κρύβουν σίγουρα θησαυρούς. Αυτό θα υπενθυμίσει και το παρόν κείμενο.

2.Εσωτερικό Δίκτυο Ύδρευσης σύμφωνα με τα Ρωμαϊκά Πρότυπα

2.1 Συστήματα ύδρευσης προηγούμενων χρόνων

Τα ρωμαϊκά υδραγωγεία συγκαταλέγονται στα σημαντικότερα έργα που έχουν κληροδοτήσει οι αρχαίοι πολιτισμοί στην ανθρωπότητα και αποτελούν την κορωνίδα της υδραυλικής των αρχαίων χρόνων. Μολονότι οι ελληνικές πόλεις είχαν λύσει το βασικό πρόβλημα της υδροδότησης των πόλεων τους, δεν κατείχαν όπως οι Ρωμαίοι, τον σχεδιασμό μεγάλης κλίμακας υδραυλικών έργων (Mays et al., 2007). Παρακάτω παρατίθενται τα υδραυλικά έργα που έχουν βρεθεί και αντιστοιχούν σε διάφορες ιστορικές περιόδους πριν τη Ρωμαϊκή κατάκτηση. Κατόπιν περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των ρωμαϊκών υδραγωγείων.

Μινωικός και Μυκηναϊκός πολιτισμός

Οι πρώτοι πολιτισμοί που αναπτύχθηκαν στον ελλαδικό χώρο, ήταν ο Μινωικός στην Κρήτη, το 3000 π.Χ. και ο Μυκηναϊκός στην κεντρική και νότια ηπειρωτική Ελλάδα, το 1600-1100 π.Χ. Αμφότεροι είχαν αναπτύξει μεθόδους για να συλλέγουν, να μεταφέρουν και να αξιοποιούν τα υπόγεια ύδατα και το νερό της βροχής (Mays et al., 2007). Σχετικά με το δεύτερο, όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος της Εικόνας 2.1, έχει βρεθεί στο Χαμέζι, δεξαμενή της 2ης - 3ης χιλιετίας π.Χ., στην οποία αποθηκεύονταν το βρόχινο νερό. Ίδιας λειτουργίας είναι και δύο δεξαμενές που βρέθηκαν στις Μυκήνες και την Τίρυνθα, και χρονολογούνται στον 13ο αιώνα π.Χ..

Στην Μινωική Κρήτη, στα χρόνια του Πρώτου Παλατιού (1900-1700 π.Χ.) χρησιμοποιούσαν πηγάδια για την άντληση πόσιμου νερού. Πιο συγκεκριμένα, έχουν καταγραφεί έξι πηγάδια (Evans, 1921-1935). Το βάθος τους δεν ξεπερνά τα 20 m και η διάμετρός τους τα 5 m (Buffet & Enrgard, 1950). Πηγάδια έχουν βρεθεί επίσης, στο παλάτι της Ζάκρου, στο νοτιοανατολικό άκρο της κεντρικής αυλής, και κάποια στο Παλαίκαστρο, με βάθη μεταξύ 10-15 m. Ένα από αυτά φαίνεται στο δεξί μέρος της Εικόνας 2.1.

Εξαιτίας του ορεινού ανάγλυφου τους, οι Μινωίτες είχαν ήδη αναπτύξει την τεχνολογία των υδραγωγείων. Όπως φαίνεται στο μέσο της Εικόνας 2.1, κομμάτια υδραγωγείου έχουν βρεθεί και στην Τύλισο. Πρόκειται για έναν κύριο αγωγό στην είσοδο ενός συγκροτήματος σπιτιών, και έναν δευτερεύων αγωγό που καταλήγει σε δεξαμενή.



Εικόνα 2.1 Μινωικά έργα συλλογής και μεταφοράς νερού: (αριστερά) δεξαμενή στο συγκρότημα κατοικιών κοντά στο χωριό Χαμαΐζι, κοντά στην πόλη της Σητείας. (μεσαίο) τμήμα του υδραγωγείου στην αρχαία πόλη της Τυλίσου. Και (δεξιά) πηγάδια χρησιμοποιούμενα για την παροχή νερού στην πόλη του Παλαίκαστρου. **Πηγή:** (Mays et al., 2007).

Οι κάτοικοι της Κνωσού χρησιμοποιούσαν πηγάδια, αλλά κατά βάση τροφοδοτούνταν από τον ποταμό Καίρατο, ανατολικά του λόφου του παλατιού. Το παλάτι έπαιρνε νερό από την πηγή του Μαυροκολύβου. Πρόκειται για μια πηγή ασβεστολιθικού πετρώματος, 450 m νοτιοδυτικά του παλατιού (Angelakis et al., 2006).

Στο παλάτι της Κνωσού είχε διαμορφωθεί, ένα δίκτυο σωλήνων από πηλό. Ήταν τοποθετημένοι κάτω από τα δάπεδα, σε βάθος που κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως 3 m (Evans, 1921-1935). Πήλινοι σωλήνες, παρόμοιοι με του παλατιού, βρέθηκαν και σε μερικές άλλες μινωικές τοποθεσίες, όπως στην Τύλισο, όπου μετέφεραν νερό από την πηγή του Αγίου Μάμα, στο Βαθύπετρο, καθώς και στο “Καραβάν Σεράι” νότια του ανακτόρου της Κνωσού. Κάποια επιπλέον ευρήματα, εντοπίστηκαν διάσπαρτα στην ύπαιθρο.

Στη νοτιοδυτική Πελοπόννησο, πιθανότατα χρησιμοποιούταν σωλήνες από κυπαρίσσι, λόγω της αφθονίας του στην περιοχή. Αυτή η υπόθεση βασίζεται στα ξύλινα μέρη που βρέθηκαν, μήκους 2 km και ανήκαν στο παλάτι της Πύλου (Taylour, 1983). Ξύλινοι σωλήνες χρησιμοποιήθηκαν και αργότερα, κατά τα ρωμαϊκά χρόνια αλλά και στη σύγχρονη εποχή, σε περιοχές της βόρειας Ευρώπης, όπως η Γερμανία (Hodge, 2002).

Επιπλέον, τα παλάτια είχαν συστήματα αποχέτευσης και υπονόμους. Κάποια παλάτια είχαν και τουαλέτες, που έμοιαζαν αρκετά με τις σημερινές. Είχαν δηλαδή, συστήματα έκπλυσης, που λειτουργούσαν είτε εκτοξεύοντας νερό από έναν αγωγό ή μέσω της σύνδεσης στους αγωγούς αποστράγγισης. Όσον αφορά την διακόσμηση, διάφορα ευρήματα, υποδεικνύουν πως στα μινωικά ανάκτορα υπήρχαν σιντριβάνια, ενυδρεία και άλλα έργα αισθητικής λειτουργίας, που χρησιμοποιούσαν νερό (Angelakis & Spyridakis, 1996).

Αρχαϊκή και Κλασική περίοδος

Στην Αρχαϊκή (750 π.Χ. - 480 π.Χ.) και την Κλασική περίοδο (499 π.Χ.-323 π.Χ.), τα υδραγωγεία, οι δεξαμενές και τα πηγάδια ήταν χτισμένα με παρόμοιο τρόπο όπως τα Μινωικά και

Μυκηναϊκά. Ωστόσο, η επιστημονική και η τεχνική πρόοδος επέτρεψε την κατασκευή πιο εξελιγμένων δομών. Ένα από αυτά είναι η σήραγγα του Ευπαλίνου (530 π.Χ.) στη Σάμο, η πρώτη βαθιά σήραγγα στην ιστορία που εκσκάφτηκε από δύο ανοίγματα με τις δύο γραμμές κατασκευής να συναντώνται περίπου στο μέσο της απόστασης. Η κατασκευή αυτής της σήραγγας, η οποία εξυπηρετούσε την ύδρευση του Πυθαγόρειου, είναι αποτέλεσμα της προόδου στη γεωμετρία και τη γεωδαισία (Koutsoyiannis et al., 2007a).

Υπάρχουν και άλλα γνωστά υδραγωγεία σε ελληνικές πόλεις, καθώς η ύδρευση θεωρήθηκε απαραίτητη υποδομή οποιασδήποτε πόλης. Για λόγους ασφαλείας, τα υδραγωγεία ήταν πάντα υπόγεια. Στην είσοδο της πόλης, τα υδραγωγεία ανέπτυσσαν ένα σύστημα διακλαδώσεων ώστε να εξασφαλίζεται από τους αγωγούς, η τροφοδοσία δεξαμενών και δημόσιων βрусών, σε κεντρικές τοποθεσίες. Στις σήραγγες των υδραγωγείων, τοποθετήθηκαν κυρίως πήλινοι σωλήνες, διαμέτρου 20 έως 25 cm. Σε κάποιες περιπτώσεις, όταν το απαιτούσε η παροχή, τοποθετούνταν παράλληλοι σωλήνες. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2, διέθεταν ελλειπτικά ανοίγματα, που σκεπάζονταν με πήλινα καλύμματα, και επέτρεπαν την πρόσβαση για τον καθαρισμό και την συντήρησή τους. Το νερό που μεταφέρονταν από τα υδραγωγεία συνήθως προέρχεται από πηγές. Η ύπαρξη φυσικών πηγών ήταν βασικό κριτήριο για την εγκατάσταση σε μια περιοχή. Για παράδειγμα, η Ακρόπολη στην Αθήνα, εκτός από την παροχή αμυντικών δυνατοτήτων, είχε επίσης υδροφόρο ορίζοντα και μια πηγή που ονομάζονταν "Κλεψύδρα". Με την εντατική αστική ανάπτυξη και την αύξηση του πληθυσμού οι φυσικές πηγές δεν μπορούσαν να καλύψουν τη ζήτηση νερού. Έτσι αναγκάστηκαν να μεταφέρουν νερό από απομακρυσμένες πηγές, με την κατασκευή υδραγωγείων, την εκσκαφή φρεατίων και την κατασκευή δεξαμενών για το βρόχινο νερό. Στην Αθήνα συνυπήρχαν πολλές εναλλακτικές λύσεις. Όπως αναφέρθηκε και στο 1ο Κεφάλαιο, το Πεισιστράτειο (6ου αι. π.Χ.) συνοδεύτηκε από πληθώρα πηγαδιών και αργότερα δεξαμενών (Koutsoyiannis et al., 2007a).



Εικόνα 2.2 Σωλήνες από πηλό στην Έφεσο, Ιωνία Πηγή: (Mays et al., 2007a).

Ελληνιστική περίοδος (323 π.Χ. – 30 π.Χ.)

Κατά τα Ελληνιστικά χρόνια, οι Έλληνες εξελίχθηκαν στον τομέα της υδραυλικής. Σε αρκετές περιοχές κατασκευάστηκαν συστήματα ύδρευσης, αποχέτευσης και αποστράγγισης. Επιπλέον, κατασκευάστηκαν και πολλά λιμάνια. Παράλληλα δόθηκε έμφαση στην αρχιτεκτονική των έργων και στον αστικό εξωραϊσμό. Τα ελληνιστικά υδραγωγεία συνήθως χρησιμοποιούσαν σωλήνες, και όχι αγωγούς τοιχοποιίας, όπως οι Ρωμαίοι. Επιπλέον, ακολουθώντας την κλασική ελληνική παράδοση, τα υδραγωγεία συνέχισαν να είναι υπόγεια για λόγους ασφαλείας (δεν πρέπει να εκτίθενται σε ξένους, π.χ. σε περίπτωση πολέμου) αλλά και για την ασφάλεια της κατασκευής κατά τη διάρκεια των σεισμών που ήταν συχνή στον ελλαδικό χώρο. Αυτή είναι μια επιπλέον διαφορά σε σχέση με τους Ρωμαίους, οι οποίοι μεταξύ άλλων έμειναν στην ιστορία για τις γέφυρες των υδραγωγείων τους (Mays et al., 2007).

Στους αγωγούς των ελληνικών υδραγωγείων, πραγματοποιούνταν ροή με ελεύθερη επιφάνεια. Ωστόσο, κατά την Ελληνιστική περίοδο, η επιστημονική πρόοδος στην κατανόηση της υδροστατικής στην πίεση του νερού και του αέρα, που οφείλεται στον Αρχιμήδη και σε άλλους (Koutsoyiannis et al., 2007α), επέτρεψε την ευρεία κατασκευή ανεστραμμένων σιφώνων. Έτσι, οι μηχανικοί κατασκεύασαν ανεστραμμένους σίφωνες για να μεταφέρουν νερό μέσω κοιλάδων σε υδραγωγεία πολλών πόλεων, όπως η Έφεσος, η Μέθυμνα, η Μαγνησία, η Φιλαδέλφεια, η Αντιόχεια, η Σμύρνη, η Λαοδικεία και η Πέργαμος. Αυτοί αρχικά κατασκευάστηκαν με πέτρινους ή πήλινους σωλήνες. Ωστόσο, η ανάγκη για υψηλότερες πιέσεις οδήγησαν στη χρήση μεταλλικών σωλήνων, κυρίως μολύβδινων. Μάλιστα, ένα από τα υδραγωγεία της Πέργαμου

περιλαμβάνει ανεστραμμένους σίφωνες μήκους άνω των τριών χιλιομέτρων, με μέγιστη κεφαλή πίεσης περίπου 180 m (Mays et al., 2007).

2.2 Ρωμαϊκή υδραυλική

Οι Ρωμαίοι έχτισαν μεγάλης κλίμακας υδραυλικά έργα, αποτελούμενα σε αρκετές περιπτώσεις από εντυπωσιακές δομές. Συνήθως χρησιμοποιούσαν αγωγούς με κλειστές διατομές (*specus* ή *rinus*) και ελεύθερη επιφάνεια. Ήταν είτε υπόγειοι ή αν ήταν αναγκαίο, χρησιμοποιούσαν μεγάλες στοές ή γέφυρες για να διατηρήσουν την κλίση των αγωγών και να ενισχύσουν την βαρυτική ροή. Δευτερεύουσες, ενισχυτικές γραμμές (*namus*) κατασκευάζονταν σε ορισμένες θέσεις κατά μήκος του κύριου άξονα του υδραγωγείου. Επιπλέον δεξαμενές (*piscinae*) τοποθετούταν κατά μήκος των υδραγωγείων για την απομάκρυνση ιζημάτων και φερτών υλών. Κατόπιν το νερό από την πηγή έφτανε στη δεξαμενή διανομής (*castellum*), η οποία βρισκόταν σε κάποια είσοδο της ρωμαϊκής πόλης. Αυτή αποτελούσε το όριο του εξωτερικού υδραγωγείου και του δικτύου διανομής της πόλης. Με τις οπές εξόδου από το *castellum*, συνδεόταν μέσω ακροφυσίων (*calix*), οι σωλήνες που τροφοδοτούσαν την εκάστοτε πόλη. Ήταν κεραμικοί ή μολύβδινοι. Τοποθετούταν κάτω από το έδαφος, κατά μήκος μεγάλων δρόμων οι οποίοι τυπικά ήταν υπόγειοι, και κατευθύνονταν προς τις δεξαμενές της πόλης. Οι δεύτερες συνδέονταν με σωλήνες μικρότερης διαμέτρου, που μετέφεραν το νερό στους παραλήπτες (Mays et al., 2007). Όσον αφορά το *castellum*, ο Vitruvius πρότεινε μέσα στην δεξαμενή του *castellum* να υπάρχει μια διάταξη που να χωρίζει το νερό σε τρία κανάλια. Καθένα διοχέτευε το νερό σε κάποιο σωλήνα και από εκεί κατευθύνονταν στην πόλη (Evans, 1994). Παρακάτω παρουσιάζονται τα ευρήματα από τα υδραγωγεία σημαντικών ρωμαϊκών πόλεων. Η Πομπηία αναλύεται ξεχωριστά, στην επόμενη ενότητα.

Μερίδα της Ισπανίας

Το 25 π.Χ. η *Emerita Augusta* (Μερίδα, Ισπανία) έγινε αποικία και έναν αιώνα αργότερα οι Ρωμαίοι είχαν δημιουργήσει ένα δίκτυο υδροδότησης με τρία υδραγωγεία. Αυτά ήταν, το υδραγωγείο *Cornalvo* (συνδέονταν με την ανατολική πλευρά της Μερίδας), το υδραγωγείο *Proserpina* (συνδέονταν με την βορειοανατολική πλευρά) και το υδραγωγείο *Las Thomas* (τροφοδοτούνταν από πηγές στη βόρεια και βορειοανατολική πλευρά της Μερίδας). Τα δύο πρώτα τροφοδοτούνταν από τα φράγματα που φαίνονται στο αριστερό μέρος και στη μέση της Εικόνας 2.3. Το υδραγωγείο *Cornalvo* κατασκευάστηκε πρώτο και είχε μήκος περίπου 17 km. Το φράγμα *Cornalvo* έχει μήκος περίπου 194 m, ύψους 20 m. και πλάτος στέψης 8 m (Mays et al., 2007).

Το υδραγωγείο του *Las Thomas* περιλάμβανε μια γέφυρα υδραγωγείου μήκους 1600 m της οποίας μόνο τρεις πυλώνες (ύψος 16 m) διασώζονται μέχρι σήμερα. Τα υλικά από τη γέφυρα του υδραγωγείου χρησιμοποιήθηκαν από το Άραβες τον 16ο αιώνα για την κατασκευή της

γέφυρας του υδραγωγείου San Lazaro. Το φράγμα Proserpina, έχει μήκος 427 m και ύψος 12 m. Βρίσκεται βόρεια της Μέριδας και παρείχε νερό στο υδραγωγείο Los Milagros. Το τελευταίο είχε μήκος 10 km. Περιλάμβανε την γέφυρα που φαίνεται στο δεξί μέρος της Εικόνας 2.3, η οποία είχε μέγιστο ύψος 30 m.



Εικόνα 2.3 Σύστημα νερού στη Μέριδα: (αριστερά) Φράγμα Cornalvo κοντά στη Μέριδα. (μεσαίο) φράγμα Proserpina κοντά Merida. Και (δεξιά) τμήμα γέφυρας υδραγωγείου Los Milagro στην Rio Albarregas στη Μέριδα **Πηγή:** (Mays et al., 2007).

Λυών, Γαλλία (αρχαίο Lugdunum)

Τέσσερα υδραγωγεία χρησιμοποιήθηκαν για την παροχή νερού στην αρχαία πόλη Lugdunum. Ήταν το Mont d'Or, το Yzeron, το Brevenne και το Gier. Το υδραγωγείο του ποταμού Gier (Εικόνα 2.4) ήταν το μεγαλύτερο και το υψηλότερο από τα τέσσερα υδραγωγεία. Περίπου το ήμισυ του υδραγωγείου ήταν υπόγειο με τουλάχιστον εννέα σήραγγες, τέσσερις σίφωνες και πάνω από 80 φρεάτια (Mays et al., 2007).



Εικόνα 2.4 Υδραγωγείο του ποταμού Gier κοντά Charonost Γαλλία **Πηγή :** (Mays et al., 2007)

Ρώμη

Το σύστημα υδροδότησης της Ρώμης εξελίχθηκε σε βάθος 500 ετών, και έτσι η πόλη κατέληξε να τροφοδοτείται από 11 υδραγωγεία. Το νερό που μετέφεραν συλλέγονταν κυρίως από ορεινές

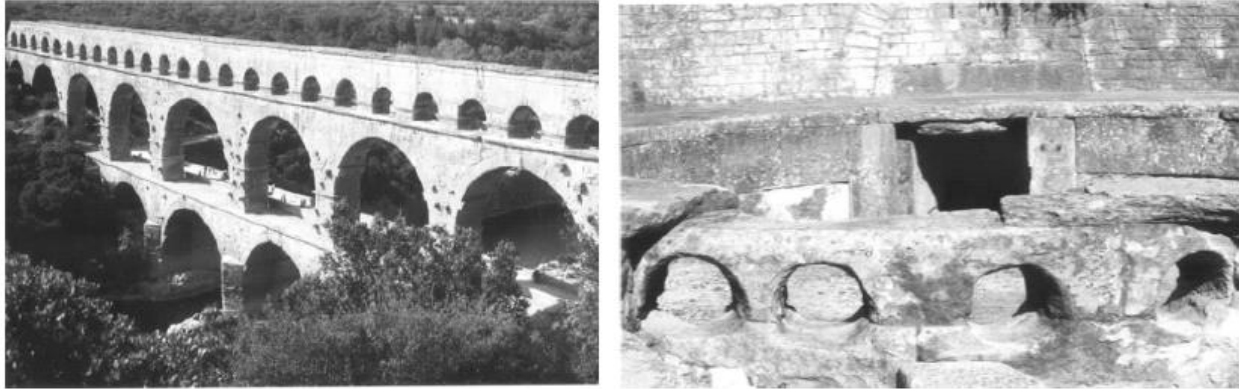
πηγές. Ωστόσο, δύο εξ αυτών μεταφέραν νερό από τον ποταμό Αηίο και ένα από τη λίμνη Alsietinus. Το πρώτο υδραγωγείο, το Aqua Appia, κατασκευάστηκε γύρω στο 313 π.Χ. (Mays et al., 2007). Τα μεγάλα ανατολικά υδραγωγεία προσέγγιζαν τη Ρώμη από την Porta Maggiore (Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5 Υδραγωγεία της Ρώμης: όψη του Porta Maggiore (διπλή τοξωτή πύλη) στο Τοίχος του Αυριλιανού όπου όλα τα ανατολικά υδραγωγεία εισέρχονταν στη Ρώμη. **Πηγή:** (Mays et al., 2007).

Nîmes (αρχαία Nemausus)

Το υδραγωγείο της Nemausus (χτισμένο γύρω στο 20 π.Χ.) μετέφερε νερό για περίπου 50 km, από την Uzès στο Castellum divisorium στη Nîmes. Είναι αξιοσημείωτο ότι, η διαφορά ύψους κατά μήκος του υδραγωγείου, ήταν μόλις 17 m, που αντιστοιχεί σε μέση κλίση μόνο 0,34 m/km. Η Pont du Gard (Εικόνα 2.6, αριστερά) είναι μια από τις πιο εντυπωσιακές γέφυρες υδραγωγείου που κατασκευάστηκαν ποτέ και η πιο φωτογραφημένη στον κόσμο (Mays et al., 2007). Στο δεξί μέρος της Εικόνας 2.6, φαίνεται η δεξαμενή του castellum divisorium της πόλης. Όπως και στην περίπτωση της Πομπηίας που εξετάζεται στην επόμενη ενότητα, η χαμηλή στάθμη της δεξαμενής προδιαγράφει ότι το castellum δεν είχε αποθηκευτική λειτουργία.



Εικόνα 2.6 Σύστημα νερού Nemausus: (αριστερά) γέφυρα υδραγωγείου Pont du Gard και (δεξιά) castellum divisorium στη Nîmes, Γαλλία **Πηγή:** (Mays et al., 2007).

2.3 Ρωμαϊκά Λουτρά

Τα Ρωμαϊκά Λουτρά, αποτέλεσαν βασικό συστατικό της καθημερινότητας των πολιτών της αυτοκρατορίας, καθώς και πυρήνα της κοινωνικής τους ζωής. Για τους Ρωμαίους η επίσκεψη στα λουτρά δεν πραγματοποιούνταν απλά για λόγους υγιεινής, αλλά πολύ περισσότερο για χαλάρωση και διασκέδαση. Αφού επέστρεφαν από τις δουλειές τους και μετά το μεσημεριανό δείπνο, επισκέπτονταν τα λουτρά για να χαλαρώσουν. Η επίσκεψη ήταν προτιμότερη όσο ήταν ακόμη μέρα. Μάλιστα κάποιες φορές, βάσει νομοθεσίας, τα δημόσια λουτρά έκλειναν με τη δύση του ήλιου (Yegül, 2010). Τα περισσότερα λουτρά ήταν είτε εντελώς δωρεάν, ή το εισιτήριο για την είσοδο ήταν πολύ φτηνό. Με αυτό τον τρόπο, σύχναζαν όλοι στα λουτρά, ακόμη και οι πιο φτωχοί. Κατά τον 4ο αιώνα μ.Χ., υπήρχαν στην αυτοκρατορία 856 λουτρά, και 10-11 Θέρμες (Μεγάλα και πολυτελή λουτρά, π.χ. του Καρακάλλα). Από το στοιχείο αυτό φαίνεται πόσο αγαπημένη συνήθεια ήταν για τους πολίτες η επίσκεψη στα λουτρά (Yegül, 2010).

Αναμφισβήτητα, τα προηγμένα υδραυλικά έργα στις ρωμαϊκές πόλεις, συνδέονται με την διαδεδομένη ύπαρξη λουτρών και με την σημαντική θέση που κατείχαν στην καθημερινότητα των πολιτών. Χωρίς τα λουτρά και τις μεγάλες ποσότητες νερού που απαιτούσαν για τη λειτουργία τους, πιθανόν οι Ρωμαίοι να μην είχαν αναπτύξει τις τόσο προηγμένες για την εποχή, τεχνικές ύδρευσης και υδροδότησης των πόλεων. Για να καταστούν σαφής οι υδατικές ανάγκες τους, στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η λειτουργία και η διαρρύθμιση δύο μεγάλων ρωμαϊκών λουτρών. Φυσικά δεν ήταν όλα τα λουτρά τόσο μεγαλοπρεπή όσο του Καρακάλλα στη Ρώμη και τα Στάβια στην Πομπηία. Ωστόσο, τα παραπάνω έχουν μελετηθεί ήδη αρκετά, λόγω της σχετικά καλής κατάστασης στην οποία διασώζονται. Επίσης, η αλληλουχία των δωματίων αλλά και οι μηχανισμοί θέρμανσης φαίνεται να είναι ίδιοι ακόμη και στα μικρότερα λουτρά των πόλεων.

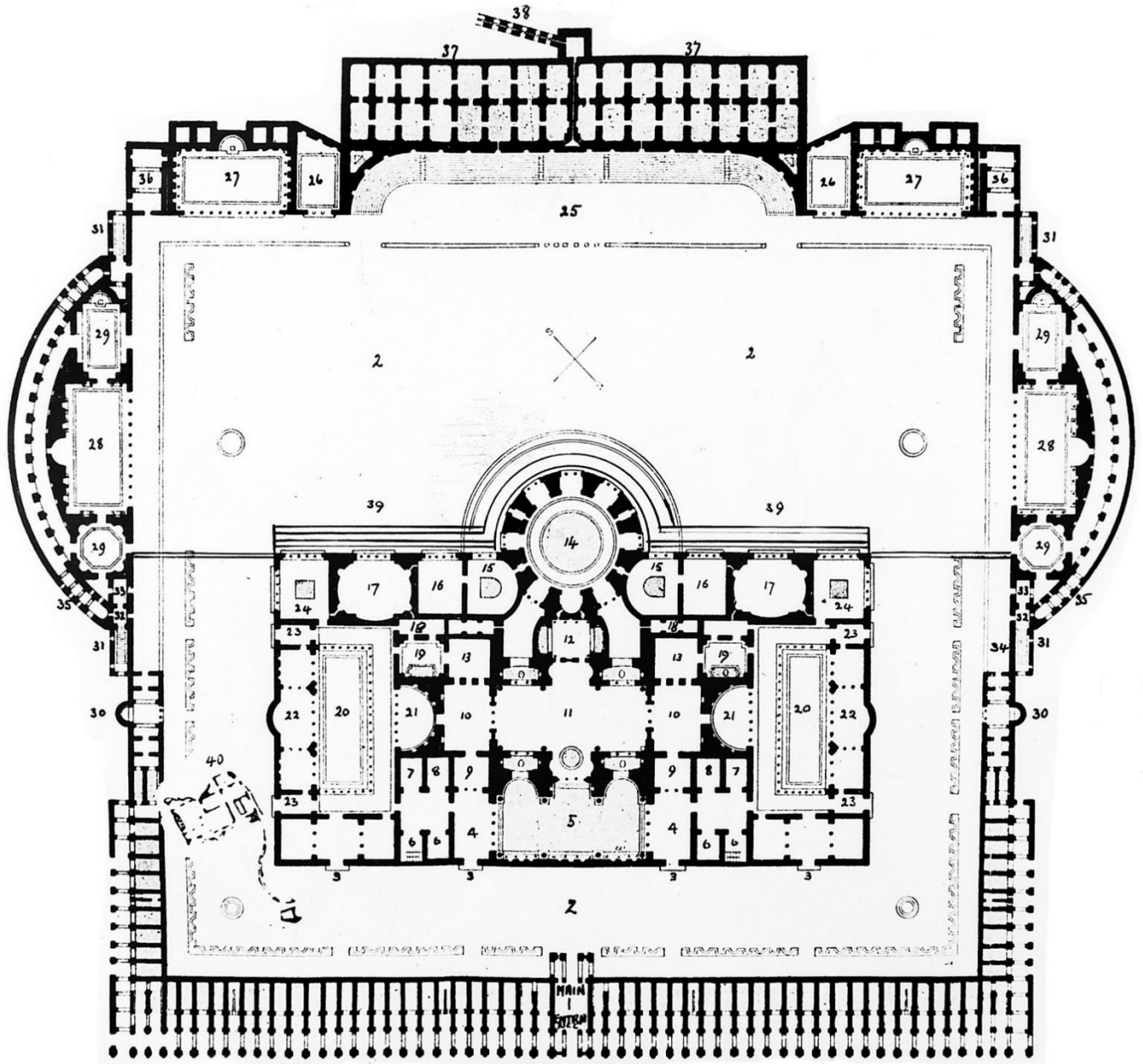
Επιπρόσθετα μέσω της αναζήτησης της προέλευσης τους, επιχειρείται η κατανόηση της δημοτικότητας τους, ιδιαίτερα στις ελληνικές πόλεις. Πιο συγκεκριμένα μελετάται το κατά πόσο αποτελέσαν μια καινούργια προσθήκη στην καθημερινότητα των Ελλήνων ή αν ήταν μια γνώριμη συνήθεια που αναβαθμίστηκε στα ρωμαϊκά χρόνια.

2.3.1 Εσωτερική Διαρρύθμιση

Με την είσοδο του στα λουτρά ο επισκέπτης, κατευθύνονταν στα αποδυτήρια, για να γδυθεί. Έπειτα, αρκετοί πραγματοποιούσαν μια ήπια γυμναστική, πριν το μπάνιο. Ανάλογα με το μέγεθος των λουτρών, οι θαμώνες μπορούσαν να επιλέξουν αν θα ασκηθούν σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους. Οι εξωτερικοί χώροι άσκησης, ονομάζονταν “palastrae” και συνήθως περιβάλλονταν από στήλες. Ύστερα και από την άσκηση, είχαν την ευκαιρία να επιλέξουν ανάμεσα σε μια ποικιλία δωματίων. Σε πολλά λουτρά, υπήρχαν μεταξύ άλλων, και δωμάτια για μασάζ (Yegül, 2010).

Λουτρά του Καρακάλλα, Ρώμη

Στην Εικόνα 2.7, φαίνεται η εσωτερική διάταξη των λουτρών του Καρακάλλα, στη Ρώμη. Όπως σε όλα τα λουτρά, μικρά ή μεγάλα, ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού, ένας θαμώνας, επέλεγε και το αντίστοιχο δωμάτιο. Το frigidarium, το κρύο δωμάτιο, ήταν αρκετά δημοφιλές γι’ αυτό και συμπεριλαμβανόταν στα μεγαλύτερα και πολυτελή δωμάτια. Στην Εικόνα 2.7, φέρει την ένδειξη 11. Δίπλα στο frigidarium ήταν το tepidarium (Εικόνα 2.7, ένδειξη 12), ή αλλιώς το ζεστό δωμάτιο. Τα νερά του είχαν θερμανθεί σε ένα βαθμό. Ήταν επίσης μικρότερο από το κρύο δωμάτιο. Δίπλα στο tepidarium, με την ένδειξη 14, ήταν το caldarium, το καυτό δωμάτιο. Τα νερά του είχαν θερμανθεί σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Είχαν επίσης μεγάλα παράθυρα για να θερμαίνει ο ήλιος φυσικά το δωμάτιο. Επιπλέον υπήρχαν δύο διαφορετικοί τύποι χαμάμ. Το laconium, το δωμάτιο ξηρής θερμότητας, και το sudatorium, με πιο υγρή ατμόσφαιρα. Μερικά λουτρά διέθεταν μεγάλες υπαίθριες πισίνες, που ονομάζονται natatio (Εικόνα 2.7, ένδειξη 5). Κάποιες Θέρμες διέθεταν τα heliocaminus, που ήταν ειδικά δωμάτια για ηλιοθεραπεία. Διέθεταν ακόμη βιβλιοθήκες, κήπους και αίθουσα συναντήσεων (Yegül, 2010). Τα λουτρά του Καρακάλλα είχαν στον εξωτερικό χώρο, γήπεδο με καθίσματα για την παρακολούθηση αθλημάτων (ένδειξη 25). Επιπλέον περιμετρικά της κεντρικής δομής, από την εσωτερική μεριά των τειχών, υπήρχαν μεταξύ άλλων καταστήματα.



PRINCIPAL FAÇADE.

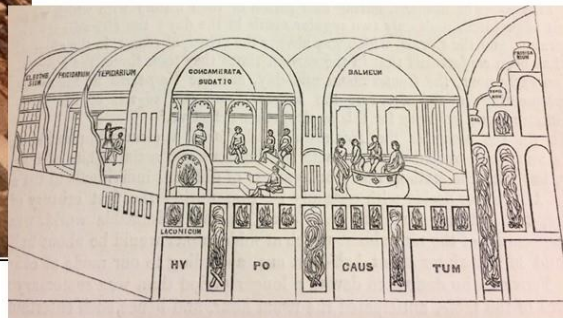
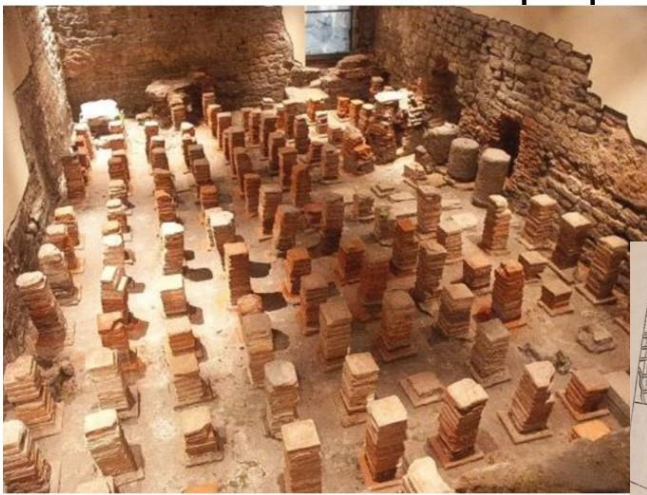
Εικόνα 2.7 Διάταξη των Λουτρών του Καρακάλλα, στη Ρώμη Πηγή: (Yegül, 2010)

Όπως φαίνεται και από την παραπάνω κάτοψη, τα λουτρά του Καρακάλλα ήταν μεγαλοπρεπή. Συγκεκριμένα, ήταν τα δεύτερα μεγαλύτερα στη Ρώμη μετά τα λουτρά του Διοκλητιανού. Χτίστηκαν το 216 μ.Χ.. Μαζί με τους εξωτερικούς χώρους, κάλυπταν συνολικά, 300 στρέμματα.

Τα λουτρά τροφοδοτούνταν με νερό από το Aquae Antoniniana. Το υδραγωγείο συνδεόταν με τη νότια πλευρά των λουτρών και γέμιζε τις δεξαμενές που υπήρχαν εκεί. Το Aquae Antoniniana ήταν κλάδος της Aquae Marciana και η παροχή του ισοδυναμούσε με τα 1/24 της συνολικής παροχής νερού της Ρώμης (Yegül, 2010).

Χαρακτηριστικό των ρωμαϊκών λουτρών αποτελεί το σύστημα με το οποίο θερμαίνονταν το νερό. Τα δάπεδα των λουτρών ήταν υπερυψωμένα και εδράζονταν πάνω σε στυλίσκους (pilae). Το υπόγειο που διαμορφωνόταν με αυτό τον τρόπο, ονομάζονταν υπόκαυστο. Εντός του υποκαύστου υπήρχαν εστίες φωτιάς (praefurnium). Αυτές παρήγαγαν καυτά αέρια που θερμαίναν τα από πάνω δωμάτια. Η φωτιά τους θέρμαινε επίσης το νερό που βρίσκονταν σε ειδικά καζάνια και μεταφερόταν κατόπιν μέσω του λέβητα στα δωμάτια των λουτρών (Yegül, 2010). Τα υπόκαυστα εν λειτουργία φαίνονται στην Εικόνα 2.8. Στην ίδια Εικόνα, φαίνονται οι κολώνες υπερύψωσης στα ερείπια του λουτρού Μπαθ, στην Αγγλία.

Υπόκαυστα στα ρωμαϊκά λουτρά



Εικόνα 2.8 Συστήματα θέρμανσης/ Υπόκαυστα στα ρωμαϊκά λουτρά. Στα αριστερά, υπόκαυστο στα Λουτρά Μπαθ της Αγγλίας **Πηγή:**(Γουλιανού, 2020, π. 61). Στα δεξιά σκίτσο με το υπόκαυστο εν λειτουργία **Πηγή:** (Ramsay,1851).

Λουτρά Στάβια, Πομπηία

Στην πόλη της Πομπηίας υπήρχαν πέντε δημόσια λουτρά. Ένα από αυτά ήταν υπό κατασκευή, όταν η πόλη καταστράφηκε το 79 μ.Χ., με την έκρηξη του Βεζούβιου. Τα λουτρά Στάβια που παρουσιάζονται παρακάτω, στην Εικόνα 2.9, χτίστηκαν πολύ πριν η πόλη γίνει ρωμαϊκή αποικία και ξαναχτίστηκαν και εκσυγχρονίστηκαν σε μια σειρά φάσεων κατά την αρχαιότητα. Κάλυπταν έκταση 2.400 m² (Olsson, 2015). Η εσωτερική τους διάταξη φαίνεται στην Εικόνα 2.9. Η κύρια είσοδος στα λουτρά των ανδρών ήταν από τη Via dell'Abbondanza στο VII 1, 8, που οδηγεί σε έναν ανοιχτό εξωτερικό χώρο (A) με μια μεγάλη πισίνα (B) με δύο πλευρικές πισίνες (C). Στα δεξιά βρίσκονται το γκαρνταρόμπα ανδρών (D) και το κρύο (E), τα ζεστά (F) και τα ζεστά λουτρά (G). Στη βορειοανατολική γωνία βρίσκεται η κύρια είσοδος στα γυναικεία λουτρά, από τη Via Stabiana στο VII 1, 17. Οδηγεί στο γκαρνταρόμπα (H) και στο κρύο (I), στα ζεστά (J) και στα ζεστά λουτρά (K). Το λεβητοστάσιο (L) βρίσκεται ενδιάμεσα για να εξυπηρετεί τόσο τα ανδρικά όσο και τα γυναικεία λουτρά (Olsson, 2015, p.58).



Εικόνα 2.9 Λουτρά Στάβια, Πομπηία Πηγή: (Olsson, 2015).

Πριν συνδεθούν τα λουτρά με το υδραγωγείο, τα πρώτα χρόνια λειτουργίας τους, τροφοδοτούταν με νερό από ένα βαθύ πηγάδι. Το νερό αποθηκεύονταν σε μια δεξαμενή χωρητικότητας 38.000 L. Αργότερα όταν συνδέθηκε με το υδραγωγείο, η δεξαμενή πιθανόν να ανακατασκευάστηκε για να έχει χωρητικότητα 62.000 L. Επειδή οι ανάγκες για νερό, δεν ήταν ίδιες καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, η παροχή των σωλήνων στο εσωτερικό δίκτυο των λουτρών, ρυθμιζόταν με βαλβίδες (Olsson, 2015).

2.3.2 Η προέλευση των Λουτρών

Δεν είναι σίγουρο αν τα λουτρά ξεκίνησαν από τους Ρωμαίους ή αν πρόκειται για επιρροή από άλλο λαό, με τον οποίο ερχόντουσαν σε επαφή. Στην δεύτερη περίπτωση, όπως θα δούμε αναλυτικά παρακάτω, ο μόνος από τους λαούς με τον οποίο σχετίζονταν και θα μπορούσε να έχει σχέση με την κουλτούρα του λουτρού σε δημόσιες εγκαταστάσεις, ήταν οι Έλληνες. Η υπόθεση αυτή, στηρίζεται στα δύο λουτρά που έχουν βρεθεί στην Ελλάδα. Το ένα βρίσκεται στη Γόρτυνα του Ηρακλείου και το άλλο στην Ολυμπία. Περιλαμβάνονταν και τα δύο σε ναούς του 3ου - 4ου αιώνα π.Χ., και διέθεταν και τα δύο υπόκαυστα (Gipounès, 1959, pp. 46-54,28).

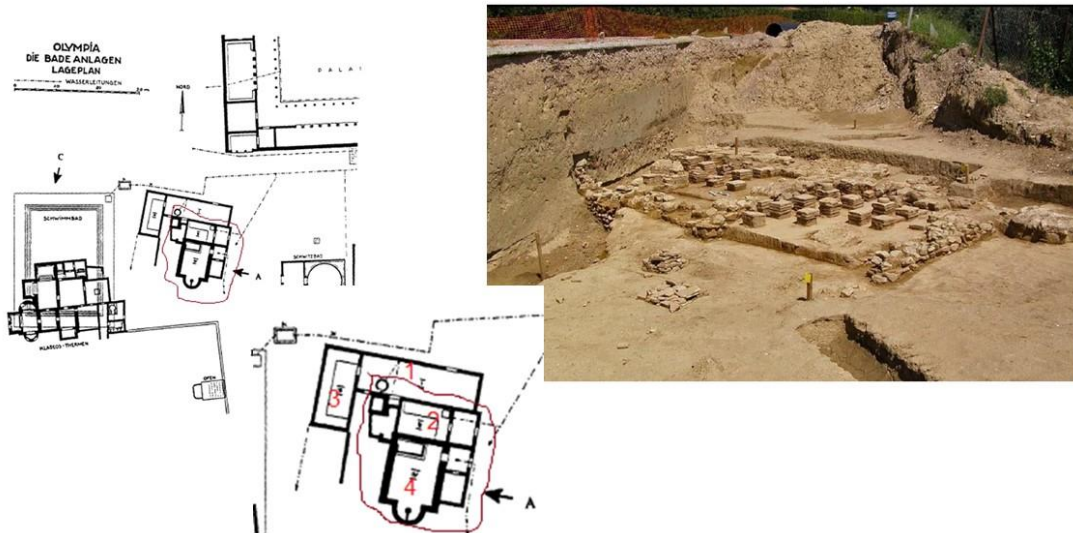
Το λουτρό στην Ολυμπία, είναι μέρος του Πανελληνίου Ναού. Στην Εικόνα 2.10, είναι το κτίριο με την ένδειξη Α. Στην πρώτη φάση του, τον 5^ο αιώνα π.Χ., αποτελούταν μόνο από το δωμάτιο 1 που φαίνεται στο κάτω μέρος της Εικόνας 2.10, και περιείχε απλά ένα σιντριβάνι. Στα μέσα του ίδιου αιώνα, χτίστηκε το δωμάτιο 2 (Εικόνα 2.10, κάτω). Περιελάβανε 11 λουτρά ισχίος, για τα οποία γίνεται αναλυτική περιγραφή παρακάτω, αλλά και δύο δεξαμενές με νερό. Κατά τον 4^ο αιώνα άλλαξε χρήση προκειμένου να στεγάσει ένα αγωγό ζεστού νερού. Στο κτίριο με την ένδειξη C, φαίνεται πάνω αριστερά στην Εικόνα 2.10, στεγάστηκε την ίδια περίοδο, μια μεγάλη, υπαίθρια πισίνα, διαστάσεων 24.4 x 16.4 m, και βάθους 1.22 m. Στο δωμάτιο 3, κατασκευάστηκε ένα μεγαλύτερο δωμάτιο με λουτρά ισχίου, με είκοσι μπανιέρες και δεξαμενή ζεστού νερού. Το δωμάτιο 2 πιθανόν, τότε που υπήρχε ζεστό νερό στο 3 να άλλαξε χρήση και να μετατράπηκε σε κρύο λουτρό (Fagan, 1993, pp. 54-57, 424-426).

Το σημαντικότερο όλων είναι το δωμάτιο 4 της Εικόνας 2.10. Αποτελεί την τελική εκδοχή του ελληνικού υπόκαυστου και είναι ο λόγος για τον οποίο τα λουτρά της Ολυμπίας ονομάστηκαν "the Greek hypocaust bath" (Kunze & Schleif, 1944). Οι στυλίσκοι που φαίνονται στην Εικόνα 2.10 (πάνω δεξιά), είναι τα ερείπια του υπόκαυστου που βρισκόταν κάτω από το δωμάτιο 4. Πρόκειται για μια ορθογώνια δομή, διαστάσεων 7,93 x 9,51 m, με ένα ημικυκλικό στοιχείο στο ένα άκρο. Ήταν στεγασμένο με θόλο σε σχήμα βαρελιού, εκτός από το κοίλωμα που ήταν στεγασμένο με ημι-τρούλο. Οι στυλίσκοι που ανύψωναν το δάπεδο τουωματίου ήταν 90 στο σύνολο, κατασκευασμένοι από τούβλα και άλλα υλικά με ύψος 80-85 cm. Η υπερύψωση δεν επεκτεινόταν μέχρι το κοίλωμα. Στις βόρειες και νότιες γωνίες του ανατολικού τείχους του κεντρικούωματίου, βρέθηκαν δύο τρύπες στο δάπεδο, που θα μπορούσαν να είναι μικρές καμινάδες. Σ' εστία θέρμανσης είχε μετατραπεί το δωμάτιο 2 στο βόρειο άκρο του κτιρίου. Εκεί παράγονταν τα καυτά αέρια, που θερμαίναν εκτός από το κεντρικό δωμάτιο και το λουτρό που υπήρχε στη βορειοδυτική γωνία (Nielsen, 1990). Ήταν χωρισμένο από το πρώτο, μ' ένα τοίχιο ύψους 60 cm.

Λουτρό στην Ολυμπία

Το λουτρό του Πανελληνίου Ναού στην Ολυμπία

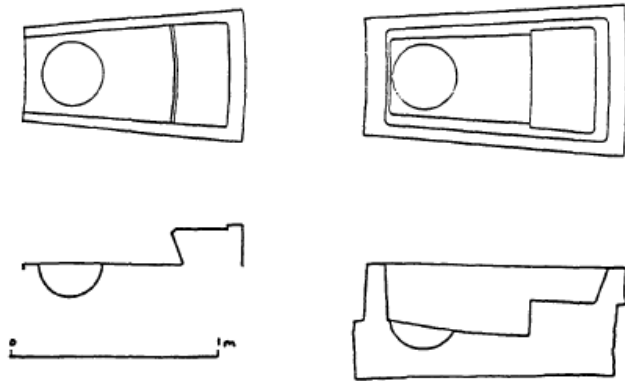
Υπόκαυστο Ολυμπίας



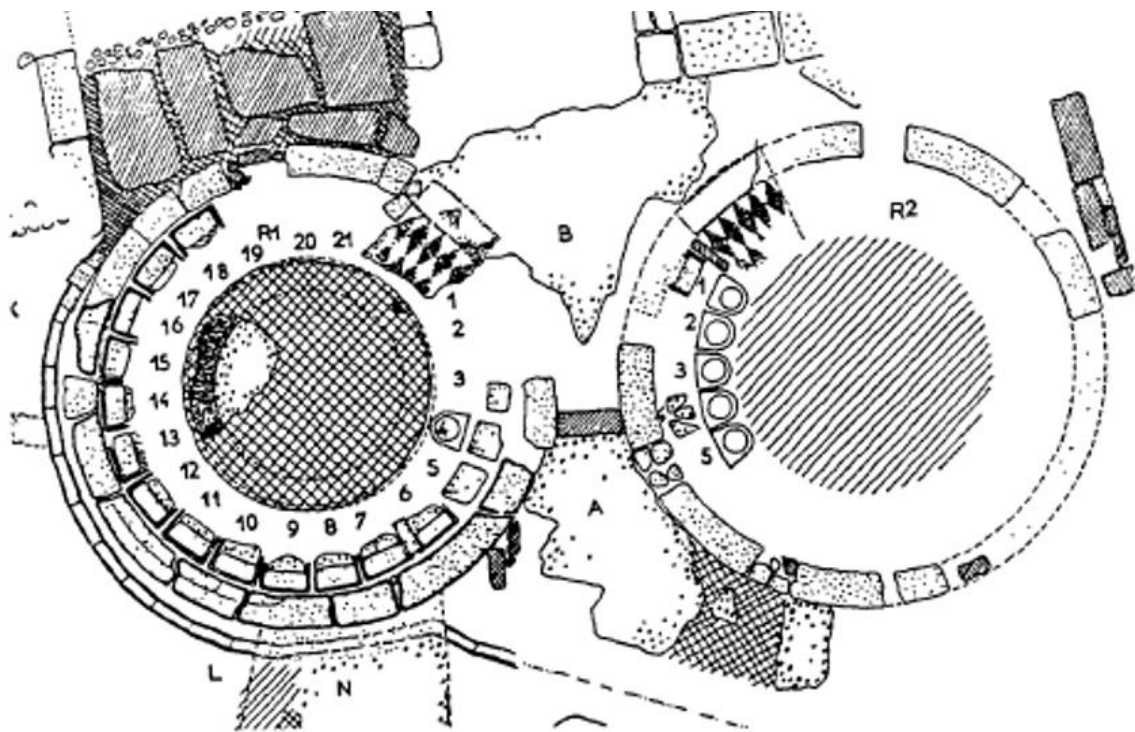
Εικόνα 2.10 Το λουτρό της Ολυμπίας. Πάνω αριστερά, η διάταξη του Πανελληνίου ναού, στον οποίο περιλαμβάνονταν. Κάτω και μέση, τα τέσσερα δωμάτια του κτιρίου Πηγή: Fagan (1993), μετά από προσαρμογή. Πάνω δεξιά τα ερείπια του υπόκαυστου Πηγή: (Γουλιανού, 2020, p. 19, Εικόνα 3.4).

Στο ελληνικό κόσμο, δημόσιες λουτρικές εγκαταστάσεις, συναντάμε σε δύο περιπτώσεις. Αφενός το “Λουτρόν” στα Γυμνάσια. Αφετέρου, κυρίως στην Αθήνα, υπήρχε το “βαλανεϊόν” (πληθ. βαλανεΐα). Τα “λουτρά” εντός των Γυμνασίων, είχαν μια σαφή αρχιτεκτονική μορφή, από τα τέλη 5^{ου} αιώνα π.Χ.. Ήταν υπαίθρια, ή αλλιώς βρίσκονταν μέσα στις παλαίστρες. Περιείχαν απλά λεκάνες μπροστά από ένα τοίχο. Σπανίως, περιλάμβαναν πισίνες. Τέτοια λουτρά έχουμε βρεθεί σε διάφορες πόλεις (Δελφοί, Νεμέα, Πέργαμος, Επίδαυρος, Πριήνη). Δεν χρησιμοποιούσαν ζεστό νερό, αν και μηχανισμοί θέρμανσης υπήρχαν στις παλαίστρες. Συγκεκριμένα υπήρχαν κυκλικά δωμάτια, με λειτουργία παρόμοια με αυτή της σάουνας (Ginounès, 1962, pp. 130-140).

Τα βαλανεΐα, από την άλλη, ήταν δημόσια λουτρά που υπήρχαν κυρίως στην Αθήνα και από τις αναφορές του Αριστοφάνη γνωρίζουμε, ότι λειτουργήσαν από τα τέλη του 5^{ου} αιώνα ή αρχές του 4^{ου} αιώνα π.Χ.. Βασικό τους χαρακτηριστικό ήταν τα “λουτρά ισχίου” που φαίνονται παρακάτω στην Εικόνα 2.11. Πρόκειται για λεκάνες στις οποίες οι θαμώνες ήταν καθήμενοι και το νερό έφτανε μέχρι τα ισχία τους. Κάποιοι στέκονταν από πάνω τους και έριχνε νερό για να πλυθούν (Ginounès, 1962, pp. 29-49, 183-224). Όσον αφορά την γενική διάταξη, είναι αυτή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.12. Οι λεκάνες ήταν τοποθετημένες η μια δίπλα στην άλλη, σε ένα μεγάλο θολωτό δωμάτιο.



Εικόνα 2.11 Ελληνικά λουτρά ισχύος, στην Αγορά της Αθήνας, τον 5ου αιώνα π.Χ. Πηγή: Fagan (1993, Figure 8.2).



Εικόνα 2.12 Δωμάτια με λουτρά ισχύος, στα λουτρά στο λιμάνι της Ερέτριας Πηγή: (Fagan, 1993, Figure 5).

Από τα παραπάνω αδιαμφισβήτητα συναντάμε κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ Ρωμαϊκών και Ελληνικών λουτρών. Αρχικά υπόκαυστα, υπήρχαν τόσο στα λουτρά των Γυμνασίων όσο και στα δύο λουτρά που έχουν βρεθεί στη Γόρτυνα και την Ολυμπία. Επιπρόσθετα τα ρωμαϊκά λουτρά διέθεταν και αυτά παλαιστρες, σάουνα (Iaconicum) και πισίνες για κολύμβηση. Βέβαια τα δύο πρώτα ήταν μικρής σημασίας για τα ρωμαϊκά λουτρά ενώ πισίνα υπήρχε σπάνια στα Γυμνάσια.

Σ' αυτά τα κοινά γνωρίσματα αλλά και στο γεγονός ότι τα ελληνικά λουτρά προηγούνται των ρωμαϊκών, έχουν βασιστεί αρκετοί μελετητές (Nielsen (1990), Eshebach (1979), Delaine (1988)& Delaine (1989)) για να αναδείξουν τα δεύτερα σαν υιοθεσία και μετεξέλιξη των πρώτων (Fagan, 1993, p.106).

Ωστόσο, παρά τα κοινά στοιχεία που έχουν μεταξύ τους, τα βασικά χαρακτηριστικά των δύο λουτρών δεν έρχονται σε αντιστοιχία. Επιπλέον, ο τρόπος και ο σκοπός χρήσης τους ήταν διαφορετικός. Οι Έλληνες πλένονταν ατομικά, φροντίζοντας αποκλειστικά την υγιεινή τους. Από την άλλη, οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν από κοινού τις πισίνες και τα λουτρά γι' αυτούς ήταν κατά βάση διασκέδαση. Τα λουτρά των Γυμνασίων άλλωστε, τα χρησιμοποιούσαν όσοι είχαν πάει στις παλαιστρες για να αθληθούν. Επιπλέον δεν ήταν ανοιχτά σε όλους, αφού τα Γυμνάσια διατηρούσαν περιορισμένο πελατολόγιο. Ούτε όμως και τα βαλανεία απέκτησαν ποτέ την δημοτικότητα των ρωμαϊκών λουτρών. Ακόμη, υπήρχε πολλές φορές θρησκευτική σύνδεση, σε αντίθεση με τα ρωμαϊκά λουτρά, που είχαν απολύτως κοσμικό χαρακτήρα. Έτσι λοιπόν, με βάση όλα τα παραπάνω, η άποψη ότι τα οι Ρωμαίοι εμπνεύστηκαν την συνήθεια και την κατασκευή των λουτρών τους, επηρεασμένοι από τους Έλληνες θα μπορούσε να χαρακτηριστεί παράλογη (Fagan, 1993, p.107).

Εν κατακλείδι, στην Καμπανία και γενικά στις αποικίες των Ελλήνων της νότιας Ιταλίας, οι δημόσιες λουτρικές εγκαταστάσεις της Ελλάδας και ο τρόπος λειτουργίας τους, ήταν γνωστά. Επιπρόσθετα, είναι πιθανό οι κάτοικοι της Καμπανίας να έκαναν μπάνιο από κοινού, στις θερμές πηγές των Φλεγραίων Πεδίων. Δεδομένου ότι στα λουτρά της Ρώμης υπήρχαν ξεχωριστοί χώροι για γυναίκες και άντρες, είχε ήδη αποκτηθεί εξοικείωση με την κατασκευή τους. Αυτός είναι ένας παραπάνω λόγος να προέρχονται από την Καμπανία, όπου υπήρχε επαφή τόσο με την ελληνική κουλτούρα, όσο και με τη συνήθεια του μπάνιου στις θερμές πηγές. Από το υπόκαυστο των ελληνικών λουτρών, θα μπορούσαν να έχουν εμπνευστεί το υπόκαυστο που συναντάμε στα ρωμαϊκά, ικανό να ζεσταίνει μεγάλες πισίνες. Διαμορφώθηκε έτσι ένας τεχνητός τρόπο για να απολαμβάνουν μια ήδη υπάρχουσα συνήθεια (Fagan, 1993, p.107).

Σε όλες τις ρωμαϊκές πόλεις, τα λουτρά χρησιμοποιούνταν από όλες τις τάξεις. Οι πλούσιοι έφεραν τα σημάδια της υπεροχής τους στα λουτρά, όπως σε όλους τους δημόσιους χώρους, αναδεικνύοντας έτσι την πραγματικότητα της κοινωνικής διαβάθμισης. Έρχονταν στα λουτρά με την ακολουθία δούλων, οι οποίοι φύλαγαν τα ακριβά τους ρούχα, για να μην κλαπούν. Αν και παρείχαν ένα ιδανικό χώρο για άτυπη, διαταξική επαφή, οι προνομιούχοι είχαν τα διαθέσιμα

μέσα για τον περιορισμό της επικοινωνίας με τους κατώτερους τους, εάν το επιθυμούσαν. Επομένως, η συνύπαρξη όλων των πολιτών στα λουτρά με αυτούς τους όρους ενίσχυε την υπάρχουσα κοινωνική ιεραρχία (Fagan, 1993, p.318).

2.4 Η Περίπτωση της Πομπηίας

Το σύστημα παροχής ύδατος της Πομπηίας είναι ένα αντιπροσωπευτικό αστικό ρωμαϊκό σύστημα διανομής και ταυτόχρονα το πιο μελετημένο. Η πόλη της Πομπηίας βρίσκεται στον κόλπο της Νάπολης, νοτιοανατολικά του Βεζούβιου, στην Ιταλία και αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αποδείξεις της μεγαλοπρέπειας του Ρωμαϊκού πολιτισμού. Ιδρύθηκε αρχικά από Έλληνες αποίκους, πιθανότατα γύρω στον 9ο έως τον 8ο αιώνα π.Χ.. Πέρασε στη σφαίρα επιρροής της Ρώμης, μετά από τρεις μακρινούς πολέμους γύρω στο 290 π.Χ.. Σαν αποικία, είχε μια ανθηρή οικονομία και ευημερία πριν γνωρίσει τον καταστροφικό σεισμό, το 62 μ.Χ.. Μερικά χρόνια αργότερα, στις 24 Αυγούστου 79 μ.Χ. ο Βεζούβιος ξέσπασε και κατέστρεψε την πόλη (Mays et al., 2007).

Σύμφωνα με τον Richardson (1988, p.51) δεν υπήρχαν πηγές ύδρευσης μέσα στην πόλη της Πομπηίας. Ένας από τους κλάδους του υδραγωγείου του Serino, το οποίο τροφοδοτούσε όλες τις πόλεις στον κόλπο της Νάπολης, έφτανε στην Πομπηία (Olsson, 2015, p.86). Στις πηγές συγκαταλέγονται και πηγάδια με βάθος ως 38 m (Maiuri, 1931, pp.546-557).

Το σύστημα διανομής της Πομπηίας, αποτελούνταν από μολύβδινους σωλήνες που διασχίζοντας τους κεντρικούς δρόμους, συνδέειαν το castellum divisorium στη Porta Vesuvio με 14 υδατόπυργους μέσα στην πόλη. Οι υδατόπυργοι στις οροφές τους είχαν δεξαμενές. Μικρότεροι σωλήνες, συνδεδεμένοι με τον πυθμένα των δεξαμενών, τοποθετημένοι κάτω από τα πεζοδρόμια και τους δρόμους κατευθύνονταν προς διάφορους χρήστες. Σωλήνες από τερακότα δεν χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημα διανομής νερού στην Πομπηία (Jansen, 2001). Οι σωλήνες από μόλυβδο που βρέθηκαν στην Πομπηία, είναι ίδιας κατασκευής και εμφάνισης με αυτούς των ανασκαφών άλλων ρωμαϊκών πόλεων.

Η χρήση νερού στην Πομπηία, διακρίνεται σε δύο είδη. Τη δημόσια, δηλαδή τα λουτρά και τα σιντριβάνια, και την ιδιωτική, δηλαδή τα σπίτια και τους χώρους εργασίας. Ωστόσο δεν ήταν όλοι οι ιδιώτες συνδεδεμένοι με κάποιον υδατόπυργο. Λίγα από τα σπίτια είχαν σωλήνα παροχής. Οι περισσότεροι τροφοδοτούνταν από τις βρύσες (Mays et al., 2007).

Επιπρόσθετα, στην Πομπηία υπήρχαν 5 δημόσια λουτρά. Τα Stabian και τα Forum υπήρχαν πριν από την σύνδεση της πόλης με το υδραγωγείο του Serino, και λειτουργούσαν τότε με νερό που αντλούσαν από ένα βαθύ πηγάδι. Τα λουτρά Suburban και Sarno, λειτουργούσαν εξ αρχής συνδεδεμένα με το δίκτυο διανομής της πόλης. Από την άλλη, τα Central baths ήταν ακόμη υπό

κατασκευή όταν καταστράφηκε η πόλη από την έκρηξη του Βεζούβιου. Υπήρχαν επίσης δύο ιδιωτικά λουτρά. Στον Πίνακα 2.1 δίνεται η έκταση που κάλυπτε καθένα από τα πέντε λουτρά.

Πίνακας 2.1 Στοιχεία για τα Δημόσια Λουτρά της Πομπηίας. **Πηγή:** Olsson (2015, pp. 60-72) μετά από προσαρμογή.

Λουτρά	Επιφάνεια(m ²)	Ξεχωριστά λουτρά γυναικών αντρών	Προυπήρχαν του υδραγωγείου του Σερίνο	Δεξαμενή (L)	Πισίνες (L)
Stabian	2400	✓	✓	38000	
Forum	1200	✓	✓	15000	
Suburban	600			10000	
Sarno	<100				
Central	3600				Frigidarium 22700 L, Caldarium 6800 L & 5400 L

Επιπλέον, στην πόλη έχουν καταγραφεί 42 βρύσες, οι οποίες είχαν συνεχή ροή. Εάν η ζήτηση ήταν μικρότερη από την παροχή, το νερό υπερχειλίζει και έρεε, καθαρίζοντας τους δρόμους, καταλήγοντας στην αποχέτευση. Οι βρύσες που βρέθηκαν στην Πομπηία ήταν επίσης παρόμοιες με εκείνες που βρέθηκαν σε άλλες ρωμαϊκές πόλεις (Mays et al., 2007).

Επιπρόσθετα, τα νοικοκυριά και τα δημόσια κτίρια είχαν πολύ ενδιαφέροντα συστήματα συλλογής και αποθήκευσης για βρόχινο νερό. Τα κτίρια είχαν υδρορροές στις στέγες, κατά μήκος της μαρκίζας, για τη συλλογή των όμβριων υδάτων και σωλήνες αποστράγγισης οροφής για να μεταφέρουν το νερό στις δεξαμενές που βρίσκονται κάτω από το κτίριο. Οι σωλήνες ήταν κατασκευασμένοι από τερακότα και συχνά τοποθετούνται μέσα στον τοίχο (Mays et al., 2007).

Ο Eschebach (1983, p.90) είχε δημιουργήσει τη λίστα με τις 42 βρύσες που έχουν βρεθεί στην Πομπηία, σημειώνοντας την τοποθεσία τους. Οι βρύσες αυτές φαίνονται (σαν μαύρες κουκίδες), στην Εικόνα 2.13. Από τις 42, οι 35 διέθεταν λεκάνη (Εικόνα 2.14), τρεις ήταν χωρίς λεκάνη (Εικόνα 2.15) και τέσσερις από αυτές ήταν διαμορφωμένες με περίτεχνο σχέδιο (Εικόνα 2.16). Οι βρύσες που διέθεταν λεκάνη, βρίσκονται σε γωνίες δρόμων, σε όλα τα μέρη της πόλης. Κάποιες από αυτές είναι στο πεζοδρόμιο και κάποιες άλλες στη μέση του δρόμου. Οι σωλήνες που ξεκινούσαν από τον πυθμένα της δεξαμενής των υδατόπυργων, κατέληγαν στη οπή της πέτρας που στηρίζονταν πάνω στην λεκάνη (Εικόνα 2.14).



Εικόνα 2.13 Οι βρύσες της πόλης και οι συνδέσεις τους με τους υδατόπυργους. Με πορτοκαλί χρώμα είναι σημειωμένος ο ανατολικός κύριος κλάδος, με μωβ ο κεντρικός και με πράσινο ο δυτικός κλάδος. **Πηγή:** (Olsson, 2015, Figure 6.2, pp.91,93) μετά από επέμβαση.



Εικόνα 2.14 Βρύσες με λεκάνη **Πηγή:** (Olsson, 2015, Figure 3.2, p.49).



Εικόνα 2.15 Βρύσες χωρίς λεκάνη **Πηγή:** (Olsson, 2015, Figure 3.3, p.49)



Εικόνα 2.16 Περίτεχνες Βρύσες Πηγή: (Olsson, 2015, Figure 3.4, p.50)

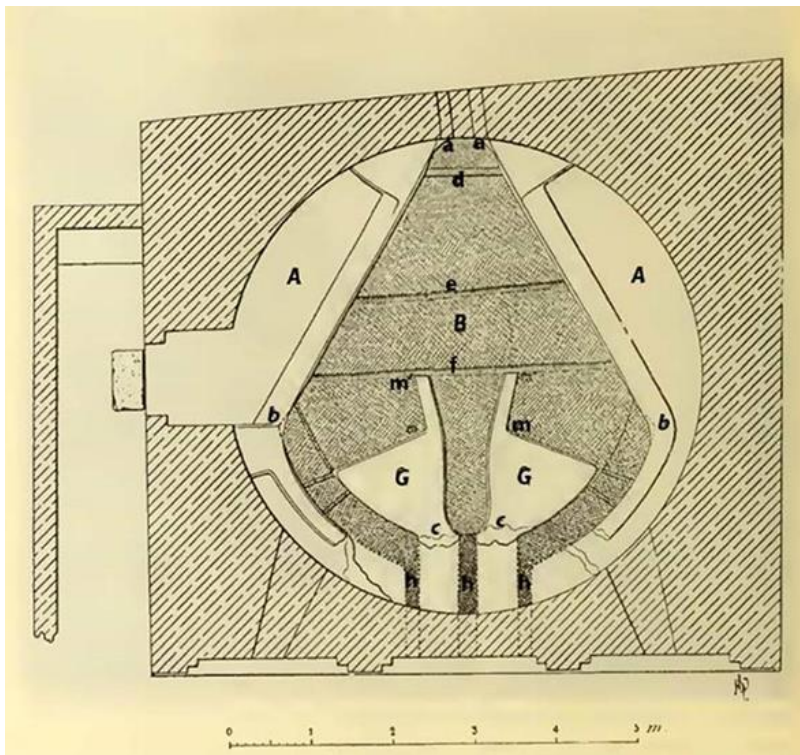
Castellum Aquae

Το όριο του εξωτερικού υδραγωγείου και του δικτύου διανομής της πόλης, ήταν το Castellum στην Porta Vesuvio. Η νότια πρόσοψη του, φαίνεται στην Εικόνα 2.17. Εντός του κτίσματος αυτού, υπήρχε μια δεξαμενή, χαμηλής στάθμης, στην οποία εισέρχονταν το νερό, για να διοχετευτεί από εκεί με σωλήνες στην πόλη. Η διάταξη που υπήρχε εντός της δεξαμενής, φαίνεται στην Εικόνα 2.18. Οι τοίχοι με την ένδειξη a και b, που οριοθετούν την δεξαμενή, έχουν ύψος 0.87 m. Επομένως δεν πρόκειται για μια δεξαμενή με σημαντική αποθήκευση. Αντιθέτως, απλά μοίραζε τον όγκο νερού που συγκέντρωνε, στους κύριους αγωγούς που τροφοδοτούσαν την Πομπηία. Για αυτό και τέτοιου είδους κτίσματα, ονομαζόταν από τους Ρωμαίους "Castellum divisorium". Στην διάταξη που φαίνεται στην Εικόνα 2.18, οι τοίχοι G χώριζαν την εισερχόμενη ροή, στα τρία κανάλια εξόδου, με την ένδειξη h. Αυτά με την σειρά τους διοχέτευαν το νερό σε τρεις μολύβδινους σωλήνες. Οι οπές με τις οποίες συνδέονταν οι σωλήνες εξόδου με το κτίσμα, φαίνονται στην Εικόνα 2.17. Η κεντρική οπή βρίσκεται ψηλότερα (+43 m) από τις άλλες δύο (+42.6 m). Επίσης έχει μεγαλύτερη διάμετρο. Πιο συγκεκριμένα, η κεντρική έχει διάμετρο 30 cm, ενώ η διάμετρος των δυο εκατέρωθεν είναι 25 cm (Hodge, 1992).

Πιθανόν η παροχή του μεγαλύτερου σωλήνα νερού στο μεσαίο άνοιγμα, να ήταν το ήμισυ της ροής του νερού και στα άλλα δύο ανοίγματα το ένα τρίτο και το ένα έκτο αντίστοιχα (Hodge, 1996). Σ' αυτό καταλήγουν και οι υπολογισμοί στο τέλος της ενότητας.



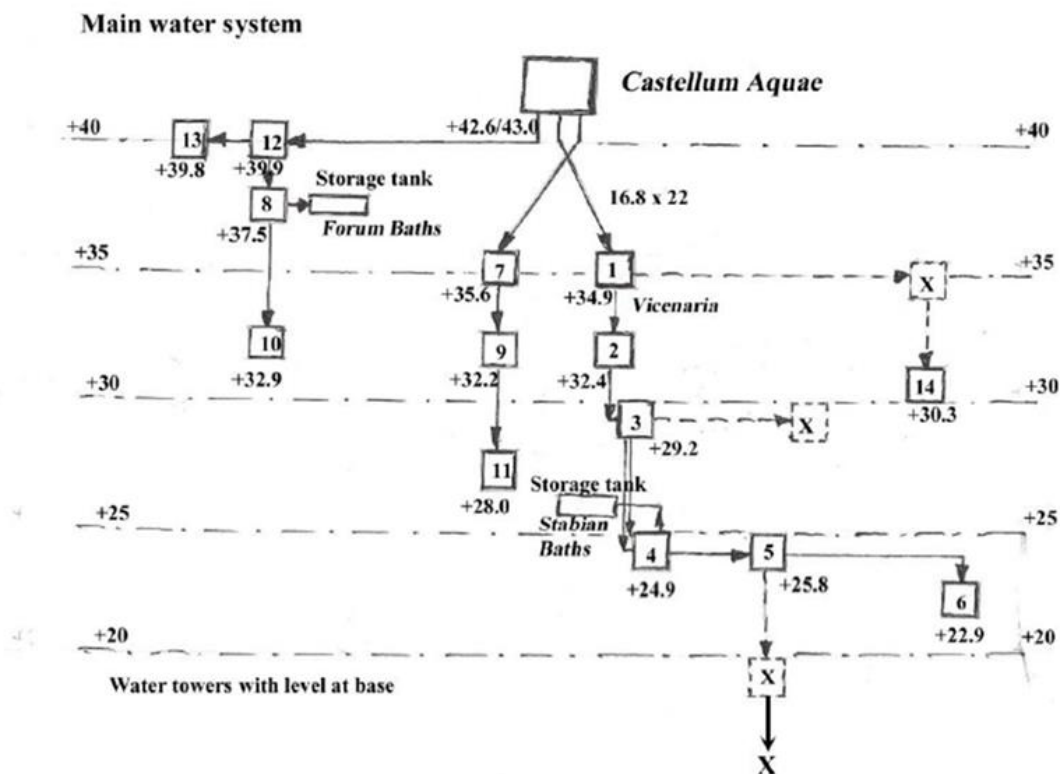
Εικόνα 2.17 Νότια πρόσοψη του Castellum Aquae, με τα τρία ανοίγματα για τους αγωγούς. Σημειωμένα πάνω στη φωτογραφία τα επίπεδα των ανοιγμάτων **Πηγή:** (Olsson, 2015, Figure 2.2, p.29).



Εικόνα 2.18 Κάτοψη δεξαμενής στο εσωτερικό του Castellum Aquae στην Πομπηία. Αναπαριστά την πλήρη διάταξη που είχε, όταν ήταν σε λειτουργία **Πηγή:** (Accademia nazionale dei Lincei, 1903, pp. 27-31, fig. 4).

ΥΔΑΤΟΠΥΡΓΟΙ

Το νερό από το Castellum, μεταφέρονταν στους υδατόπυργους εντός της πόλης. Από αυτούς διανέμονταν στους διάφορους παραλήπτες, δημόσιας ή ιδιωτικής χρήσης. Η σύνδεση των κύριων αγωγών με τους υδατόπυργους αναπαρίσταται στο σκαρίφημα της Εικόνας 2.19. Σύμφωνα με αυτήν, το κεντρικό άνοιγμα της νότιας πρόσοψης του Castellum αντιστοιχεί στον ανατολικό κύριο κλάδο και όχι στον κεντρικό. Στον κεντρικό κλάδο, αντιστοιχεί το ανατολικό άνοιγμα. Άλλωστε ο πρώτος κλάδος συνδέεται με περισσότερους υδατόπυργους και έτσι, όπως θα αποδειχτεί και παρακάτω, απαιτούσε μεγαλύτερη παροχή. Κρίνοντας από τις διατομές, η κεντρική οπή είχε μεγαλύτερη παροχетеυτικότητα. Επομένως, ξεκινούσε από αυτήν ο κλάδος που κάλυπτε την μεγαλύτερη υδατική ανάγκη. Επιπλέον, το υπερυψωμένο επίπεδο της

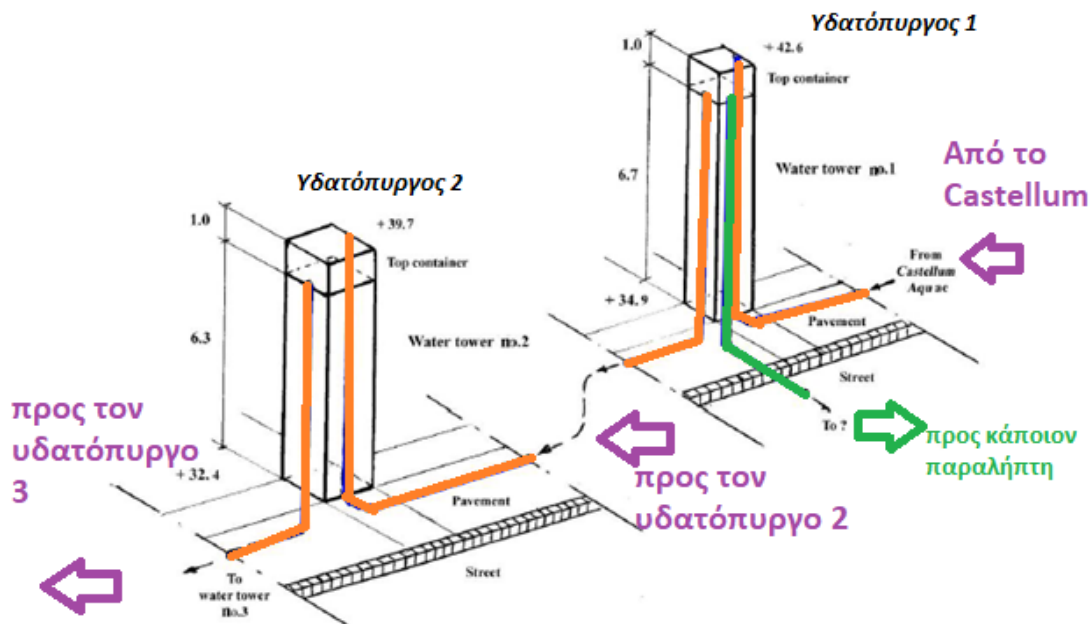


Εικόνα 2.19 Σκαρίφημα με τις συνδέσεις των κύριων αγωγών με τους υδατόπυργους. Αναγράφονται τα υψόμετρα της βάσης τους. Με X είναι σημειωμένοι οι υδατόπυργοι που δεν έχουν βρεθεί αλλά ο Olsson(2015) θεωρεί λογικό να υπήρχαν Πηγή: (Olsson, 2015, Figure 5.2, p. 89).

κεντρικής οπής, προέκυψε σαν ανάγκη, λόγω της διασταύρωσης των δύο κλάδων. Το νερό μεταφέρονταν από το Castellum, με τους τρεις κύριους κλάδους, αρχικά στους υδατόπυργους 1,7 και 12 (Εικόνα 2.19) και μέσω αυτών, σ' όλους τους υπόλοιπους. Οι κύριοι κλάδοι, που συνέδεαν τους υδατόπυργους, είναι σημειωμένοι και στην Εικόνα 2.13, με πορτοκαλί, μωβ και πράσινο χρώμα.

Στην Εικόνα 2.20, φαίνεται πως οι υδατόπυργοι, αποτελούσαν κομβικό σημείο στην διανομή του νερού σε όλη την πόλη. Οι υδατόπυργοι στην οροφή τους είχαν μολύβδινες δεξαμενές. Το νερό εισέρχονταν στην δεξαμενή από τους κύριους αγωγούς, που το διοχέτευαν από το ανώτερο ύψος της. Οι σωλήνες εκροής (κύριοι ή δευτερεύοντες) ήταν συνδεδεμένοι με τον πυθμένα της. Σύμφωνα με τον Olsson (2015), ένα μικρό μέρος του όγκου που συγκεντρώνονταν στην δεξαμενή διανεμόταν στους παραλήπτες. Το μεγαλύτερο μέρος, έρεε υπό πίεση προς την επόμενη δεξαμενή. Αυτό είναι λογικό, καθώς η παροχή εξόδου του castellum, έπρεπε να μοιραστεί, με την διαμεσολάβηση των υδατόπυργων, σε όλη την πόλη.

Οι σωλήνες, κατευθυνόμενοι προς του διάφορους παραλήπτες, δημιουργούσαν από τις διαρροές τους πάνω στους τοίχους των υδατόπυργων, εναποθέσεις ασβέστη. Από τα ίχνη αυτά, έχουν προσδιοριστεί σε αρκετές περιπτώσεις, κάποιοι από τους παραλήπτες που εξυπηρετούνταν από τους υδατόπυργους (Olsson, 2015, p.35). Αυτό ωστόσο δεν αποκλείει το γεγονός να υπήρχαν παραπάνω σωλήνες που συνδέονταν με την δεξαμενή, από αυτούς που αντιστοιχούν στα ίχνη των εναποθέσεων (Olsson, 2015, p.79). Μια τέτοια περίπτωση είναι ο υδατόπυργος 2, ο οποίος φαίνεται να είχε δέκα παραλήπτες, οι οποίοι είναι σημειωμένοι στην Εικόνα 2.20.



Εικόνα 2.20 Η ρυθμιστική λειτουργία των υδατόπυργων της Πομπηίας. Στην πλάγια όψη πάνω δεξιά, με πορτοκαλί σημειώθηκαν οι κύριοι σωλήνες και με πράσινο οι δευτερεύοντες. Πηγή: (Olsson, 2015, pp. 30, 79). Μετά από επέμβαση.

Δεδομένης της μικρής χωρητικότητας των δεξαμενών, σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 2.2, οι δεξαμενές των υδατόπυργων δεν είχαν την δυνατότητα να αποθηκεύσουν νερό για έκτακτη

ανάγκη. Πιο συγκεκριμένα, οι χωρητικότητες τους κυμαίνονται εντός του διαστήματος [0.2 , 2.2] m³, με μέσο όρο το 1 m³, και μέσο ύψος δεξαμενής 0.9 m. Αρκετά μικρές δηλαδή, για να απορριφθεί η περίπτωση αποθηκευτικότητας. Παρόλα αυτά οι υδατόπυργοι είχαν μια επιπλέον λειτουργία, εκτός από αυτήν των διανομένων νερού. Είχαν σχεδιαστεί για να μειώνουν σταδιακά την πίεση του νερού στο σύστημα. Οι σωλήνες ήταν κατασκευασμένοι ώστε να μεταφέρουν νερό υπό πίεση, με διαφορά στάθμης, όχι μεγαλύτερη των 6-8 m (Dybkjaer Larsen, 1982). Προκειμένου να μην καταστραφούν οι βαλβίδες που ρύθμιζαν την παροχή του δικτύου, η πίεση του νερού έπρεπε να είναι μέχρι 0.6 kg/cm² (Kretzschmer, 1960). Η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας του κορυφαίου δοχείου δημιουργούσε επαρκή πίεση για να τροφοδοτήσει τις βρύσες του δρόμου, τα δημόσια λουτρά, τα σπίτια και τα εργαστήρια.

Πίνακας 2.2 Δεξαμενές Υδατόπυργων **Πηγή:** (Olsson, 2015, Table 4, p.100)

Υδατόπυργος	Διατομή (m ²)	ύψος δεξ. (m) <i>εκτιμώμενο</i>	Χωρητικότητα (m ³) <i>εκτιμώμενη</i>
1	1,23 x 1,20	1	1,4
2	1,5 x 1,5	1	2,2
3	1 x 1,2	1	1,2
4	1,2 x 1,2	1	1,4
5	1,05 x 0,95	0,8	1
6	0,65 x 0,65	0,56	0,23
7	1,05 x 1,15	1	1,2
8	0,6 x 1,2	1,2	0,9
9	1,2 x 1,05	1	1,2
10	0,55 x 0,6	0,6	0,2
11	1,1 x 1,15	1	1,2
12	0,9 x 0,95	0,8	0,7
13	1,05 x 1,2	1	1
14	0,75 x 0,75	0,6	0,3
			Πηγή: (Olsson, 2015, Table 4, p.100)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι δεξαμενές ήταν κατασκευασμένες από μόλυβδο. Οι μόνες μετρήσιμες επιφάνειες δεξαμενής που υπάρχουν, είναι από αυτήν του 6ου υδατόπυργου. Σύμφωνα με αυτές, η διατομή είχε διαστάσεις 0.65x0.65 m², και ήταν μικρότερη από τη διατομή του υδατόπυργου, 0.85 x 0.85 m² (Eschebach et al., 1993).

Όσον αφορά την ρύθμιση της ροής μέσω βαλβίδων κλεισίματος, αυτές υπήρχαν σίγουρα, με βάση τα αρχαιολογικά ευρήματα, στις οικίες. Οι δημόσιοι παραλήπτες, δηλαδή τα λουτρά και οι βρύσες, είχαν συνεχόμενη ροή. Εντούτοις, όπως διατυπώνεται και παρακάτω, στα λουτρά, όπου οι δεξαμενές ήταν αποθηκευτικές, υπήρχαν βαλβίδες.

Στον Πίνακα 2.3 παρακάτω, είναι καταγεγραμμένες όλες οι βρύσες της πόλης, με την χωρητικότητα τους. Στον Πίνακα 2.4 που ακολουθεί, συγκεντρώνονται οι υδατόπυργοι που ανήκουν στον καθένα από τους τρεις κύριους κλάδους, όπως δίνεται από την Εικόνα 2.19, με την συνολική τους χωρητικότητα. Στον ίδιο Πίνακα είναι σημειωμένες οι βρύσες και τα λουτρά που εξυπηρετούσε ο κάθε κλάδος, όπως δίνεται στην Εικόνα 2.13. Επιπλέον αναγράφεται η συνολική χωρητικότητα των βρυσών που αντιστοιχούν σε κάθε κλάδο, με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 2.3. Από το σύνολο των βρυσών, οι 2,7,35,36,37,38,39, δεν έχει προσδιοριστεί με ποιον συγκεκριμένα υδατόπυργο συνδέονταν, όπως όλες οι υπόλοιπες (Olsson, 2015, p.93). Ωστόσο, βρίσκονται ανατολικότερα του ανατολικού κλάδου (Εικόνα 2.13), οπότε ανήκουν σίγουρα σ' αυτόν. Για τις συνδέσεις των λουτρών γίνεται αναλυτική αναφορά παρακάτω σ' αυτήν την ενότητα.

Από τον Πίνακα 2.4 ενισχύονται δύο συμπεράσματα που έχουν διατυπωθεί και παραπάνω. Καταρχάς, το εσωτερικό υδραγωγείο λειτουργούσε με νερό να είναι συνεχώς τρεχούμενο, χωρίς να υπάρχει η λογική της αποθήκευσης. Εκτός από την δεξαμενή εντός του castellum που χαρακτηρίζεται από χαμηλή χωρητικότητα (λόγω της χαμηλής στάθμης), η χωρητικότητα των δεξαμενών κάθε κλάδου συνολικά, είναι επίσης αρκετά μικρή. Η συνολική χωρητικότητα των βρυσών κάθε κλάδου είναι μεγαλύτερη από αυτήν των δεξαμενών του. Ωστόσο στις βρύσες ήταν συνεχώς τρεχούμενο το νερό. Γέμιζαν πλήρως μόνο αν η ζήτηση ήταν χαμηλή και αφού υπερχειλίζαν, πλένονταν έτσι οι δρόμοι της πόλης.

Επιπρόσθετα, η μεγαλύτερη υδατική ανάγκη που κάλυπτε ο ανατολικός κλάδος, σε σχέση με τον κεντρικό, αποδεικνύει το γεγονός ότι το κεντρικό άνοιγμα στην νότια πρόσοψη του Castellum αντιστοιχεί στον πρώτο. Λόγω της μεγαλύτερης διατομής του, συνεπάγεται και μεγαλύτερη παροχτετευτικότητα για τον σωλήνα σύνδεσης.

Πίνακας 2.3 Διαστάσεις και χωρητικότητα των 42 βρυσών **Πηγή:** (Olsson, 2015, Table 6, pp.102,103) μετά από προσαρμογή.

Βρύση	Χωρητικότητα (L)	Βρύση	Χωρητικότητα (L)
1	1360	22	850
2	450	23	340
3	820	24	340
4	460	25	<i>Arch at Forum</i>
5	780	26	1100
6	420	27	760
7	420	28	720
8	750	29	720
9	740	30	<i>χωρίς λεκάνη</i>
10	620	31	400
11	<i>χωρίς λεκάνη</i>	32	400
12	780	33	840
13	880	34	760
14	840	35	<i>Triangular Forum</i>
15	<i>Arch of Caligula</i>	36	<i>Gladiator Barracks</i>
16	790	37	510
17	610	38	<i>χωρίς λεκάνη</i>
18	750	39	520
19	800	40	900
20	840	41	1130
21	440	42	750
Πηγή: (Olsson, 2015, Table 6, pp. 102,103)			

Πίνακας 2.4 Συνδέσεις υδατόπυργων για δημόσια χρήση και οι αντίστοιχες χωρητικότητες. **Πηγή:** (Olsson, 2015, pp. 58-70, 89,93, 100,102,103).

Αγωγός	Υδατόπυργοι	Χωρητικότητα (L)	Βρύσες	Χωρητικότητα (L)	Λουτρά
Ανατολικός	1,2,3,4,5,6,14	7730	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,18,19,20 22,23,28,34,35,36,37,38,39,40,41,42	15690	A,E
Κεντρικός	7,9,11	3600	14,16,17,21,26,27,32	4940	
Δυτικός	12,8,10,13	2800	12,13,15,24,25,29,30,31,33	3960	B,C,D

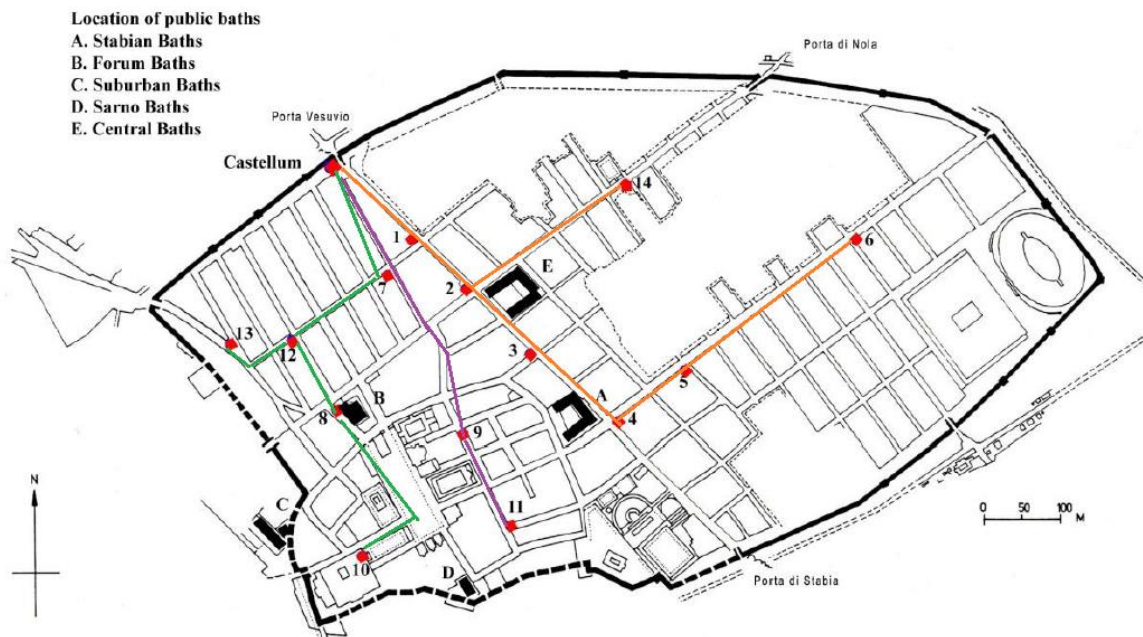
ΙΔΙΩΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

Όσον αφορά την ιδιωτική χρήση, διαφορετικές εκτιμήσεις υπάρχουν, σχετικά με το πλήθος των σπιτιών που συνδέονταν με το σύστημα διανομής. Ο Eschebach (1983) αναφέρει πως κατόπιν της σύνδεσης του υδραγωγείου του Serino με την πόλη, 63 σπίτια συνδέθηκαν με το δίκτυο. Ωστόσο η Jansen (2001) υπολογίζει 91 σπίτια με σύνδεση. Σε αρχαιολογικές έρευνες που χρησιμοποιήθηκε ανιχνευτής μετάλλων, ανακαλύφθηκαν σε 24 σπίτια σωλήνες νερού και βαλβίδες κλεισίματος (Jansen, 1996). Επιπρόσθετα σε 30 σπίτια έχει βρεθεί ιδιωτικό λουτρό (de Haan, 1996).

Τα σπίτια τροφοδοτούνταν με νερό μέσω ενός ξεχωριστού μικρού σωλήνα συνδεδεμένου με το δικό τους σύστημα διανομής εντός του σπιτιού (Desalle, 2006). Επίσης έχει υπολογιστεί, ότι υπήρχε παροχή νερού σε 46 χώρους εργασίας (Eschebach, 1983). Γνωρίζουμε ότι χώροι, ειδικά διαμορφωμένοι για την πλύση των ενδυμάτων, διέθεταν σύνδεση νερού μέσω μολύβδινων σωλήνων (Olsson, 2015, p.81).

ΛΟΥΤΡΑ

Η Πομπηία διέθετε πέντε μεγάλα δημόσια λουτρά. Μεταξύ αυτών και τα λουτρά Στάβια, η εσωτερική διάταξη των οποίων, έχει αναλυθεί στην παραπάνω ενότητα. Η επιφάνεια που



Εικόνα 2.21 Τα λουτρά εντός του Χάρτη της πόλης. Σημειωμένοι με πορτοκαλί χρώμα ο ανατολικός κύριος κλάδος, με μωβ ο κεντρικός κύριος και με πράσινο ο δυτικός. **Πηγή:** (Olsson, 2015, Figure 1.6, pp.21,91) μετά από επέμβαση.

κάλυπτε καθένα απ' αυτά, έχει δοθεί στον Πίνακα 2.1. Οι τοποθεσίες τους εντός της πόλης φαίνονται παρακάτω, στην Εικόνα 2.21.

Τα ρωμαϊκά λουτρά είχαν στην οροφή τους δεξαμενή αποθήκευσης νερού για να εξασφαλίσουν ότι πάντα θα υπάρχει επαρκής ποσότητα νερού διαθέσιμη (Nielsen, 1990). Η ζήτηση νερού στα ρωμαϊκά λουτρά, διέφερε πολύ κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έτσι, ενώ τροφοδοτούνταν με συνεχή ροή καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας, όταν η κατανάλωση νερού εντός του λουτρού ήταν χαμηλή, την περισσευούμενη ποσότητα την αποθήκευαν στις δεξαμενές τους. Γι' αυτό, η ροή στους σωλήνες που συνδέονταν με τους λέβητες και τα δωμάτια των λουτρών ρυθμιζονταν με βαλβίδες. Παρακάτω παρατίθενται κάποια στοιχεία για καθένα λουτρό.

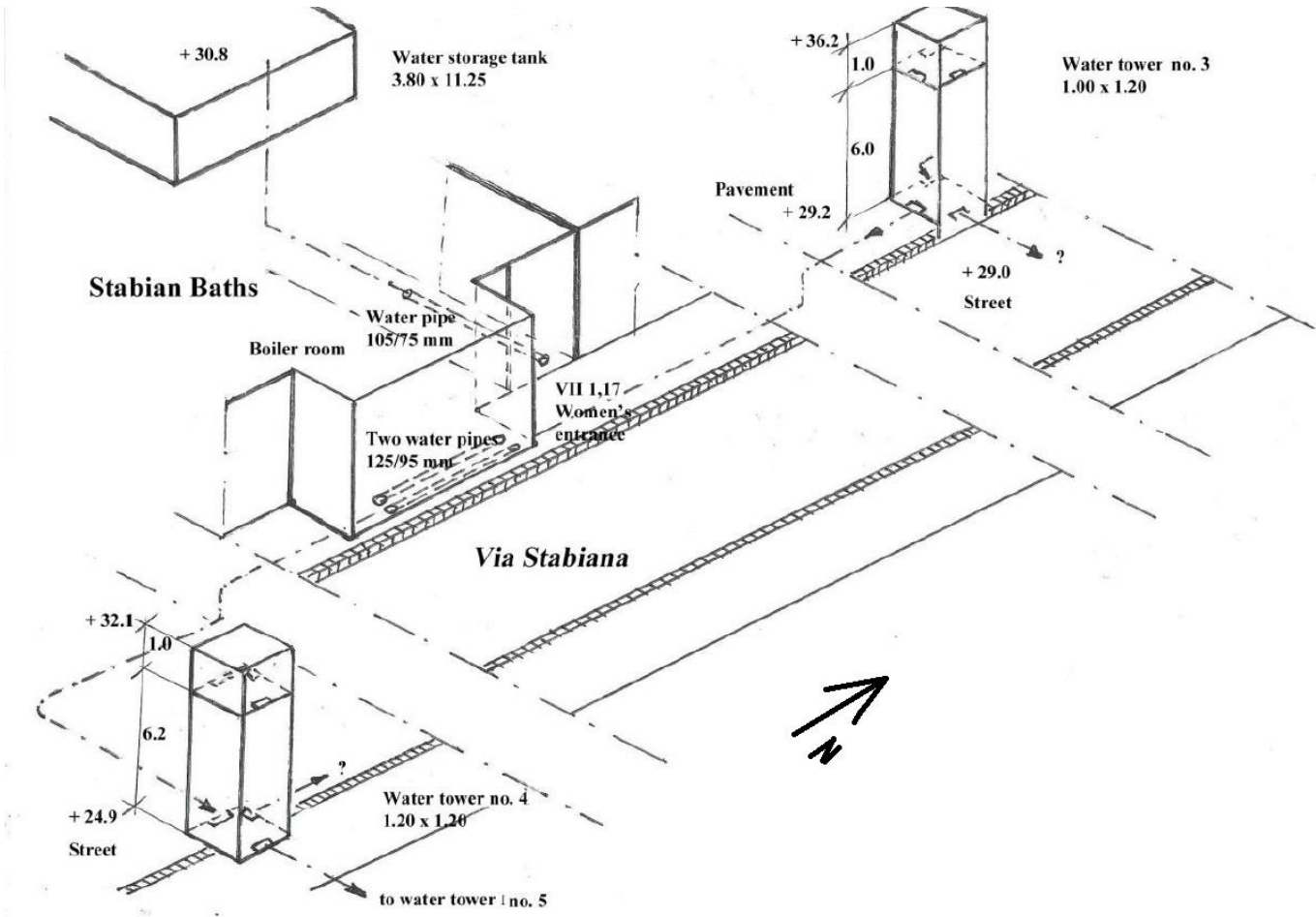
Λουτρά Στάβια (The Stabian baths)

Τα λουτρά Στάβια είναι ανάμεσα στους υδατόπυργους 3 και 4, του ανατολικού κλάδου (Εικόνα 2.21). Προυπήρχαν της κατασκευής του δικτύου της πόλης, επομένως θα ήταν από τις παραμέτρους που λήφθηκαν υπόψιν κατά τον σχεδιασμό του. Ένας από τους δύο υδατόπυργους θα ήταν συνδεδεμένος με τα Στάβια, ώστε να τα τροφοδοτεί. Όπως φαίνεται παρακάτω στην Εικόνα 2.22, στον 3^ο υδατόπυργο βρέθηκε από ένα ίχνος αυλακώσεως, στην νότια, την ανατολική και την δυτική πρόσοψη. Στον 4^ο υδατόπυργο, υπήρχαν επίσης τρεις αυλακώσεις. Από μια στις τρεις προσόψεις, ανατολική, δυτική και βόρεια. Η αυλάκωση στην δυτική όψη του 3^{ου} υδατόπυργου, αντιστοιχεί στον σωλήνα σύνδεσης του με τον 2^ο υδατόπυργο. Επίσης η αυλάκωση της δυτικής όψης του 4^{ου} υδατόπυργου, αντιστοιχεί στην σύνδεση του με τον 3^ο, ενώ αυτή της ανατολικής του όψης, αντιστοιχεί στην σύνδεση με τον 5^ο. Το ζητούμενο είναι τι συνέβαινε με τους σωλήνες της νότιας και βόρειας πρόσοψης, του 3^{ου} και 4^{ου} υδατόπυργου αντίστοιχα. Για να προκύψει κάποια βάσιμη υπόθεση σχετικά με το ποιος ήταν ο υδατόπυργος που τελικά συνδεόταν με τα λουτρά, πρέπει να ληφθούν υπόψιν και κάποια ευρήματα αγωγών. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.22, έχουν βρεθεί δυο κομμάτια παράλληλων αγωγών, 95 x 125 mm, στην ανατολική πρόσοψη των λουτρών, από την μεριά της Via Stabiana. Επιπλέον, έχει βρεθεί ένα κομμάτι σωλήνα, διαστάσεων 75 x 105 mm, στην είσοδο των γυναικείων δωματίων, στην βόρεια όψη, κάθετα στη Via Stabiana (Olsson, 2015, p.61).

Όσον αφορά το υψόμετρο της ανώτερης στάθμης των τριών δεξαμενών, αυτή του υδατόπυργου 3, βρίσκεται στα +36.2 m, ενώ του 4^{ου} στα +32.1 m. Χαμηλότερη από όλες είναι η στάθμη της δεξαμενής των λουτρών, στα + 30.8 m. Και τα τρία υψόμετρα αναγράφονται στην Εικόνα 2.22.

Δεδομένων όλων των παραπάνω, ο Olsson (2015, pp.60-63) προτείνει την εξής λειτουργία για τους αγωγούς. Οι δύο παράλληλοι σωλήνες κατευθύνονται από τον 3^ο στον 4^ο υδατόπυργο, και ο μικρότερος σωλήνας κάθετα στην Via Stabiana, ξεκινούσε από τον 4^ο υδατόπυργο για τα

λουτρά. Σ' αυτήν την υπόθεση καταλήγω και εγώ, κατόπιν κάποιων υπολογισμών που εξετάζω παρακάτω.

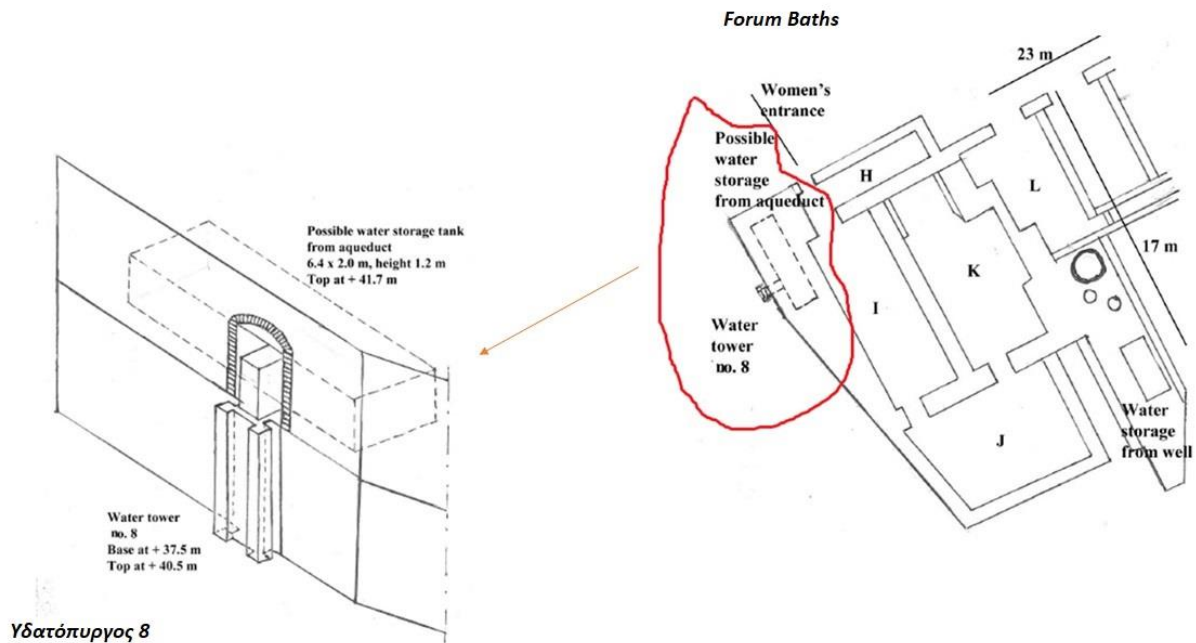


Εικόνα 2.22 Λουτρά Stabian Πηγή: (Olsson, 2015, Figure 3.12, p.60) μετά από επέμβαση.

Λουτρά Φόρουμ (The Forum baths)

Το συγκρότημα των λουτρών Φόρουμ, είχε επίσης μεγάλη έκταση. Πιο συγκεκριμένα, τη μισή από τα Στάβια (Πίνακας 2.1). Λειτουργούσαν κι αυτά στην αρχή με νερό που αντλούνταν από ένα βαθύ πηγάδι, πριν η πόλη συνδεθεί με το υδραγωγείο του Serino. Τα γυναικεία μπάνια προστέθηκαν εκ των υστέρων στην κατασκευή, πιθανά όταν τα λουτρά συνδέθηκαν με το δίκτυο. Δυτικά των Φόρουμ, βρισκόταν ο όγδοος υδατόπυργος (Εικόνα 2.21). Υπάρχει το ενδεχόμενο, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2.23 παρακάτω, το κορυφαίο δοχείο του

υδατόπυργου να επεκτεινόταν στην οροφή των λουτρών και να συνδεόταν με την δεξαμενή αποθήκευσης νερού αυτών. Άλλωστε η δυτική πλευρά, αποτελούσε την επέκταση των γυναικείων δωματίων, που χτίστηκε μετά την σύνδεση με το υδραγωγείο. Η εκτιμώμενη επιφάνεια της δεξαμενής (Olsson, 2015, p.65) είναι 6.4 x 2 m, με ύψος ελεύθερης επιφάνειας 1.2 m, και χωρητικότητα 15000 L.



Εικόνα 2.23 Σύνδεση Forum Baths με 8^ο υδατόπυργο. Πηγή: (Olsson, 2015, pp.65,66) μετά από επέμβαση.

Προαστικά Λουτρά (the Suburban baths) και Λουτρά Σάρνο (the Sarno baths)

Τα Προαστικά λουτρά και τα λουτρά Σάρνο, ήταν συνδεδεμένα με το κορυφαίο δοχείο του 10^{ου} υδατόπυργου, μέσω ξεχωριστού σωλήνα το καθένα. Στα Προαστικά, η δεξαμενή αποθήκευσης νερού, υπήρχε στη νοτιοανατολική πλευρά και η χωρητικότητά της εκτιμάται να ξεπερνούσε τα 10000 L (Manderscheid, 2000). Για τα λουτρά Σάρνο, που ήταν και τα πιο μικρά (Πίνακας 2.1), δεν υπάρχουν ευρήματα για δεξαμενή αποθήκευσης.

Κεντρικά Λουτρά (the Central baths)

Όσον αφορά τα Κεντρικά λουτρά, που θα αποτελούσαν τα μεγαλύτερα και πιο εξελιγμένα λουτρά της πόλης, δεν υπάρχουν ενδείξεις για την σύνδεσή τους στο εσωτερικό υδραγωγείο της πόλης. Υπάρχει η πιθανότητα, μιας και πρόκειται για έργο μεγάλου βεληνεκού, να

κατασκευαζόταν ένας νέος υδατόπυργος εντός των Κεντρικών λουτρών, ο οποίος θα συνδεόταν με το κύριο δίκτυο διανομής της πόλης και συγκεκριμένα με τον 3ο υδατόπυργο (Olsson, 2015, p.70). Επιπλέον, εκτιμάται η χωρητικότητα κάποιων από τις πισίνες που περιελάμβαναν. Πιο συγκεκριμένα, οι πισίνες του *frigidarium* είχαν χωρητικότητα 22700 L και από τις δύο πισίνες του *caldarium*, η μια χωρούσε 6800 L και η άλλη 5400 L (de Haan & Wallat, 2006).

Πρότυπα μολύβδινων σωλήνων

Οι Ρωμαίοι μετρούσαν το μέγεθος των σωλήνων χρησιμοποιώντας σαν μονάδα μέτρησης τα *digits* ή τις ίντσες. Ένα *digit*, ισούται με 1.85 cm. Κάποια στιγμή αυτό άλλαξε, και εισήχθη η *quinarua* σαν μέγεθος αναφοράς, είτε από τον αρχιτέκτονα Βιτρούβιο (85π.Χ- 15π.Χ) είτε από τον Αγρίππα (63π.Χ- 12π.Χ) . Πρόκειται για έναν σωλήνα που αλλιώς ονομάζεται και 5 *ripe*, πιθανόν επειδή η διάμετρος της ισούται με τα 5/4 του *digit*. Ισούται δηλαδή με 2.3 cm. Στο καινούργιο σύστημα σωλήνων, κάθε σωλήνας έχει διάμετρο μεγαλύτερη από τον αμέσως προηγούμενο του, κατά 1/4 του *digit*. Αυτό ισχύει μέχρι τον σωλήνα 20 *ripe*. Οι μεγαλύτεροι σωλήνες αυτού του συστήματος, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.5 παρακάτω, δεν ακολουθούν αυτή τη διαφορά (Γουλιανού, 2020, pp.97,98).

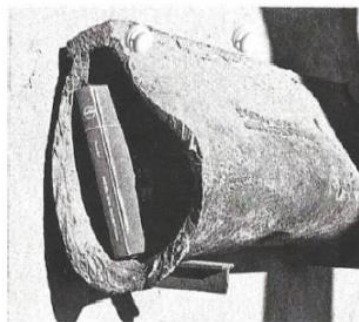
Η *quinarua* χρησιμοποιούταν σαν μονάδα παροχетеυτικότητας. Ο Frontinus, από τις μετρήσεις που είχε κάνει σε ένα κανάλι, ενός από τα υδραγωγεία της Ρώμης, υπολόγισε ότι η παροχή μιας *quinarua* ισούται με 41.5 m³/d. Έτσι η ικανότητα παροχής ενός ή πολλών σωλήνων, υπολογίζονταν, με βάση το πόσες *quinaruae* του αντιστοιχούσαν. Για να γίνει αυτό, διαιρούσαν η συνολική διατομή των αγωγών ως προς την διατομή της *quinarua* και στην συνέχεια, το αποτέλεσμα αυτής της διαίρεσης πολλαπλασιαζόταν με την παροχή της (Γουλιανού, 2020, pp.100-102).

Πίνακας 2.5 Πρότυπα διαστάσεων σωλήνων **Πηγή:** (Γουλιανού, 2020, Πίνακας Α.1, pp.100,101)

Σωλήνας	Όνομα	Διάμετρος (digits)	Περιφέρεια (digits)	Χωρητικότητα <i>quinarua</i>	Διάμετρος (cm)	Εμβαδό (cm ²)	Εμβαδό σε όρους <i>quinarua</i>	Q (L/s)	v (m/s)
5 <i>ripe</i>	<i>quinarua</i>	1,25	3,93	1	2,31	4,2	1	0,48	1,144
6 <i>ripe</i>		1,5	4,72	1,79	2,78	6,05	1,44	0,69	1,144
10 <i>ripe</i>	<i>denaria</i>	2,5	7,86	4	4,63	16,8	4	1,92	1,144
12 <i>ripe</i>		3,06	9,43	6	5,67	25,2	6	2,88	1,144
15 <i>ripe</i>	<i>quinum denum</i>	3,75	11,99	9	6,94	37,8	9	4,32	1,144
40 <i>ripe</i>	<i>quadragenaria</i>	7,14	22,42	32,58	13,2	136,83	32,59	15,65	1,144
100 <i>ripe</i>	<i>centenaria</i>	11,28	35,46	81,45	20,87	342,03	81,45	39,12	1,144
120 <i>ripe</i>		12,35	38,83	163,92	22,86	410	98	46,92	1,144
>120 <i>ripe</i>		16			29,6	688,005	163,84	78,7	1,144

Στην πραγματικότητα, από την καμπύλωση των φύλλων μολύβδου, προέκυπτε ελλειπτική διατομή, σαν σχήμα αχλαδιού, και όχι κυκλική διατομή. Χαρακτηριστικές οι διατομές που φαίνονται παρακάτω, στην Εικόνα 2.24. Γι' αυτό και τα κομμάτια των αγωγών που περιλαμβάνονται σ' αυτήν την ενότητα, αναφέρονται και με τις δύο διαμέτρους τους (π.χ. 95 x

125 mm). Στους υπολογισμούς που δίνονται παρακάτω, σαν ακτίνα σωλήνα, χρησιμοποιείται η ισοδύναμη κυκλική ακτίνα. Δηλαδή η ακτίνα για την οποία μια κυκλική διατομή θα είχε το ίδιο εμβαδόν με την εκάστοτε ελλειπτική διατομή. Έτσι μπορούν οι διατομές να αντιστοιχηθούν με τις πρότυπες ρωμαϊκές.



Εικόνα 2.24 Μολύβδινοι αγωγοί στην Πομπηία. **Πηγή:** (Olsson, 2015, p.87, Figure 5.1) μετά από επέμβαση.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΠΑΡΟΧΩΝ

Έδη έχει δοθεί σ' αυτήν την ενότητα, μια συνολική εικόνα σε σχέση με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του δικτύου διανομής της Πομπηίας. Έχουν δοθεί δηλαδή, τα βασικά του σημεία και ο τρόπος με τον οποίο συνδέονταν μεταξύ τους. Χρειάζεται ωστόσο, να συμπληρωθούν κάποιες ποσοτικές εκτιμήσεις, οι οποίες είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν, με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα. Σε κάθε περίπτωση, οι μετρήσεις είναι ενδεικτικές, με απώτερο σκοπό να προσδιοριστεί η κατανάλωση του νερού κάποιων παραληπτών. Έχουν γίνει αρκετές απλοποιήσεις, δεδομένου ότι δεν χρησιμοποιούνται οι ακριβείς διαστάσεις και αποστάσεις. Έτσι χρησιμοποιώντας τις παρακάτω εξισώσεις, (2.1)-(2.4), και με την παραδοχή των υπό πίεση, πλήρως τραχέων σωλήνων, έχουν υπολογιστεί σε κάποιες περιπτώσεις οι

παροχές. Πιο συγκεκριμένα, έχουν προσδιοριστεί οι παροχές για τους σωλήνες, των οποίων έχουν βρεθεί υπολείμματα. Με βάση αυτές, έχουν εκτιμηθεί οι παροχές των σωλήνων που συνέδεαν τους υδατόπυργους.

Η σχέση (2.1) προκύπτει από την εξίσωση της ενέργειας, για ένα σύστημα που μεταφέρει νερό από δεξαμενή μέσω σωλήνα και ο σωλήνας εκρέει στην ατμόσφαιρα. Ο συντελεστής τριβής f , υπολογίστηκε μέσω της (2.2), πρόκειται για την εξίσωση Haaland (1983), και της (2.3) (Στάμου, 2012, p. 69), που εφαρμόζεται σε πλήρως τραχεία περιοχή. Ελέγχθηκε έτσι, ότι τα αποτελέσματα τους είναι συγκρίσιμα. Τελικά, για τον υπολογισμό της ταχύτητας V , χρησιμοποιήθηκε στην (2.1) ο συντελεστής f που προκύπτει από την (2.3).

$$V(f) = \sqrt{(2 * g * \Delta z) / (f * \frac{L}{D} + 1 + K_{tot})} \quad (2.1)$$

$$f(ks/D, Re) = \left(-1.8 * \log \left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{ks}{3.7} \right)^{1.11} \right) \right)^{-2} \quad (2.2)$$

$$f(ks/D) = \left(-2 * \log \left(\frac{ks/D}{3.7} \right) \right)^{-2} \quad (2.3)$$

$$Q = V * A \quad (2.4)$$

Κατά την επίλυση των εξισώσεων (2.1) έως (2.3), έχει γίνει η παραδοχή της ενιαίας διατομής (D) του σωλήνα. Επιπλέον έχουν ληφθεί υπόψιν οι τοπικές απώλειες στην είσοδο και τις γωνίες των σωλήνων, με συνολικό άθροισμα συντελεστών, $K_{tot} = 1$. Όσον αφορά το μήκος L της (2.1), αναφέρεται στο συνολικό μήκος από την μια δεξαμενή, μέχρι την εκροή του νερού στην επόμενη. Επειδή δεν είναι δυνατό να εισαχθεί το πραγματικό μήκος L , καθώς κανένας από τους αγωγούς, δεν έχει βρεθεί με ολόκληρο το μήκος του, απλοποιητικά τα μήκη υπολογίστηκαν με βάση την σχέση:

$$L(i, ii) = \text{ύψος κτιρίου}(i) + \text{υψομετρική διαφορά βάσης κτιρίων}(i, ii) + \text{μήκος απόστασης κτιρίων}(i, ii) + \text{ύψος κτιρίου}(ii) + \text{ύψος δεξαμενής του}(ii) \quad (2.5)$$

Τα στοιχεία που εισάχθηκαν στην σχέση (2.5) για την εύρεση των L , είναι συγκεντρωμένα παρακάτω, στους Πίνακες 2.6, 2.7.

Πίνακας 2.6 Τα υψόμετρα των υδατόπυργων του ανατολικού κλάδου. Πηγή: (Olsson, 2015, p. 97)

Υδατόπυργος	Υψος κτιρίου (m)	Υψόμ. Βάσης (m)
1	5,67	34,9
2	5,34	32,4
3	4,96	29,2
4	5,15	24,9
5	2,53	25,8
6	2,43	22,9
14	4,77	30,3
Stabian	2,6	26,8

Πίνακας 2.7 Οι αποστάσεις μεταξύ των υδατόπυργων του ανατολικού κλάδου. Πηγή: (Olsson, 2015, p. 98)

Από	Σε	Απόσταση (m)
Castellum		1 140
1		2 90
2		3 140
3		4 130
4		5 130
5		6 240
1		14 350
3	Stabian (μέσο πρόσοψ.)	99,97
4	Stabian (γυν. Είσοδ.)	43,36

Η επίλυση των εξισώσεων έγινε μέσω μιας ρουτίνας που κατασκευάστηκε στο Excel. Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 2.25, στο πάνω μέρος βρίσκονται τα δεδομένα που εισάγονταν, και στο κάτω μέρος τα μεγέθη που υπολογίζονταν.

MODEL									
z_1 (m)	43	f_1	Re	f_2	V(m/s)	$Q(m^3/s)$	Q(lt/s)	Q(m ³ /hr)	Q(m ³ /day)
z_2 (m)	42	0,0272197	274760,7	0,0276760	1,090	0,07	71,97	259	6218
k_s (mm)	1	0,0276760	272758,3	0,0276789	1,082	0,07	71,44	257	6173
D(m)	0,29	0,0276789	272745,7	0,0276789	1,082	0,07	71,44	257	6172
L(m)	154,77	0,0276789	272745,6	0,0276789	1,082	0,07	71,44	257	6172
K_tot	1	0,0276789	272745,6	0,0276789	1,082	0,07	71,44	257	6172
Δz (m)	1	0,0276789	272745,6	0,0276789	1,082	0,07	71,44	257	6172
k_s/D	0,003	0,0276789	272745,6	0,0276789	1,082	0,07	71,44	257	6172
A (m ²)	0,066								
V(m/s)	1,082								
Q(m ³ /s)	0,071								
Q(lt/s)	71,4								
Q(m ³ /hr)	257								
Q(m ³ /day)	6172								

Εικόνα 2.25 Το μοντέλο που κατασκευάστηκε στο Excel, για τον υπολογισμό των παροχών.

Σχετικά με τα δεδομένα που οριοθετούν το πλαίσιο εντός του οποίου πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί, αρχικά δεν είναι γνωστή η ποσότητα νερού που έφτανε στην πόλη από το Υδραγωγείο του Serino. Ωστόσο, η διατομή εισόδου στο Castellum είναι ελλειπτική με διαμέτρους 0.25 και 0.30 m. Με ταχύτητα ροής 1 m/s, προκύπτει παροχή εισόδου 75 L/s (Eschebach, 1983). Η τιμή της ταχύτητας που εκλέχθηκε είναι αρκετά κοντά στην ταχύτητα 1,144 m/s με την οποία έχει υπολογίσει ο Frontinus την παροχή της *quinaría* (Πίνακας 2.5). Επίσης όπως προέκυψε και από τους υπολογισμούς, στις περισσότερες περιπτώσεις, η ταχύτητα ροής είναι κοντά στο 1 m/s. Επομένως πρόκειται για μια λογική τιμή της ταχύτητας κατά τον σχεδιασμό των ρωμαϊκών υδραγωγείων. Ταυτόχρονα θεωρείται δεδομένο ότι το εξωτερικό υδραγωγείο τροφοδοτούσε διαρκώς εντός της ημέρας την πόλη

Με βάση το ισοζύγιο των παροχών εισόδου – εξόδου, η συνολική παροχή των τριών κύριων αγωγών που ξεκινούσαν από το Castellum για να τροφοδοτήσουν την πόλη, ισούται πάντοτε με την παροχή 75 L/s, από το υδραγωγείο. Ωστόσο, ενδέχεται μες στην μέρα, καθεμιά από τις τρεις παροχές να μεταβαλλόταν.

Με βάση ένα κομμάτι σωλήνα που βρέθηκε, το νερό μεταφερόταν από το Castellum στον υδατόπυργο 1, με ελλειπτικό σωλήνα, διαμέτρων 16.8 και 22 cm (Ohlig, 1996). Από αυτή την διατομή, για την υψομετρική διαφορά της μεσαίας οπής με την ανώτερη στάθμη της δεξαμενής του υδατόπυργου 1, και την απόσταση που έχουν, η παροχή προκύπτει 15 L/s (Πίνακας 2.8). Δηλαδή το 1/5 της συνολικής παροχής. Αυτό δεν μπορεί να ευσταθεί, δεδομένου ότι πρόκειται για τον μεγαλύτερο αγωγό, που με βάση τον Πίνακα 2.4, κάλυπτε την μεγαλύτερη υδατική ανάγκη. Επομένως το εύρημα δεν ταιριάζει στον εν λόγω αγωγό.

Κατόπιν, για να υπολογίσω την παροχή από το Castellum στον υδατόπυργο 1, χρησιμοποίησα την ισοδύναμη κυκλική διάμετρο των 26 cm. Πρόκειται για μια τιμή που βρίσκεται ανάμεσα στις δύο μεγαλύτερες διαμέτρους, των πρότυπων ρωμαϊκών σωλήνων, του Πίνακα 2.5. Η παροχή που προκύπτει είναι 34 L/s, σχεδόν η μισή από την συνολική παροχή. Η ταχύτητα της ροής, είναι αρκετά μικρή, 0,64 m/s, εξαιτίας της πολύ μικρής υψομετρικής διαφοράς. Ωστόσο είναι επιτρεπτή. Η υπόλοιπη παροχή, θα μπορούσε να ισομοιράζεται στον κεντρικό και δυτικό κλάδο, δεδομένου ότι οι δύο οπές εκατέρωθεν της κεντρικής είχαν ίδια διατομή.

Τα άλλα τρία σημαντικά ευρήματα που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς, είναι οι τρεις σωλήνες εντός των *Stabian baths*. Οι δύο όμοιοι παράλληλοι ελλειπτικοί σωλήνες (95 και 125 mm), χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς με την διάμετρο της ισοδύναμης κυκλικής διατομής, 0.109 m. Η παροχή που του αντιστοιχεί είναι 10 L/s. Αρκετά μικρή, δεδομένου ότι ακολουθούν άλλοι 4 υδατόπυργοι. Επομένως χρησιμοποιούνταν και οι δύο παράλληλοι σωλήνες για την μεταφορά νερού από τον υδατόπυργο 3 στον 4, με συνολική παροχή 20 L/s. Ο μικρότερος αγωγός, διαμέτρων 75 και 105 mm, που βρισκόταν στην είσοδο των γυναικείων δωματίων, αντικαταστάθηκε στους υπολογισμούς από την ισοδύναμη κυκλική διάμετρο των

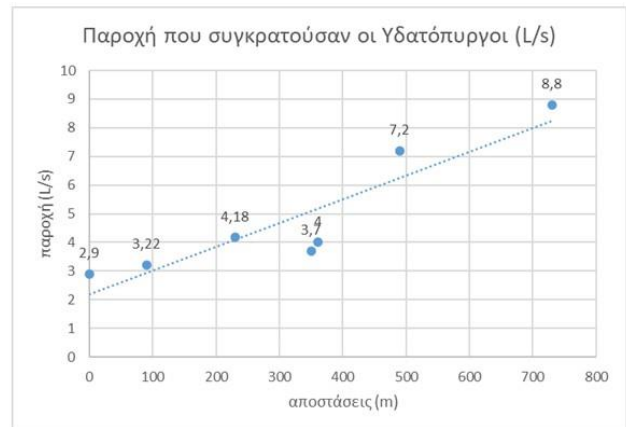
0,088 m. Αν ο αγωγός αυτός συνέδεε τον υδατόπυργο 3 με τα λουτρά, τότε τα λουτρά θα τροφοδοτούνταν με 8 L/s, το οποίο είναι άτοπο. Ωστόσο, είναι λογικό ο σωλήνας αυτός να συνέδεε τα λουτρά με τον υδατόπυργο 4, ο οποίος θα τα τροφοδοτούσε με 3,1 L/s. Αυτή η τιμή είναι λογική, δεδομένου ότι πρόκειται για μεγάλο συγκρότημα λουτρών. Η ημερήσια παροχή ανέρχεται στα 271000 L, περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερη από την χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης (62000 L). Όλες οι παραπάνω, παροχές που υπολογίστηκαν, είναι συγκεντρωμένες στον Πίνακα 2.8.

Πίνακας 2.8 Οι παροχές των σωλήνων του ανατολικού κλάδου.

Από	Σε	ΔΖ (m)	L (m)	D (m)	πλησιέστερος ρωμαϊκός	Q (L/s)	Q (L/d)
Castellum	1	0,4	154,77	0,19	centenaria	15	1298324
Castellum	1	0,4	154,77	0,26	>120 pipe	33,98	2934834
3	4	3,1	145,41	0,109	quandragenaria	10,09	872050
3	Stabian	4,4	97,99	0,088	quinum denum	8,27	714196
4	Stabian	0,3	43,36	0,088	quinum denum	3,1	271000
1	2	1,9	104,51	0,165	quandragenaria-centenaria	27,4	2367000
2	3	3,5	154,5	0,15	quandragenaria-centenaria	24,18	2089230
4	5	1,4	139,58	0,15	quandragenaria-centenaria	16	1382237
5	6	2,4	248,86	0,12	quandragenaria	8,8	760665
1	14	5,3	366,04	0,08	quinum denum	3,7	317922

Εν κατακλείδι, οι σωλήνες που επιλέχτηκαν για να συνδέσουν τους υδατόπυργους, είναι τέτοιοι ώστε, ο κλάδος να δέχεται αρχικά παροχή 34 L/s και μέχρι τον 4ο υδατόπυργο να φτάνουν 20 L/s. Έτσι, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.26 παρακάτω, προκύπτει ότι κάθε υδατόπυργος συγκρατεί κατά μέσο όρο παροχή 4.9 L/s, για να τη διοχετεύσει στους παραλήπτες του. Εντούτοις, από τον πρώτο μέχρι τον τελευταίο υδατόπυργο του κλάδου, η παροχή που συγκρατείται, αυξάνεται. Ειδικά για τον 5^ο και 6^ο υδατόπυργο, απομακρύνονται αρκετά, από τις υπόλοιπες τιμές του διαγράμματος (Εικόνα 2.26). Είναι λογικό εκ πρώτης όψews, ο 6^{ος} να συγκρατεί μεγαλύτερη παροχή από το μέσο όρο, καθώς έχει να εξυπηρετήσει μεγαλύτερη περιοχή. Πιο συγκεκριμένα απέχει, σχεδόν την διπλάσια απόσταση από τον προηγούμενο του, σε σχέση με τους υπόλοιπους. Παρόλαυτα, δεν αποτελεί την γενική εξήγηση στο ότι η παροχή που συγκρατείται από τους υδατόπυργους, αυξάνεται μέσα στον κλάδο. Ωστόσο, είναι αρκετά απλοποιητικές οι παραδοχές που έχουν πραγματοποιηθεί, για τον υπολογισμό των παροχών, ώστε να είναι ασφαλής η εξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων.

Υδατόπυργος	παροχή (L/s)
1	2,9
14	3,7
2	3,2
3	4,2
4	4
5	7,2
6	8,8
	μέσος όρος
	4,9 L/s



Ανατολικός κλάδος

Εικόνα 2.26 Η παροχή που συγκροτούνταν από κάθε υδατόπυργο , με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 2.8

Για να προσδιοριστεί το ύψος της παροχής που δέχονταν ένας παραλήπτης συνδεδεμένος με υδατόπυργο του κλάδου, επιλέχτηκαν ενδεικτικά τρεις. Από τους πρότυπους ρωμαϊκούς σωλήνες, χρησιμοποιήθηκε αυτός με την μικρότερη διάμετρο, δηλαδή η quinaria. Κατόπιν δοκιμών, υπολογίστηκε το ύψος της παροχής που θα μπορούσαν να διοχετεύουν σε κάποιον παραλήπτη, σε αποστάσεις εντός του διαστήματος [30,60] m με βήμα των 10 m. Απαραίτητη προϋπόθεση, η ταχύτητα που συνεπάγεται η εκάστοτε παροχή, να μην είναι μικρότερη των 0.6 m/s. Η τελευταία, ορίζεται ως ελάχιστη ταχύτητα εντός ενός επενδυμένου αγωγού, ώστε να μην καθιζάνουν τα φερτά υλικά, που μεταφέρονται με τη ροή (Γουλιανού, 2020). Παρακάτω, στον Πίνακα 2.9, δίνονται οι παροχές που προέκυψαν.

Πίνακας 2.9 Δοκιμές για τον προσδιορισμό του ύψους της παροχής από τους υδατόπυργους στους παραλήπτες.

από	πυθμ. δεξ.(m)	βάση κτιρίου(m)	απόσταση (m)	D (m)	Q (L/s)	V (m/s)
2	+38,7	+32,4	30	quinaria	0,45	1,1
			40	quinaria	0,4	0,96
			50	quinaria	0,36	0,87
			60	quinaria	0,3	0,8
6	+25,9	+22,9	30	quinaria	0,32	0,77
			40	quinaria	0,28	0,67
			50	quinaria	0,25	0,6
14	+35,7	+30,3	30	quinaria	0,42	1
			40	quinaria	0,37	0,88
			50	quinaria	0,33	0,8
			60	quinaria	0,31	0,73

Οι παροχές που προέκυψαν κυμαίνονται μεταξύ [0.25, 0.45] L/s. Ακόμη και το κατώφλι του παραπάνω διαστήματος, αντιστοιχεί σε 21600 L ημερησίως. Η τιμή αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη ακόμη και από την σημερινή κατανάλωση ενός νοικοκυριού. Σχεδόν σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες του κόσμου, η ημερήσια ατομική κατανάλωση, δεν ξεπερνά τα 500 L (Γουλιανού, 2020, p.7). Αν θεωρηθεί ότι ένα νοικοκυριό αποτελείται κατά μέσο όρο από τέσσερα άτομα, η ημερήσια κατανάλωση που προκύπτει είναι 2000 L, υποδεκαπλάσια δηλαδή από την παραπάνω τιμή. Έτσι, είτε οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν σωλήνες μικρότερου μεγέθους κι από την quinaria ή η παροχή αυτή μεταφέρονταν μέχρι μια γειτονιά και κατόπιν η quinaria διακλαδίζονταν σε μικρότερους σωλήνες για να φτάσει στους παραλήπτες.

Με τροφοδοσία από το εξωτερικό υδραγωγείο, 75 L/s, ο ημερήσιος όγκος νερού που κατανάλωνε η Πομπηία, ανέρχεται στα 6.480.000 L. Ο εκτιμώμενος πληθυσμός της πόλης είναι 20000-30000 κάτοικοι (Wikipedia, 2008), επομένως η ατομική ημερήσια κατανάλωση, κυμαίνεται μεταξύ 216-324 L. Στα ίδια επίπεδα δηλαδή με την κατανάλωση στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες του σύγχρονου κόσμου (μεταξύ αυτών και η Ελλάδα). Εν κατακλείδι, η αφθονία στην διαθεσιμότητα του νερού στην αρχαία πόλη της Πομπηίας, υπογραμμίζει την αίγλη της.

3. Εσωτερικό δίκτυο Διανομής της Ρωμαϊκής Αθήνας

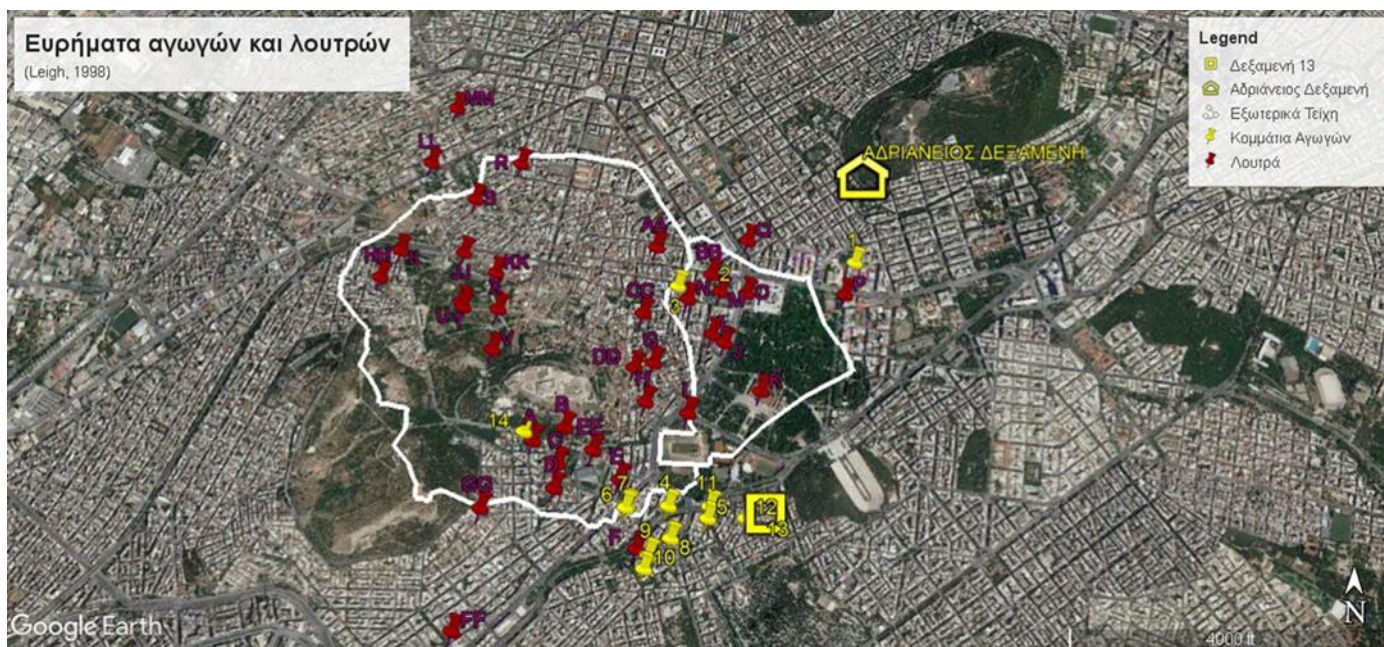
Απαραίτητη προϋπόθεση για την μελέτη και την εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με τα έργα μιας αρχαίας πόλης, είναι η ανάλυση των στοιχείων που δίνουν τα ευρήματα των ανασκαφών. Αυτό αποδείχτηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, με την περίπτωση του δικτύου διανομής της Πομπηίας. Στην περίπτωση της ρωμαϊκής Αθήνας, τα ευρήματα περιλαμβάνουν τμήματα αγωγών, δεξαμενών και λουτρά. Από τις διευθύνσεις των υδραυλικών έργων που βρέθηκαν, και αναγράφονταν στα Αρχαιολογικά Δελτία, δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων στο Google Earth. Η δημιουργία της ήταν απαραίτητη, αφού το εν λόγω έργο δεν είναι καθόλου μελετημένο. Από την τοποθέτηση των ευρημάτων στον χάρτη της Αθήνας, αλλά και από τα ίδια τα χαρακτηριστικά τους, προκύπτουν ήδη απ' αυτό το κεφάλαιο κάποια πρώτα συμπεράσματα για την υδραυλική του δικτύου.

3.1 Υπολείμματα αγωγών

Η σύγχρονη πόλη της Αθήνας είναι χτισμένη πάνω από την αρχαία πόλη των κλασικών και ρωμαϊκών χρόνων. Η πραγματικότητα αυτή, αποτελεί τροχοπέδη για τις ανασκαφές. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν έχει διαμορφωθεί ακόμη, μια ολοκληρωμένη εικόνα για πολλά από τα αρχαία έργα, συμπεριλαμβανομένων και των υδραυλικών. Έτσι, με τις υπάρχουσες ενδείξεις, όπως θα αποδειχτεί παρακάτω, δεν είναι δυνατό να γνωρίζουμε την λειτουργία του δικτύου διανομής της πόλης, στον ίδιο βαθμό όπως της Πομπηίας.

Στο παρελθόν είχε διατυπωθεί η υπόθεση ότι το δίκτυο διανομής της ρωμαϊκής Αθήνας αποτελούταν από μολύβδινους σωλήνες, με ροή υπό πίεση (Ziller, 1877, p.120). Η αφορμή γι' αυτήν ήταν ένα κομμάτι μολύβδινου αγωγού που βρέθηκε μέσα στην πόλη. Πιθανόν ο αγωγός αυτός απλά να συνδεόταν με κάποια βρύση. Τα προηγούμενα υδραγωγεία της Αθήνας (π.χ το Πεισιστράτειο) διέθεταν κλειστούς αγωγούς, εντός των οποίων η ροή πραγματοποιούνταν με ελεύθερη επιφάνεια. Πρόκειται για αγωγούς λιθόκτιστους. Αν και πριν τα ελληνιστικά χρόνια, δεν υπήρχε ροή υπό πίεση, άρα και μολύβδινοι αγωγοί, μπορεί αυτή να εξακολούθησε να μην αποτελεί την καλύτερη λύση για την Αθήνα. Όπως θα αναφερθεί πιο αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο, το λοφώδες ανάγλυφο της Αθήνας, πιθανό να διευκόλυνε αρκετά την βαρυτική ροή, και να μην χρειάστηκε οι τότε μηχανικοί να καταφύγουν σε άλλη λύση.

Στο Σχήμα 3.1 παρακάτω, φαίνονται τα περισσότερα από τα αρχαιολογικά ευρήματα που παρουσιάζονται σ' αυτό το κεφάλαιο. Πρόκειται για 37 λουτρά, 13 κομμάτια αγωγών και μία δεξαμενή. Δεν παρατίθεται από την αρχή, το σύνολο των υδραυλικών έργων που έχουν βρεθεί. Χωρίζονται σε δύο μέρη, επειδή έχουν ξεχωριστά κύρια γνωρίσματα.



Σχήμα 3.1 Υπολείμματα του Εσωτερικού Δικτύου Διανομής της Ρωμαϊκής Αθήνας, σύμφωνα με την). Με κίτρινες πινέζες (1-14) συμβολίζονται τα κομμάτια των αγωγών και με κόκκινες τα λουτρά (Α- ΜΜ). Διαμορφώθηκε στο Google Earth. **Πηγή:** Leigh (1998).

Στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί, αναγράφονται οι διαστάσεις και ο προσανατολισμός που αντιστοιχεί, σε κάθε κομμάτι αγωγού, του Σχήματος 3.1. Αυτά ανήκουν σε δύο χρονικές περιόδους. Από την μία τα κομμάτια “Early Roman” ή “Hadrianic” που αντιστοιχούν στο διάστημα 117 μ.Χ – 267 μ.Χ, δηλαδή από την αρχή της αυτοκρατορίας του Αδριανού μέχρι την επίθεση των Ερούλων. Και από την άλλη τα “Late Roman” κομμάτια, που χρονολογούνται μετά την επίθεση των Ερούλων. Αυτή η κατηγοριοποίηση καθίσταται αναγκαία από το γεγονός ότι, ύστερα από την λεηλασία, ένα μέρος των υδραυλικών έργων ανακατασκευάστηκε ή επιδιορθώθηκε για να ξαναχρησιμοποιηθεί. Με αυτό τον τρόπο, λαμβάνεται υπόψιν αυτή η

αναδιαμόρφωση (Leigh, 1998, p.152). Ο χαρακτηρισμός, ανάλογα με την χρονική περίοδο, δίνεται επίσης στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1 Τα χαρακτηριστικά των τμημάτων των αγωγών του Σχήματος 3.1. Πηγή: Leigh (1998, pp. 180-186).

No	Διασ. Μήκος (m)	Πάχος (εσ./εξ.) (m)	Υψος (εσ./εξ.) (m)	Πάχος τοιχωμ. (m)	Κλίση	Χρον. Περ.
1	15,5 & 6	2,05/1	1-1,05	0,55-0,6	B→N	Hadrianic
2	-	-	-	-	BA→NΔ	Late Roman
3	-	0,85	1	-	ξεκίναγε BA	-
4	45	2,15/1,05	1,7	-	A→Δ	Hadrianic
5	17,5	-/1,10	2,5/1,5	-	A→Δ	Hadrianic(3ος αι)
6	15	2	1,5	0,45	A→Δ	Hadrianic(3ος αι)
7	5,85	-/1	1,5	-	A→Δ	
8	11,8	0,6	-	-	A→Δ	Late Roman
9	7	-/1	-/1,5	-	B→N	-
10	10,3	1,05	1,55	-	B→N	-
11	8,1	0,5	1,32	-	NΔ→BA	-
12	19,3	0,45	-	-	B→N	-
13 (ΔΕΞΑΜΕΝΗ)	-	-	-	-	-	Hadrianic
14	8,5	-	-	-	BA→NΔ	Early Roman

Στον Πίνακα 3.2 παρακάτω, περιγράφεται η μορφή των κομμάτων αυτών, με βάση τους ανασκαφείς. Πρόκειται για αγωγούς λιθόκτιστους και θολωτούς. Επομένως προδιαγράφουν, ροή σε κλειστή διατομή, με ελεύθερη επιφάνεια. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σ' αυτά τα κομμάτια, είναι μάλλον τα παραδοσιακά οικοδομικά υλικά της περιοχής. Όπως αναλύεται και παρακάτω, η ρωμαϊκή τοιχοποιία βασίζεται σε διαφορετικές πρώτες ύλες. Αυτό δείχνει ότι οι χτίστες ήταν ντόπιοι, που χρησιμοποίησαν σ' αυτές τις περιπτώσεις τις δικές τους τεχνικές.

Σχετικά με τις διαστάσεις τους, οι αγωγοί 8,11 και 12 έχουν εξωτερικό πάχος, που δεν ξεπερνά τα 0.6 m. Αντίθετα, όλοι οι υπόλοιποι αγωγοί, για τους οποίους υπάρχει αυτή η πληροφορία, έχουν εσωτερικό πλάτος γύρω στο 1 m. Επομένως, πρόκειται για αγωγούς διαφορετικών παροχών που θα εξυπηρετούσαν διαφορετικούς παραλήπτες. Σε κάθε περίπτωση, οι παραπάνω αγωγοί μπορούν να χαρακτηριστούν ως ογκώδεις. Το μεγάλο πλάτος των περισσότερων, προδιαγράφει χαμηλό ύψος ροής, το οποίο υπολογίζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Από τα στοιχεία του Πίνακα 3.2, δεν μπορεί να προκύψει συμπέρασμα σχετικά με το αν το δίκτυο ήταν υπέργειο ή υπόγειο. Σχετική πληροφορία υπάρχει μόνο για τους αγωγούς 3 και 11. Απ' αυτούς, ο πρώτος είναι υπόγειος και ο δεύτερος κομμάτι στοάς. Πιθανόν, να υπήρχαν και οι δύο περιπτώσεις.

Πίνακας 3.2 Η περιγραφή που δόθηκε από τους ανασκαφείς, για τα ευρήματα που παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.1 και Πίνακα 3.1. Πηγή: Leigh (1998, pp. 180-186).

No	Περιγραφή
1	Θολωτός με πλακόστρωτο δάπεδο.
2	Περιλαμβάνει βάρθρα στοάς.Κοντά στην κοίτη του Ηριδανού.
3	Υπόγειος αγωγός από τοιχοποιία. (Μάλλον άνηκε στον κλάδο του Ηριδανού.)
4	Θολωτός με πλακόστρωτο δάπεδο.
5	Θολωτός.Τοίχι πέτρινοι με τσιμέντο.
6	Θολωτός.Τοίχι επιχρισμένοι με σοβά. Δάπεδο από πέτρα και γύψο.
7	Θολωτός με τοίχους από πέτρα και κάποιο συνδετικό υλικό.
8	Θολωτός. Φτιαγμένος από πέτρα, κεραμίδι και τσιμέντο. (Βρέθηκε με Late Roman τάφους.)
9	Θολωτός με πέτρινους τοίχους.
10	Από πέτρα, γύψο και πλίνθους. Το δάπεδο φτιαγμένο από βότσαλα.
11	Τοξωτή στοά. Βρέθηκε 0.43 m κάτω από το έδαφος.
12	Θολωτός αγωγός με πέτρα και ασβεστοκονίαμα. (Με επτά ανοίγματα. Καλύπτονταν από παρακείμενη δεξαμενή. Μάλλον για δοκάρια)
13 (ΔΕΞ.)	Με εσωτερική επένδυση από υδραυλικό τσιμέντο.
14	Θολωτός. Θόλος από πλινθοδομή, τοίχι από πλινθοδομή και τσιμέντο. (Θεωρήθηκε αγωγός απορροής- αποχέτευσης.)

Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζονται άλλα 13 κομμάτια αγωγών και τέσσερις επιπλέον δεξαμενές. Οι αγωγοί αυτοί δεν είναι χτισμένοι όμοια με αυτούς του Σχήματος 3.1. Ακολουθούν την τεχνική της ρωμαϊκής τοιχοποιίας. Και πάλι δηλαδή, πρόκειται για αγωγούς που προδιαγράφουν ροή σε κλειστή διατομή, με ελεύθερη επιφάνεια. Τα κομμάτια με την ένδειξη Η, είναι θολωτοί αγωγοί από τοιχοποιία, όπου ο θόλος είναι διαμορφωμένος από τρία καμπυλωμένα τούβλα, τοποθετημένα έτσι ώστε να σχηματίζουν καμπύλη. Έτσι ήταν κατασκευασμένα κάποια τμήματα της σήραγγας του Αδριανού, όπως αυτό της Εικόνας 3.2, στην παρακάτω ενότητα. Τα τοιχώματα τους είναι κατασκευασμένα είτε την με τεχνική opus latericium, όπως στο κομμάτι Η2, είτε με την τεχνική opus mixtum, όπως το κομμάτι Η5. Στις μεθόδους αυτές, θα αναφερθώ στην παρακάτω Ενότητα. Σε κάποιους από τους αγωγούς αυτούς, βρέθηκαν πηγάδια (Η3, Η1, Η2) (Chiotis, 2018).



Σχήμα 3.2 Ευρήματα αγωγών και δεξαμενών. Με Η συμβολίζονται τα κομμάτια του πρωτεύοντα κλάδο, και με C του δευτερεύοντα. Διαμορφώθηκε στο Google Earth. **Πηγή:** (Chiotis 2018, p.81, Figure 6a).

Όσον αφορά τα κομμάτια με την ένδειξη C, έχουν τα εξής χαρακτηριστικά: είναι ογκώδης θολωτοί αγωγοί, με τοίχους κατασκευασμένους από ρωμαϊκό σκυρόδεμα, με πάχος 0.50 m και επιχρισμένους από την εσωτερική πλευρά. Πολλών το δάπεδο ήταν πλακόστρωτο. Η κατασκευή τους χρονολογείται κυρίως τον 2ο αιώνα μ.Χ. και έχουν εγκαταλειφθεί περίπου τον 4ο αιώνα μ.Χ. Χαρακτηριστικός αγωγός αυτού του κλάδου, ο C1, με τοίχους πάχους 0.55-0.6 m και εξωτερικό πλάτος 2.05 m. Παρόμοιο πλάτος έχει και ο C3, 2.10 m, και ύψος 2.15- 2.25 m. Είναι φτιαγμένοι από πέτρα και τσιμέντο (Chiotis, 2018, pp. 82-83).

Τα κομμάτια με την ένδειξη Η, αποτελούν τμήματα του πρωτεύοντα κλάδου του δικτύου και τα C του δευτερεύοντα. Τα πρώτα συνδέονταν κατευθείαν με το castellum του Λυκαβηττού και τα δεύτερα τροφοδοτούνταν από τα πρώτα. Αν και οι παροχές των C ήταν πολύ μικρότερες των Η, θα ήταν εύλογο ο δευτερεύων κλάδος του δικτύου να αποτελείται από πήλινους σωλήνες και όχι από τοιχοποιία. Για να αποφευχτούν έτσι οι ογκώδεις κατασκευές. Ωστόσο το πλήθος των κεραμικών που βρέθηκαν από τις ανασκαφές, υποδηλώνει ότι το νερό έφτανε τελικά στους παραλήπτες από έναν τριτεύον κλάδο κεραμικών αγωγών. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για αγωγούς ελλειπτικής μορφής ή μορφής αντίστροφου Π. Ένας τέτοιος αγωγός, βρέθηκε ότι τροφοδοτούσε ένα από τα δύο λουτρά που βρίσκονται στην τοποθεσία της σημερινής Ρωσικής Εκκλησίας (Tranlios, 1971, p.181). Επιπρόσθετα κατά μήκος του αγωγού C1, έχει βρεθεί ότι συνδεόντουσαν έξι πήλινοι σωλήνες. Ο τριτεύον κλάδος τροφοδοτούνταν με νερό από τις δεξαμενές, τις οποίες γέμιζε ο δευτερεύων κλάδος (Chiotis, 2018, p. 85). Πιθανόν ο δευτερεύων κλάδος να εξυπηρετούσε τις δημόσιες χρήσεις, όπως τα λουτρά, που χρειαζόνταν υψηλή παροχή νερού και ο τριτεύον κλάδος να εξυπηρετούσε τις ανάγκες για χαμηλότερες παροχές. Ο

δεύτερος κλάδος είτε τροφοδοτούνταν από δεξαμενές που γέμιζε με νερό ο πρωτεύον κλάδος ή ο τελευταίος διακλαδιζόνταν σε κάποια σημεία και μοίραζε την παροχή του στους αγωγούς C.

Το γεγονός ότι στο ίδιο έργο περιλαμβάνονται αγωγοί διαφορετικών υλικών και τεχνικών, ίσως να προκύπτει απλά από τα διαθέσιμα υλικά που υπήρχαν σε κάθε περίπτωση. Μπορεί επίσης να έχουν συνεργαστεί για την κατασκευή του δικτύου, Αθηναίοι και Ρωμαίοι τεχνίτες. Συνολικά τα υδραυλικά έργα του Αδριανείου μέσα στην πόλη, φαίνονται στο Σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3 Συγκεντρωμένα όλα τα ευρήματα στο Google Earth. Οι κίτρινες και πράσινες πινέζες είναι τα κομμάτια των αγωγών, οι κόκκινες των λουτρών και τα παραλληλόγραμμα των δεξαμενών. **Πηγή:** (Chiotis 2018, p.81, Figure 6a) & (Leigh,1998).

Στα Σχήματα 3.1, 3.2 φαίνεται βορειοανατολικά της πόλης, από την πλευρά της καινούργιας επέκτασης, το Castellum του Λυκαβηττού. Μελετάται εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο. Είχε

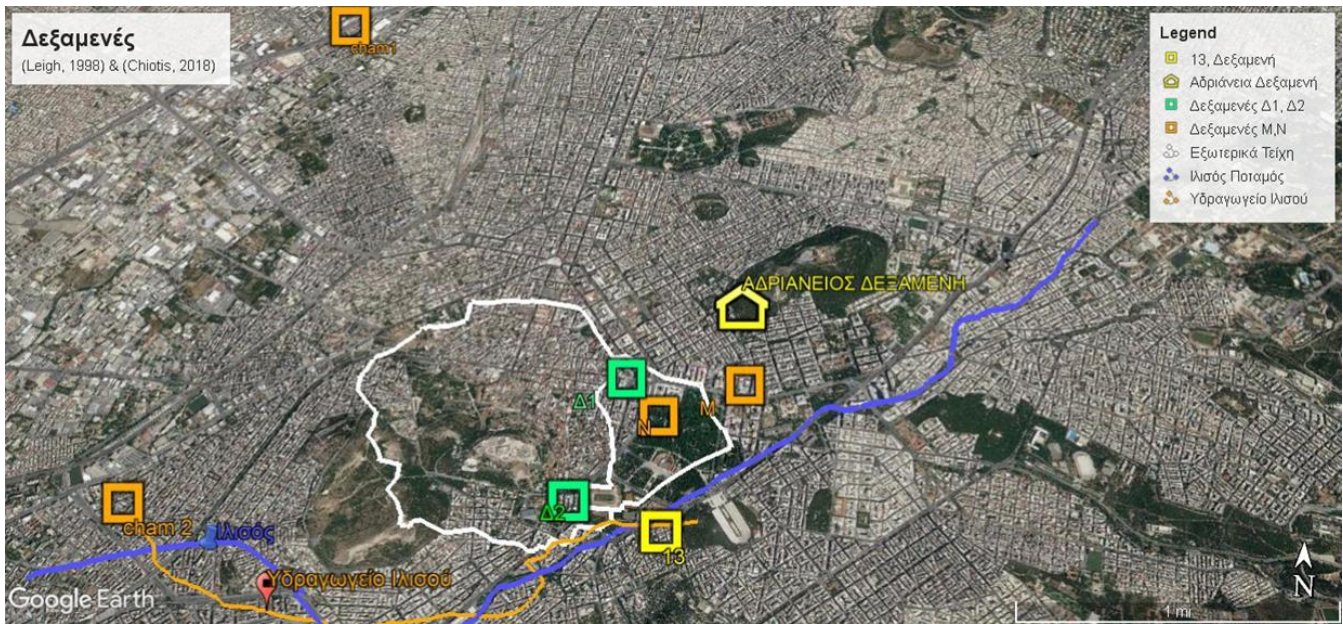
ακριβώς την ίδια λειτουργία με το Castellum στην Porta Vesuvio της Πομπηίας και αποτελούν βασικό χαρακτηριστικό των ρωμαϊκών υδραγωγείων. Πρόκειται για το όριο μεταξύ του εξωτερικού υδραγωγείου και του δικτύου διανομής της πόλης. Μοιράζουν την παροχή που λαμβάνουν από το εξωτερικό υδραγωγείο στους σωλήνες που θα το μεταφέρουν στην πόλη.

Επιπρόσθετα, έχει παρατηρηθεί σε πολλά σημεία, συνύπαρξη γραμμών, από δίκτυα διαφορετικών περιόδων. Αυτό δείχνει ότι γενικά οι κλάδοι των δικτύων αναπτύχθηκαν στις ίδιες διαδρομές καθ' όλη τη διάρκεια των αιώνων (Chiotis, 2018, p.83). Χαρακτηριστικό παράδειγμα ο αγωγός C8, ο οποίος βρέθηκε δίπλα σε έναν πλήινο αγωγό, ελλειπτικής μορφής, της ελληνιστικής περιόδου. Ο C8 βρέθηκε 3.4 m κάτω από τη γη, ενώ ο δεύτερος 4.9 m. Ήταν ενισχυμένος με καμπύλα κομμάτια από πηλό, που χρησιμοποιούνταν συνήθως για την επένδυση των πηγαδιών. Επιπλέον είχε ένα φρεάτιο αερισμού, διαμέτρου 0.90 m, το οποίο σε συνδυασμό με την ελλειπτική του μορφή, μοιάζει με τα ευρήματα του υδραγωγείου των "Αχαρνών". Θεωρείται ότι ο αγωγός αυτός αντικαθιστούσε τον κλάδο του Κίμωνα, του δίκτυο διανομής του Πεισιστράτειου. Αργότερα αντικαταστάθηκε από τη λειτουργία του C8, ο οποίος ήταν θολωτός, με ρωμαϊκό σκυρόδεμα και τοίχους πάχους 0.85 m και εσωτερικό ύψος 1.50 m.

Κάποια από τα πηγάδια της Αθήνας, τα πιο χρησιμοποιημένα, εξακολούθησαν να λειτουργούν ακόμη κι όταν χτίστηκε το Αδριάνειο. Ειδικά για την άντληση πόσιμου νερού (Chiotis, 2018, p. 83). Δεδομένου ότι το προηγούμενο υδραγωγείο, το Πεισιστράτειο, δεν σταμάτησε να λειτουργεί, η παροχή νερού για τους κατοίκους της Αθήνας, θα ήταν σε κάθε περίπτωση επαρκής.

Από τα παραπάνω δεδομένα φαίνεται, πως το εν λόγω δίκτυο είναι διαφορετικό από της Πομπηίας, που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στην Πομπηία, η διανομή πραγματοποιείται μέσω μολύβδινων σωλήνων με ροή υπό πίεση, ενώ χρησιμοποιούνται εκτενώς τα αντίστροφα σιφών για να ανέβει το νερό από το επίπεδο του δρόμου στις δεξαμενές, στην οροφή των υδατόπυργων. Λαμβάνοντας υπ' όψιν την ιστορική αναδρομή του 1^{ου} κεφαλαίου, στην Πομπηία χρησιμοποιήθηκε όλη η υδραυλική γνώση που αποκτήθηκε από τους ελληνιστικούς χρόνους. Από την άλλη, στην Αθήνα συναντάμε ογκώδεις αγωγούς τοιχοποιίας, με κλειστές διατομές, ελεύθερη επιφάνεια και βαρυτική ροή. Αυτή η επιλογή δεν σχετίζεται με τη διαθεσιμότητα των υλικών. Ο μόλυβδος υπήρχε σε αφθονία για τους Αθηναίους. Στη γειτονική περιοχή του Λαυρίου, πραγματοποιούνταν εξόρυξη αργυρού, βασικό υποπροϊόν του οποίου είναι ο μόλυβδος. Στην πραγματικότητα, η τοπογραφία της περιοχής είναι αυτή που διευκολύνει την βαρυτική ροή. Γι' αυτό και από τα προηγούμενα υδραγωγεία της περιοχής, χρησιμοποιούνταν πλήινοι αγωγοί (Leigh, 1998, p. 190).

Όσον αφορά τις δεξαμενές που έχουν βρεθεί, είναι επτά στο σύνολο τους. Απεικονίζονται όλες μαζί παρακάτω, στο Σχήμα 3.4. Οι διαστάσεις τους είναι συγκεντρωμένες στον Πίνακα 3.3 που ακολουθεί.



Σχήμα 3.4 Οι δεξαμενές της πόλης. Διαμορφώθηκε μέσω του Google Earth, με βάση τα στοιχεία του. Πηγή: (Chiotis 2018, p.84, Figure 7) και (Leigh, 1998, pp. 180- 186).

Πίνακας 3.3 Διαστάσεις Δεξαμενών Πηγή: (Chiotis, 2018, pp. 84-85).

ΔΕΞΑΜΕΝΗ	ΔΙΑΤΟΜΗ (m ²)	ΥΨΟΣ (m)
Δ1	-	-
Δ2	14.6 x 6	-
M	8 x 5.5	-
N	-	-
13	-	-
Cham1	22.5 x 28	3
Cham2	-	-

Η Δ1 του συντάγματος βρέθηκε 2.5 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και είναι πολύ κοντά στα κομμάτια του πρωτεύοντος κλάδου (H1,H2,H3) όπως φαίνεται παραπάνω, στο Σχήμα 3.1. Η Δ2 νοτιοδυτικά του Ναού του Ολυμπίου Διός και δίπλα στον C3, είχε διατομή 14.6 x 6 m. Πρόκειται για μεγάλη επιφάνεια. Ειδικά αν αναλογιστούμε ότι οι δεξαμενές των υδατόπυργων της Πομπηίας, ήταν περίπου τετραγωνικές, με πλευρά κοντά στο 1 m. Η δεξαμενή ήταν επενδεδυμένη εσωτερικά με υδραυλικό σοβά (γύψο).

Λίγο έξω από τα τείχη, κοντά στο Castellum, στην οδό Μουρούζη, βρέθηκε η δεξαμενή M, επιφάνειας 8 x 5.5 m. Συμπεριλαμβάνεται στα υδραυλικά έργα του Αδριάνειου, που χρησιμοποιήθηκαν αργότερα από τους Οθωμανούς. Λειτουργούσε σίγουρα την δεκαετία 1830-40. Τροφοδοτείτο με νερό από το υδραγωγείο Τσακουμάκου, και μέσω τριών σωλήνων που ήταν

συνδεδεμένοι με την δεξαμενή, το νερό μεταφερόταν στην πόλη. Βορειοανατολικά επίσης βρίσκεται και η δεξαμενή N, εντός του Εθνικού Κήπου (Chiotis, 2018, pp.84-85).

Επιπρόσθετα, έχουν καταγραφεί άλλες δύο δεξαμενές, εκτός των τειχών. Πρόκειται για τις Chamosterna 1 και 2 (Korres, 2010). Η πρώτη βρίσκεται στην Κολοκυνθού, διαστάσεων 22.5 x 28 x 3 m. Είναι χτισμένη με τον ίδιο τρόπο όπως οι γέφυρες του Περισσοῦ και της Φιλοθέης, ὅποτε ὅποιο υδραγωγείο περνούσε ἀπὸ αὐτὲς τὴν τροφοδοτούσε (Chiotis, 2018, p. 84). Δεν ἀνήκουν ὡστόσο στο Ἀδριάνειο, τὸ ὁποῖο εἶναι ἀποκλειστικὰ ὑπόγειο, καὶ μάλιστα ἡ σήραγγα τοῦ περνᾷ δίπλα ἀπὸ αὐτὲς. Εἶναι μεταγενέστερες καὶ πιθανόν κάποτε νὰ τροφοδοτούσαν βορειοδυτικὸ τμήμα τῆς πόλης

Ἡ Chamosterna 2, βρίσκεται πλησίον τῆς σημερινῆς Λεωφόρου τῆς Χαμοστέρνας. Τροφοδοτοῦταν ἀπὸ τὸ υδραγωγεῖο Καλλιρόης- Βουνού- Μακρῶν Τειχῶν, τὸ ὁποῖο βρίσκóταν στὴν κοίτη τοῦ Ἰλισσοῦ καὶ προηγείται τοῦ Ἀδριάνειου. Πιθανόν, ἡ δεξαμενὴ αὐτὴ νὰ ἦταν κόμβος στὴν μεταφορὰ νεροῦ ἀπὸ τὸν Ἰλισσοῦ στὸν Πειραιᾶ. Ἄλλωστε στὴν ἀρχαιότητα ὁ Πειραιᾶς τροφοδοτοῦταν με νερὸ ἀπὸ ἀγωγούς τῆς Ἀθῆνας. Τὸ νερὸ αὐτὸ δὲν ἦταν πόσιμο. ΓΙΑ τὸν σκοπὸ αὐτὸ χρησιμοποιοῦσαν τὰ πηγᾶδια (Leigh, 2001). Ἡ Chamosterna 2 ὡστόσο, ἀφοῦ συνδέεται με τὸ υδραγωγεῖο τοῦ Ἰλισσοῦ, πιθανὰ νὰ μὴν ἀποτελεῖ δεξαμενὴ ποῦ κατασκευάστηκε ἀπὸ τὸν Ἀδριανὸ ἀλλὰ νὰ συγκαταλέγεται στα παλαιότερα υδραυλικά ἔργα ποῦ ἐξακολούθησαν νὰ λειτουργοῦν παράλληλα με τὸ Ἀδριάνειο.

Στὸν Πίνακα 3.4 εἶναι συγκεντρωμένες ὅλες οἱ διευθύνσεις στὶς ὁποῖες βρέθηκαν, ερείπια σχετικά με λουτρικὲς ἐγκαταστάσεις. Με βάση αὐτὲς δημιουργήθηκε ἡ βάση δεδομένων στο Google Earth.

Πίνακας 3.4 Οι διευθύνσεις των λουτρών της Αθήνας Πηγή: (Leigh, 1998).

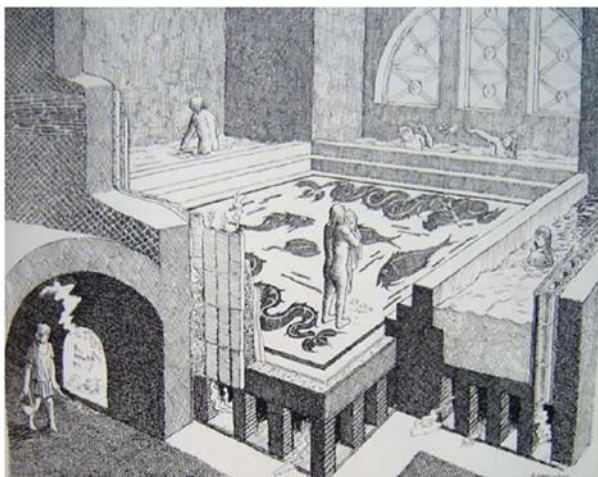
ΛΟΥΤΡΟ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	ΛΟΥΤΡΟ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ
A	Καλλισπέρη και Παρθενώνας	AA	Περικλέους 30-32
B	Διονυσίου Αεροπαγίτου (μεταξύ Καρυάτιδων και Μητσαίων)	BB	Πλατεία Συντάγματος
C	Ροβέρτου Γκάλι, Καρυάτιδων και Καβαλλότι	CC	Θουκιδίδου 6
D	Μισαρλιώτου	DD	Αδριανού 117
E	Μακρυγιάννη, Λεμπέση και Πορίνου	EE	Φαλήρου 52 και Οδυσσέα Ανδρούτσου 3
F	Μιχαήλ Κοκκίνη, Θεοφιλοπούλου και Μενεμάχου	FF	Στον κήπο του Στρατιωτικού Νοσ. Μακρυγιάννη
G	Κυδαθηναίων 18 και Γέροντα	GG	Τσάμη Καρακίτσου
H	Λυσικράτους	HH	Ηρακλειδών 9
I	Βόρεια της περιφέρειας του Ολυμπίου	II	Αμφικτίωνος 3
J	Λεωφόρος Αμαλίας	JJ	Αδριανού και Θησείου
K	Σύγχρονος Εκθεσιακός χώρος Ζαπτείου	KK	Ρωμαϊκή Αγορά
L	Κάτω από τη Ρώσικη Εκκλησία	LL	Πειραιώς 61-63
M	Οδός Όθωνος	MM	Κολοκυνθούς 24
N	Οδός Απόλλωνος κοντά στην οδό Νίκης		
O	Μπροστά από το Κοινοβούλιο		
P	Βορειοανατολικά των Ηρώδη Αττικού και Μουρούζη		
Q	Πανεπιστημίου και Βουκουρεστίου		
R	Ευριπίδου κοντά στην Βουκουρεστίου		
S	Σαρρή, κοντά στην Λούκα και Ογυγού		
T	Αθηναϊκή Αγορά		
U	Αθηναϊκή Αγορά		
V	Αθηναϊκή Αγορά, βορειοδυτική πλευρά του Άρειου Πάγου		
W	Αθηναϊκή Αγορά		
X	Νοτιοδυτική πλευρά της Αθηναϊκής Αγοράς		

Η ρωμαϊκή Αθήνα είχε έκταση 234 εκτάρια (Μαμάσης & Δευτεραίος, 2018). Όπως αποδεικνύεται στην Ενότητα 4.4, η μεγαλύτερη απόσταση σημείου της πόλης από κάποιο ερείπιο λουτρού είναι 434 m. Δεδομένου ότι το πλήθος των ευρημάτων ανέρχεται στα 37 και ότι δεν έχει βρεθεί κάποια Θέρμη, οι Αθηναίοι μάλλον δεν ακολούθησαν άλλες πόλεις στην δημιουργία μεγάλων λουτρών, αλλά προτίμησαν να έχουν μικρά και κοντινά λουτρικά συγκροτήματα. Ωστόσο, όπως έχει αναφερθεί και στην Ενότητα 2.3, αλλά και απ'ότι δείχνουν οι αρχαιολογικές ενδείξεις, όλα τα λουτρικά συγκροτήματα, μικρά και μεγάλα, είχαν την ίδια εσωτερική οργάνωση. Περιείχαν καταρχήν τα δωμάτια κρύου, χλιαρού και ζεστού λουτρού. Υπολείμματα του μηχανισμού θέρμανσης των υποκαύστων, έχουν βρεθεί στα λουτρά CC, LL, H, J, O. Επιπλέον, στο λουτρό E υπάρχει ένα μέρος του frigidarium σε λουτρό του 4^{ου} αι. μ.Χ. Επίσης, στο λουτρό JJ, το γεγονός ότι δεν υπήρχε γύψος στους αγωγούς, θεωρήθηκε σαν ένδειξη για το ότι χρησιμοποιούταν ώστε να διοχετεύουν ζεστό αέρα. Από την άλλη, στο λουτρό L στην Πειραιώς, μια οπή πλάτους 0,2 m στο μέσο ενός τοίχου, θα χρησιμοποιούνταν για την κυκλοφορία του ζεστού αέρα (Leigh, 1998, pp.162-171).

Από τα λουτρά που βρέθηκαν σε καλή κατάσταση, το λουτρό Ι, βόρεια της περιφέρειας του Ολυμπίου, φαίνεται να περιελάμβανε οκτώ δωμάτια. Επίσης το λουτρό ΙΙ, στην Αμφικτίωνος 3, αποτελούνταν από πέντε δωμάτια. Πολλά από τα λουτρά του Πίνακα 3.4 (Α, V, W, CC, ΕΕ, ΚΚ) ήταν χτισμένα σε περισσότερες από μια φάσεις. Επίσης τα ερείπια Μ,Ν μάλλον άνηκαν στο ίδιο λουτρό (Leigh, 1998, pp. 162-171).

Στη Λεωφόρο Αμαλίας, με αφορμή την διάνοιξη φρεάτιου αερισμού, κατά την κατασκευή του μετρό, βρέθηκε μεγάλο λουτρικό συγκρότημα. Αντιστοιχεί στο J του Πίνακα 3.4. Χρονολογείται κατά την περίοδο του Αδριανού. Είχε ισοπεδωθεί ειδικά για την κατασκευή του, χώρος πλάτους 21 m. Το συγκρότημα επεκτεινόταν προς τα ανατολικά, μέσα στον Εθνικό Κήπο και προς τα δυτικά, μέχρι το κατάστρωμα της Λεωφόρου Αμαλίας. Από τις αρχαιολογικές ενδείξεις φαίνεται να περιελάμβανε δύο αίθουσες με υπόκαυστα, δύο εστίες πυροδότησης και εννέα δεξαμενές. Η μεγάλη αίθουσα με την ένδειξη 1 (Εικόνα 3.1) ήταν τα καυτά λουτρά, *caldarium*. Ανυψώνεται από 15 στυλίσκους υποκαύστων. Τα χλιαρά λουτρά φέρουν την ένδειξη 2 στην Εικόνα 3.1. Ανυψώνονται από 17 μαρμάρινους κιονίσκους αντί υποκαύστων. Οι δύο εστίες πυροδότησης συνδέονται με την αίθουσα των καυτών λουτρών με υπόγειες αψιδωτές διόδους, όπως αυτή με την ένδειξη 3. Η αναπαράσταση του Λουτρού, στο αριστερό μέρος της Εικόνας 3.1, προέρχεται από την Γ' Εφορεία αρχαιοτήτων Αθηνών (Γουλιανού, 2020, pp. 85 - 87).

Λουτρά Ζαπείου



Εικόνα 3.1 Τα λουτρά του Ζαπείου Πηγή: (Γουλιανού, 2020, pp. 86,87, Εικόνα 4.3 & 4.4).

3.2 Χαρακτηριστικά ρωμαϊκής οικοδομικής

Τα ευρήματα των αγωγών που αναφέρονται παραπάνω, και συγκαταλέγονται στον Chiotis (2018), είναι ενδεικτικά των κατασκευαστικών τεχνικών που χρησιμοποιούσαν οι Ρωμαίοι. Θεμέλιος λίθος της οικοδομικής τους, ήταν το ρωμαϊκό σκυρόδεμα. Συνέβαλε στο να δημιουργηθούν περίπλοκες κατασκευές, όπως ο θόλος του Πάνθεον στη Ρώμη. Πρόκειται για τον παλαιότερο και μεγαλύτερο θόλο από σκυρόδεμα. Συνδυασμένο με το ρωμαϊκό τούβλο, συναντιέται σε πληθώρα ευρημάτων της Ρώμης και των υπόλοιπων περιοχών της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας και αποτελούν χαρακτηριστικό της τοιχοποιίας εκείνης της εποχής.

Το Ρωμαϊκό σκυρόδεμα είναι μείγμα ένυδρου ασβέστη με ποζολανική τέφρα (pozzolan) και κομμάτια αδρανών. Την ποζολανική τέφρα την είχαν συλλέξει από κάποιο κοντινό ηφαίστειο. Ο συνδυασμός ηφαιστειακής τέφρας με λεπτή σκόνη υγρού ασβέστη έδινε ένα παχύ υλικό, πολύ ανθεκτικό, που μπορούσε και να βυθιστεί στο νερό. Επιπρόσθετα, στην ανθεκτικότητα του ρωμαϊκού σκυροδέματος συνέβαλε και η συμπίεση που υφίσταται το μείγμα αμέσως μετά την παραγωγή του. Το κονίαμα, το οποίο περιείχε πολύ λίγο νερό, το μετέφεραν στα εργοτάξια και το τοποθετούσαν πάνω σε ένα στρώμα πετρωμάτων που είχαν ετοιμάσει προηγουμένως. Πιέζαν το κονίαμα ώστε να εισχωρήσει στα κενά του στρώματος. Επίσης χρησιμοποιούταν ειδικά εργαλεία συμπίεσης όταν ήταν να κατασκευαστεί τείχος (Moore, 1993). Υπάρχει επομένως συσχέτιση και στα δύο παραπάνω σημεία, με την σημερινή παραγωγή σκυροδέματος. Αφενός ο ένυδρος ασβέστης και οι φυσικές ποζολάνες της ηφαιστειακής τέφρας, παραπέμπουν στο υδροξείδιο του ασβεστίου και τις ποζολάνες ιπτάμενης τέφρας του (ποζολανικού) Τσιμέντου Portland. Επιπρόσθετα, την ανάγκη για διαδικασία συμπίεσης του σκυροδέματος που ακολουθείται στα σύγχρονα σκυροδέματα, την είχαν ανακαλύψει πρώτα οι αρχαίοι.

Τα κομμάτια των αδρανών ήταν μεγαλύτερα από αυτά του σημερινό σκυροδέματος, και γι' αυτό τοποθετούνταν με επίστρωση (Henig, 1983). Προέρχονταν από κομμάτια βράχων, κεραμικά πλακίδια και τούβλα από ερείπια άλλων κατασκευών. Συνδυαζόταν στις κατασκευές με πέτρα ή ρωμαϊκό τούβλο.

Κυρίαρχη μορφή κατασκευής της τοιχοποιίας στη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία, είναι η *opus latericium*, που φαίνεται και στα τοιχώματα στην Εικόνα 3.2. Αποτελείται από ένα πυρήνα σκυροδέματος με ρωμαϊκά τούβλα εντός του (Ulrich & Quenemoen, 2013). Τα τούβλα δεν ήταν ψημένα στη φωτιά.



Εικόνα 3.2 Τμήμα της σήραγγας του Αδριάνειου, κάτω από το Ολυμπιακό Χωριό. Τα τοιχώματα είναι κατασκευασμένα με βάση την μέθοδο opus latericium. **Πηγή:** (Chiotis, 2018, Figure 3a, p.75).

Στην μορφή opus mixtum, που φαίνεται παρακάτω στην Εικόνα 3.3, οι Ρωμαίοι συδύαζαν την opus latericium με την opus reticulatum. Στην δεύτερη, τοποθετούσαν σε ένα πυρήνα σκυροδέματος, πλινθοδομή αποτελούμενη από τούβλα με μορφή διαμαντιού, τα οποία ονόμαζαν cubilia. Έτσι όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα, τοποθετούταν σαν “παζλ” η μια τεχνική με την άλλη. Ωστόσο σε άλλες κατασκευές, όπως τα εξωτερικά τείχη της Βίλλας του Αδριανού, είναι τοποθετημένες η μια δίπλα στην άλλη (Wikipedia, 2008).



Εικόνα 3.3 Ρωμαϊκή τοιχοποιία μορφής opus mixtum, στο Θέατρο της Νάπολης. Από τα δεξιά της τοιχοποιίας είναι η τεχνική opus reticulatum και από τα αριστερά, η opus latericium **Πηγή:** (Wikipedia, 2008)

4. Αναπαράσταση Εσωτερικού Δικτύου Διανομής

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκε το σύνολο των ευρημάτων των υδραυλικών έργων του Αδριάνειου Υδραγωγείου, έτσι όπως τοποθετούνται στο σημερινό χάρτη της Αθήνας. Πρόκειται για 37 λουτρά, 26 κομμάτια αγωγών και πέντε δεξαμενές. Η βάση δεδομένων που κατασκευάστηκε στο Google Earth, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς του παρόντος κεφαλαίου, χρειάστηκε να μεταφερθεί σε περιβάλλον GIS. Έτσι τα αρχεία KML με τις συντεταγμένες των ευρημάτων, μετατράπηκαν σε αρχεία vector. Παράλληλα, το σύστημα συντεταγμένων των σημείων, μετατράπηκε από WGS_1984 σε ΕΓΣΑ '87. Το σύστημα δηλαδή που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται από το ArcMap, και το οποίο ακολουθούσε και το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM). Το μέγεθος των rixel όλων των επιπέδων (layers) ήταν 5 x 5 m. Στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί, είναι συγκεντρωμένη όλη η πορεία που ακολουθήθηκε στο περιβάλλον του ArcGIS, ώστε να δημιουργηθούν οι χάρτες χωρικής πληροφορίας που περιλαμβάνονται στο παρόν κεφάλαιο.

Πίνακας 4.1 Τα δεδομένα εισαγωγής και τα εργαλεία του ArcMap που χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργηθούν οι χάρτες.

Input/ Δεδομένα	Εργαλειοθήκη - Εργαλείο	Environments/ Περιορισμοί	Output/ Παράγωγα
citydem.tif	spatial analyst→ surface→ contour		contour.shp/ Χάρτες ισουψών
citydem.tif	3D analyst		Μηκοτομές εδάφους μεταξύ δύο σημείων
Συντ. δεξαμενών.shp	spatial analyst→Distance→Euclidean Distance	processing extent→city.shp	EucDist_.tif/ Χάρτης Αποστάσεων
Συντ. Αγωγών.shp	spatial analyst→Distance→Euclidean Distance	processing extent→city.shp	EucDist_.tif/ Χάρτης Αποστάσεων
Συντ. Λουτρών.shp	spatial analyst→Distance→Euclidean Distance	processing extent→city.shp	EucDist_.tif/ Χάρτης Αποστάσεων
citydem.tif	spatial analyst→ surface→ slope		slope_cityde.tif/ Χάρτης κλίσεων

Οι αγωγοί που έχουν βρεθεί είναι κατασκευασμένοι από τοιχοποιία. Οι αρχαιολογικές ενδείξεις ωστόσο, συγκλίνουν στο ότι υπήρχαν και κεραμικοί αγωγοί, για τις μικρότερες παροχές. Η ροή μέσα στις κλειστές διατομές, πραγματοποιούνταν με ελεύθερη επιφάνεια. Επομένως, η μεταφορά του νερού ήταν εξαρτημένη από την βαρυτική ροή. Γι' αυτό και οι περισσότερες εκτιμήσεις που περιέχονται στο παρόν κεφάλαιο δεν θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν χωρίς τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους της Αττικής. Για την αναπαράσταση του δικτύου, καταρχάς έπρεπε να προσεγγιστούν οι κύριοι κλάδοι. Αυτοί δηλαδή, που συνδέονταν κατευθείαν με την Δεξαμενή του Λυκαβηττού. Κατόπιν συνδέθηκαν τα ευρήματα των δεξαμενών με αυτούς τους κλάδους, ακολουθώντας σε πολλές περιπτώσεις τις διαδρομές που υπαγορεύονταν από τα ευρήματα των αγωγών.

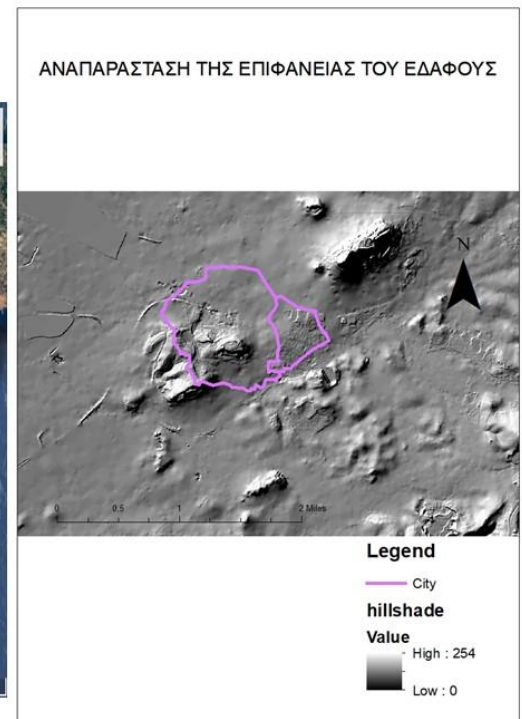
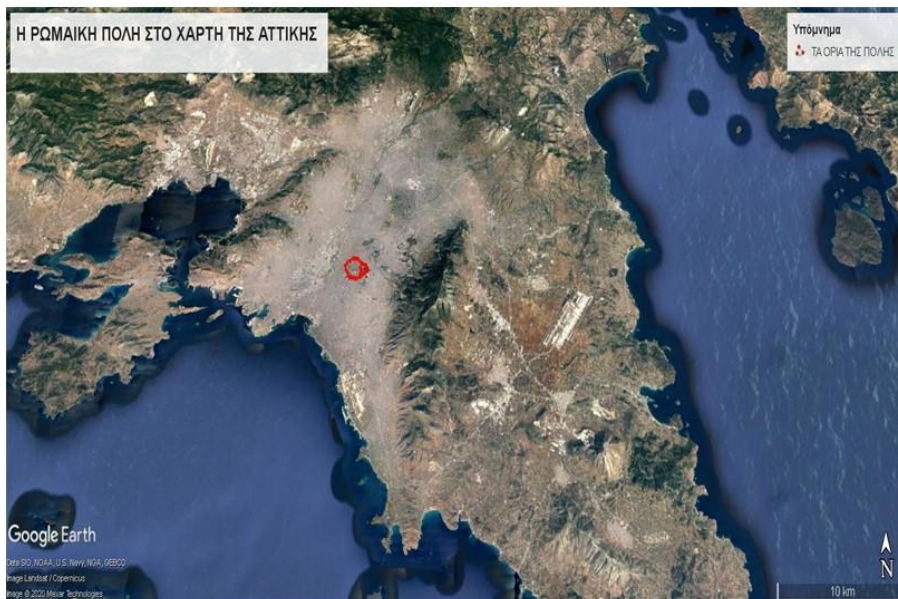
Η αναπαράσταση του δικτύου διανομής της ρωμαϊκής Αθήνας δεν είναι ένα θέμα που μπορεί να λήξει με την παρούσα διπλωματική. Η στόχευση ήταν να συγκεντρωθούν οι πληροφορίες των αρχαιολογικών ενδείξεων και να αναδειχτούν τα βασικά σημεία, ποιοτικά και ποσοτικά, του δικτύου ύδρευσης. Τα αποτελέσματα αυτά, είναι που παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο.

4.1 ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους του σημερινού ανάγλυφου της Αττικής, εκτιμήθηκε προηγουμένως το μέγεθος της διάβρωσης που έχει υποστεί η περιοχή. Η διάβρωση αυτή προέκυψε αρκετά μικρή ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ΨΜΕ στους υπολογισμούς του κεφαλαίου.

Με την πάροδο των χρόνων, το ανάγλυφο του εδάφους αλλάζει λόγω διάβρωσης ή εναπόθεσης φερτών υλών. Έτσι τα υψόμετρα μειώνονται ή αυξάνονται, αντίστοιχα. Η δεύτερη περίπτωση αφορά τις περιοχές που είναι κοντά στις εκβολές των ποταμών και όπου υπάρχουν χαμηλά σημεία- κοιλώματα. Καμία από τις δύο περιπτώσεις, όπως φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα 4.1, δεν αφορά την περιοχή της Αθήνας. Οπότε, χρειάζεται να εκτιμηθεί μόνο η απώλεια του εδαφικού υλικού, και το κατά πόσο τα υψόμετρα μειώθηκαν ανά τα χρόνια.

Η ΑΡΧΑΙΑ ΡΩΜΑΙΚΗ ΠΟΛΗ ΣΤΟ ΧΑΡΤΗ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ



Σχήμα 4.1 Δεξιά η αρχαία ρωμαϊκή πόλη εντός του χάρτη της Αττικής. Η εικόνα προέρχεται από το Google Earth. Αριστερά, η τρισδιάστατη αναπαράσταση της επιφάνειας του εδάφους υπό την σκίαση του ηλίου. Διαμορφώθηκε μέσω της λειτουργίας hillside στο ArcMap.

Η εδαφική διάβρωση ή απώλεια είναι η ποσότητα του εδαφικού ή βραχώδους υλικού που αποκολλάται κάτω από την επίδραση της βροχής και της επιφανειακής απορροής σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Εκτιμάται σε $t/ha^{-1} \cdot year^{-1}$ ή $t/km^{-2} \cdot year^{-1}$ και εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- τη γεωλογία
- την εδαφολογία
- τη φυτοκάλυψη
- το υδρολογικό καθεστώς
- τη γεωμορφολογία
- το κλίμα
- τις ανθρώπινες παρεμβάσεις

Το υλικό που αποκολλάται, αποτελεί το φορτίο φερτών υλών που κατευθύνεται και τελικά αποτίθενται στις εκβολές. Διακρίνεται σε φορτίο κοίτης και φορτίο απόπλυσης. Το φορτίο κοίτης είναι τα στερεά που μεταφέρονται από τις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου και αποτελούν την μοναδική αιτία στερεομεταφοράς τις ξηρές περιόδους. Μπορεί να μεταφέρονται είτε σε αιώρηση είτε σε σύρση. Από την άλλη, το φορτίο απόπλυσης που παράγεται από την διάβρωση της λεκάνης απορροής κατά την διάρκεια της βροχής είναι αποκλειστικά αιωρούμενο. Τα στερεά υλικά μεταφέρονται με την τύρβη για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Στην Εικόνα 4.1 που ακολουθεί, δίνεται το εκτιμώμενο αιωρούμενο φορτίο που παράγεται ανά έτος σε όλες τις περιοχές του πλανήτη. Για την Ελλάδα το φορτίο αυτό εκτιμάται μεταξύ 200-1000 t/km² year⁻¹. Η περιοχή της Αθήνας και τότε, είχε ημιάνυδρο κλίμα και υπέφερε από την έλλειψη επιφανειακού νερού. Άλλωστε, όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 1.3, λόγω αυτής της ξηρότητας αναγκάζονταν να αξιοποιούν τα υπόγεια νερά μες στην πόλη, και υδρεύονταν σε μεγάλο βαθμό από τα πηγάδια. Επομένως το ξηρό κλίμα, αλλά και το γεγονός ότι είναι μακριά από τις εκβολές των ποταμών, καθιστά αδύνατο, η εδαφική απώλεια της περιοχής να λαμβάνει τις ανώτερες τιμές του παραπάνω διαστήματος. Έτσι, υπολογίστηκε το φορτίο στο διάστημα [200-700] t/ km² *year⁻¹, με βήμα 100. Με την πυκνότητα των φερτών υλικών κυμαίνεται μεταξύ 1-1.6 t/m³ (Μαμάσης et al., 2015), προκύπτουν οι υπολογισμοί του Πίνακα 4.2.

Για την έκταση της περιοχής της πόλης, που είναι 234 εκτάρια (Μαμάσης & Δευτεραίος, 2018), ανάλογα με την τιμή εδαφικής απώλειας (t/km²*year), για κάθε τιμή με βήμα 100 εντός του διαστήματος [200-700] t/km²*year, υπολογίστηκαν οι τόνοι των αιωρούμενων φερτών υλών, που παράγονται. Κατόπιν, για κάθε τιμή της πυκνότητας, με βήμα 0.2, από το διάστημα [1,1.6] υπολογίστηκε ο όγκος που αντιστοιχεί στους τόνους απώλειας. Διαιρώντας τον όγκο με την συνολική επιφάνεια της πόλης, προκύπτει το ύψος (m) που αντιστοιχεί στην απώλεια του εδαφικού υλικού. Η βασικότερη των συνδυασμών φαίνονται στον Πίνακα 4.2, όπου παρουσιάζεται η μέγιστη και η ελάχιστη απώλεια για κάθε πυκνότητα. Για όλους τους συνδυασμούς, η τιμή απώλειας, δεν ξεπερνά τα 1.32 m. Έτσι, οι εκτιμήσεις για τον τότε σχεδιασμό του δικτύου ύδρευσης, είναι επιτρεπτές με την χρήση των σημερινών δεδομένων. Αν και όλος ο συλλογισμός, βασίζεται στην απλοποιητική παραδοχή, ότι η απώλεια εδαφικού

υλικού πραγματοποιείται ομοιόμορφα στην επιφάνεια, είναι μικρής τάξεως, για πιο λεπτομερή μελέτη.

Εκτιμήσεις στερεομεταφοράς

Εκτιμήσεις αιωρούμενου φορτίου στον κόσμο ($t\ km^{-2}\ year^{-1}$)

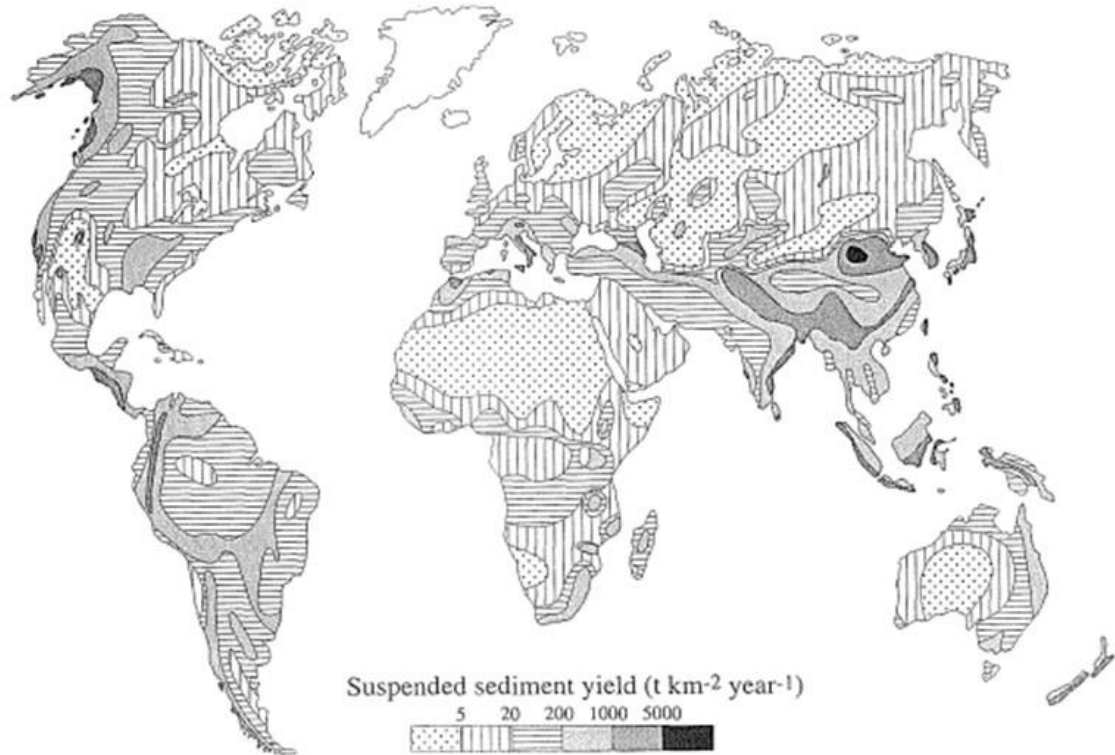


Fig. 2 The global pattern of suspended sediment yield according to Lvovich *et al.* (1991).

Πηγή: Walling D. E and B. W. Webb, Erosion and sediment yield: a global overview, Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives (Proceedings of the Exeter Symposium, IAHS Publ.no. 236, 1996

Εικόνα 4.1 Εκτίμηση αιωρούμενου φορτίου ανά τον κόσμο. Πηγή: (Μαμάσης *et al.*, 2015).

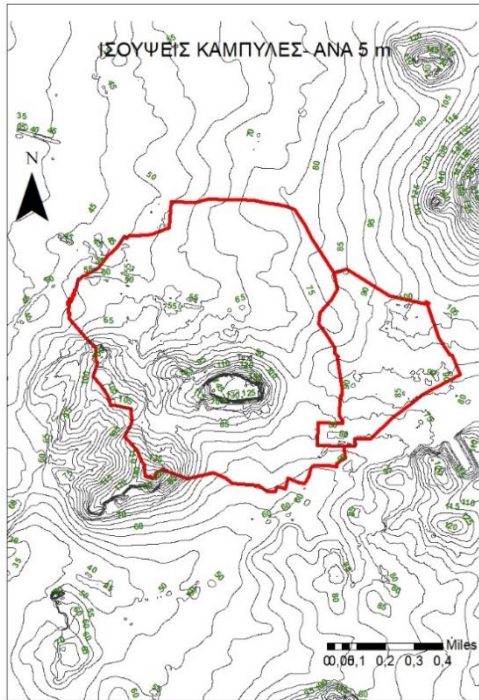
Πίνακας 4.2 Υπολογισμός Εδαφικής απώλειας μες στα χρόνια.

Υλικό (t/m ³)	Έκταση περιοχής (km ²)	εδαφ. απώλεια (t/km ² *γ)	έτη	απώλεια (t)	όγκος (m ³)	ύψος (m)
1	2,34	200	1886	882648	882648	0,38
1	2,34	700	1886	3089268	3089268	1,32
1,2	2,34	200	1886	735540	735540	0,31
1,2	2,34	700	1886	2574390	2574390	1,1
1,4	2,34	200	1886	630463	630463	0,27
1,4	2,34	700	1886	2206620	2206620	0,94
1,6	2,34	200	1886	551655	551655	0,24
1,6	2,34	700	1886	1930793	1930793	0,83

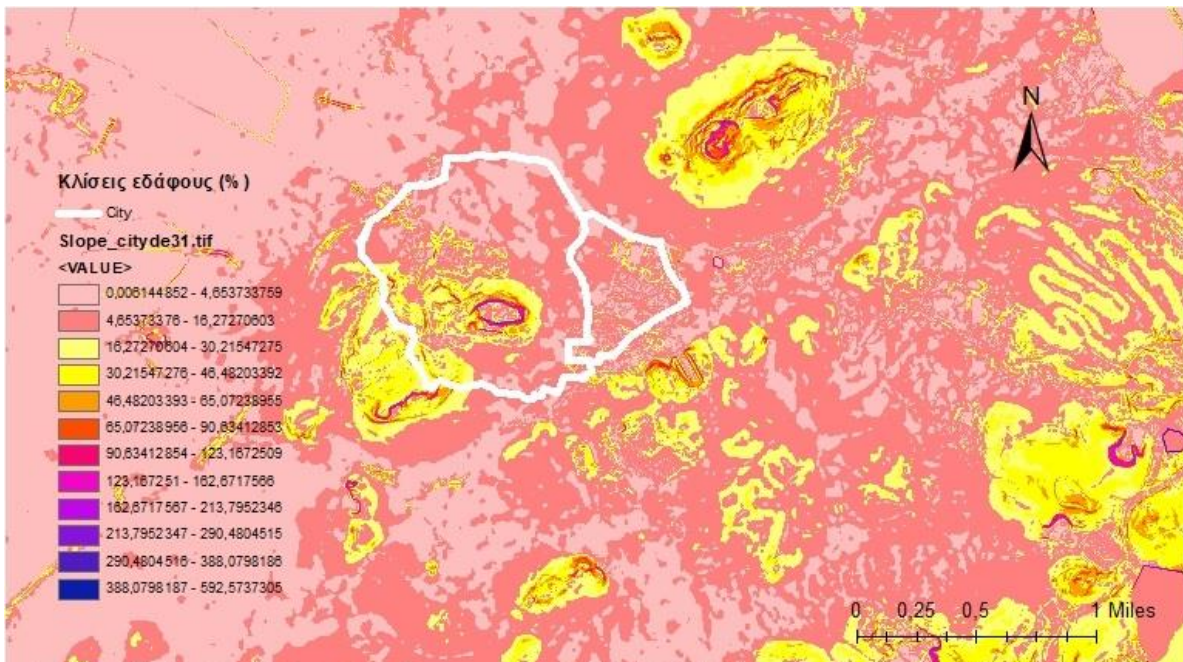
4.2 Το ανάγλυφο της περιοχής

Εξετάζοντας το ανάγλυφο της περιοχής της Αθήνας, μπορεί να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα για να σχεδιαστεί σύστημα ύδρευσης με βαρυτική ροή. Η κατεκτημένη γνώση, από τα ελληνιστικά χρόνια, της ροής σε σωλήνες υπό πίεση, δεν χρησιμοποιήθηκε σ' αυτή την περίπτωση. Παρόλο που, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, οι Αθηναίοι είχαν από τα ορυχεία του Λαυρίου, άφθονο μόλυβδο διαθέσιμο.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.2, από το πυκνό δίκτυο ισοϋψών, η περιοχή της αρχαίας ρωμαϊκής πόλης είναι λοφώδης. Προσφέρεται επομένως για δημιουργία δικτύου υπό βαρυτική ροή. Στο Σχήμα, η υψομετρική διαφορά που έχει ληφθεί για τις ισοϋψείς, είναι 5 m. Παρακάτω, στο Σχήμα 4.3, φαίνεται ο χάρτης της περιοχής με τις κλίσεις του εδάφους. Διαμορφώθηκε στο ArcMap, με δεδομένο, το ΨΜΕ. Οι κλίσεις όπως δίνονται, εκτός από τον λόφο της Ακρόπολης, δεν ξεπερνούν το 16%.



Σχήμα 4.2 Δίκτυο ισοψών καμπύλων στην περιοχή της Αρχαίας Ρωμαϊκής πόλης. Διαμορφώθηκε στο ArcMap.



Σχήμα 4.3 Οι κλίσεις του εδάφους στην περιοχή της ρωμαϊκής Αθήνας (percent rise), και γύρω από αυτήν. Διαμορφώθηκε στο ArcMap.

4.3 Η δεξαμενή στους πρόποδες του Λυκαβηττού

Ένα κτίσμα στους Πρόποδες του Λυκαβηττού, στην νοτιοδυτική πλευρά, αποτελεί το διαχωριστικό όριο μεταξύ εξωτερικού υδραγωγείου και δικτύου διανομής. Περιέχει δεξαμενή χωρητικότητας 445 m³. Στα ρωμαϊκά υδρευτικά συστήματα τα κτίσματα αυτά ονομάζονται Castellum aquae. Η Αδριάνειος Δεξαμενή ανακαλύφθηκε το 1870, και σύντομα ξεκίνησαν οι εργασίες για την ανακατασκευή της, ώστε να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της τότε πόλης των Αθηνών. Δεν υπάρχουν πολλά στοιχεία για την αρχαία δεξαμενή καθώς τα πρώτα αρχεία της ΕΥΔΑΠ χρονολογούνται στο 1930. Ωστόσο από τον Lebègue (1871) γνωρίζουμε τις αρχικές διαστάσεις της, που δεν διαφέρουν και πολύ από αυτές της ανακατασκευασμένης. Με βάση τις διαστάσεις αυτές υπολογίστηκαν οι χωρητικότητες στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 Η χωρητικότητα της Αδριάνειας Δεξαμενής στο Κολωνάκι. Διαμορφώθηκε με βάση τα στοιχεία της Leigh (1998, pp. 109-111).

Δεξαμενή	Μήκος (m)	Πλάτος (m)	Στάθμη νερού (m)	Χωρητικότητα (m ³)	Πηγή:
Αρχαία	24.5	10.1	1.8	445	Lebègue (1871)
Ανακατασκευασμένη	26.09	9.36	1.85	452	Σχέδια ΕΥΔΑΠ (1934)
Ανακατασκευασμένη	26.2	9.35	1.9	465	Leigh (1998)

Εκ πρώτης όψεως, δεδομένου του χαμηλού ύψους της, μόλις 1.8 m, η δεξαμενή δεν χρησιμοποιούταν για αποθήκευση νερού. Λαμβάνοντας επιπλέον υπόψιν, το γεγονός ότι η υπόγεια σήραγγα τροφοδοτούσε την δεξαμενή με [5000- 10000] m³ ημερησίως, η δεξαμενή δεδομένης της χωρητικότητας της, που είναι αρκετά μικρότερη και από το κατώφλι του παραπάνω διαστήματος, δεν είχε περιθώριο αποθήκευσης (Μαμάσης & Δευτεραίος, 2018). Ο ρόλος της λοιπόν, ήταν απλά ρυθμιστικός. Μοίραζε τη παροχή του εξωτερικού υδραγωγείου, στους σωλήνες που θα την μετέφεραν στην πόλη.

Σχετικά με τον αριθμό των σωλήνων αυτών, έχουν διατυπωθεί δύο εκδοχές. Σύμφωνα με τον Ziller (1877), κατά την διάρκεια του καθαρισμού της αρχαίας δεξαμενής, πριν να ανακατασκευαστεί, βρέθηκε ένας μολύβδινος αγωγός στην νότια πρόσοψη του κτιρίου. Από την άλλη, η δεύτερη εκδοχή θέλει οι αγωγοί να ήταν δύο, ελλειπτικής μορφής, από την εσωτερική μεριά του κτιρίου (Κορδέλλας, 1879). Η παροχή των αγωγών και στις δύο περιπτώσεις, υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση 4.1, που ισχύει για την παροχή εξόδου από δοχείο, για πραγματικά ρευστά.

$$Q = \mu * ((2gh)^{0.5}) * A \quad (4.1)$$

Ο συντελεστής παροχής μ , επιλέχθηκε να ισούται με 0.7. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους Πίνακες 4.4, 4.5.

Πίνακας 4.4 Υπολογισμός εμβαδών αγωγών εξόδου.

Κυκλικός Αγωγός	$A = \pi \cdot d^2 / 4$	
d (m)	A (m ²)	
0.18	0.025	
Ελλειπτικό Αγωγός	$A = \pi \cdot \alpha \cdot \beta / 4$	
α (m)	β (m)	A (m ²)
0.18	0.12	0.017

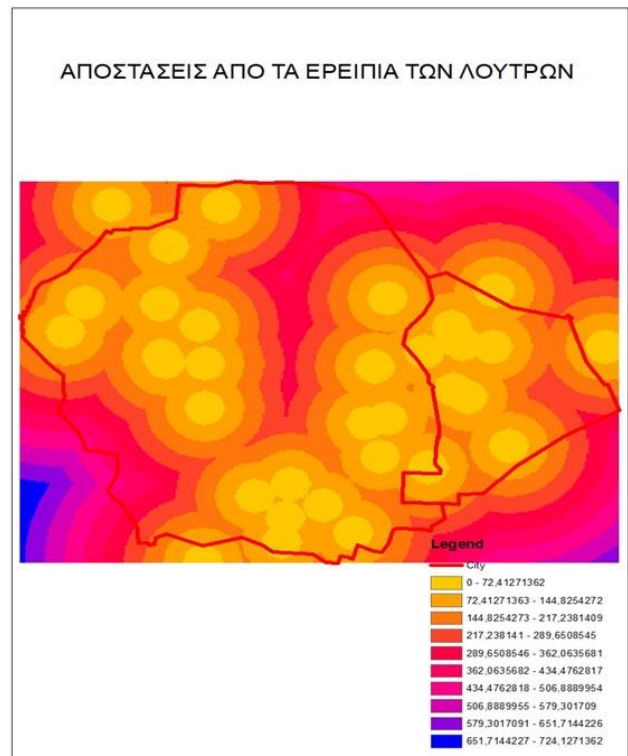
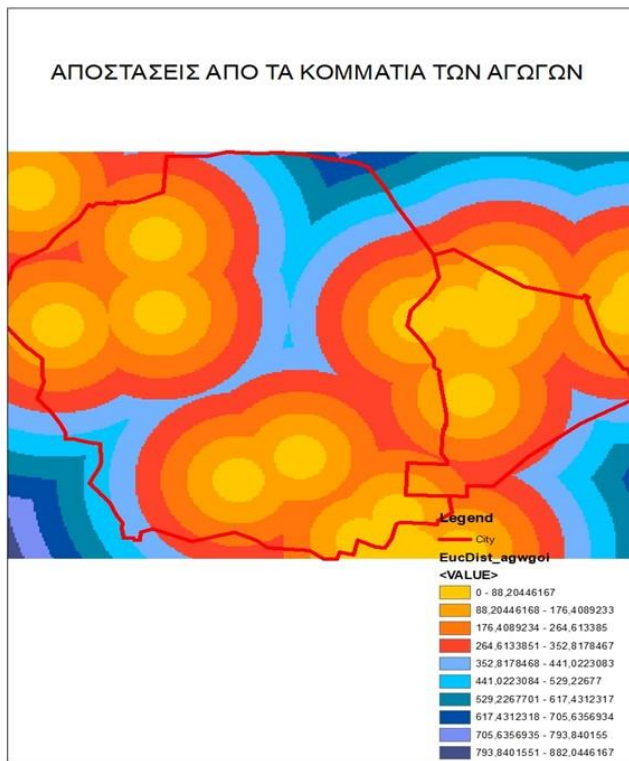
Πίνακας 4.5 Παροχή και για τα δύο σενάρια αγωγών εξόδου από την Αδριάνειο Δεξαμενή.

A (m ²)	μ	h (m)	Q (m ³ /s)	Q _{ημ} (m ³ /d)	Αγωγοί	Q _{τελ} (m ³ /d)
0.025	0.7	1.8	0.105	9070	1	9070
0.017	0.7	1.8	0.07	6050	2	12100

4.4 Σύνδεση του Castellum του Λυκαβηττού με την πόλη

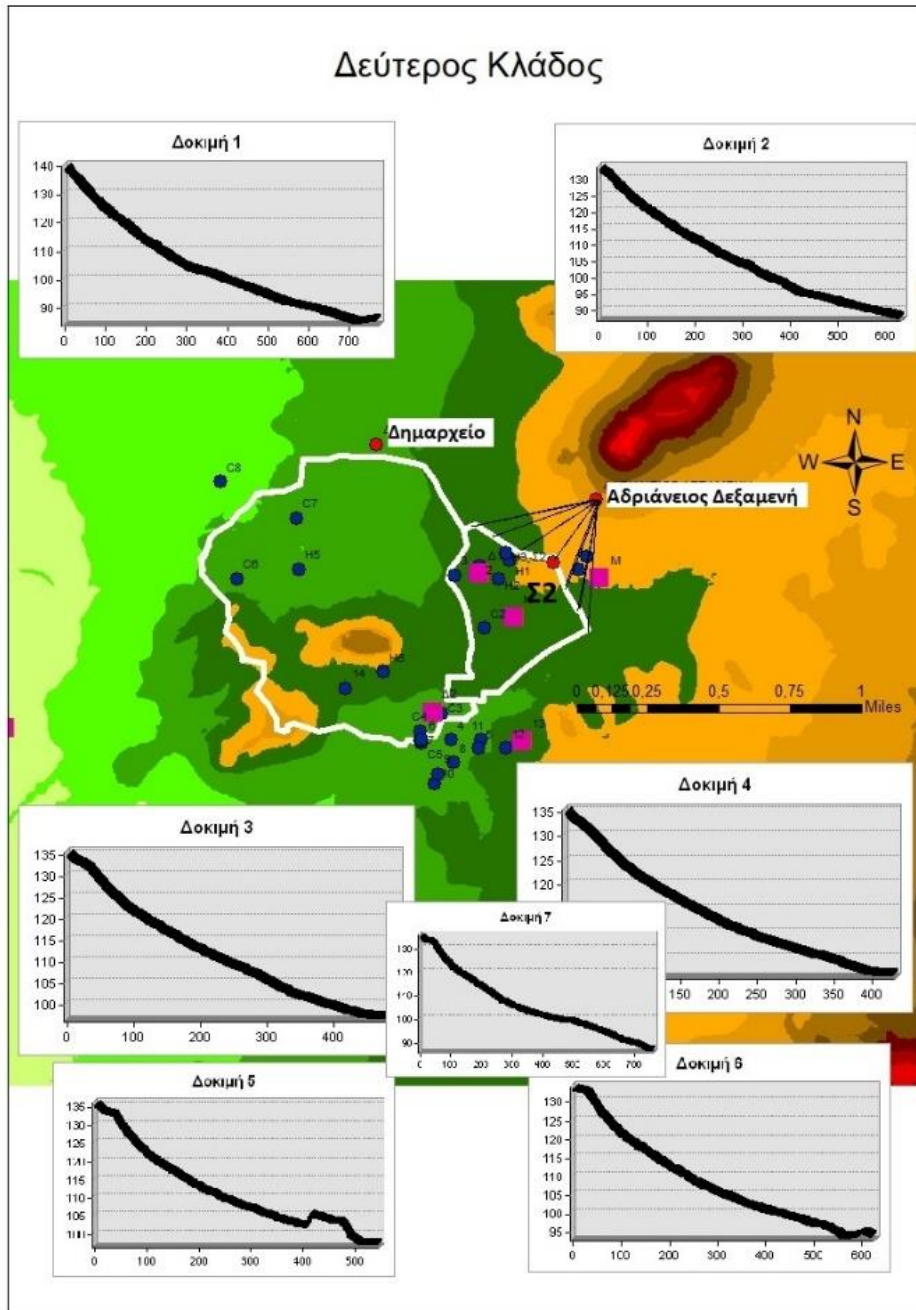
Η συνολική έκταση της πόλης είναι αναμφισβήτητα μεγάλη, ώστε να μην αρκεί ένας μόνο αγωγός, για να μεταφέρει την παροχή από την Δεξαμενή του Λυκαβηττού. Η κυκλική οπή εξόδου από την Δεξαμενή, που αντιστοιχεί σε μολύβδινο αγωγό, διαμέτρου 0.18 m, σύμφωνα με τις αρχαιολογικές ενδείξεις, κατευθυνόταν προς τη θέση του Δημαρχείου Αθηνών (Ziller, 1877). Ωστόσο, όπως θα αποδειχτεί και στην συνέχεια, δεν ήταν ο μοναδικός αγωγός.

Τα ευρήματα των υδραυλικών έργων είναι διάσπαρτα σ' ολόκληρη την πόλη. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4, σχεδόν όλα τα σημεία δεν απέχουν παραπάνω από 353 m από κάποιο κομμάτι αγωγού, ενώ έχουν κοντά τους κάποιο εύρημα λουτρού, σε απόσταση έως και 217 m. Ο χάρτης χωρικής πληροφορίας του Σχήματος, κατασκευάστηκε μέσω του ArcMap, και του εργαλείου Euclidean distance. Το τελευταίο, υπολογίζει την απόσταση του κάθε pixel από το κοντινότερο του σημείο, λουτρού ή αγωγού. Αποδεικνύεται έτσι, ότι το εσωτερικό σύστημα ύδρευσης, αναπτύσσονταν σ' ολόκληρη την έκταση της πόλης. Ένας ακόμη λόγος για τον οποίο, η εκδοχή ενός μοναδικού αγωγού παροχής, δεν έχει ισχυρές βάσεις.



Σχήμα 4.4 Χάρτης με την πληροφορία της απόστασης από το εγγύτερο κομμάτι αγωγού (αριστερά) και λουτρού (δεξιά). Διαμορφώθηκε στο ArcMap.

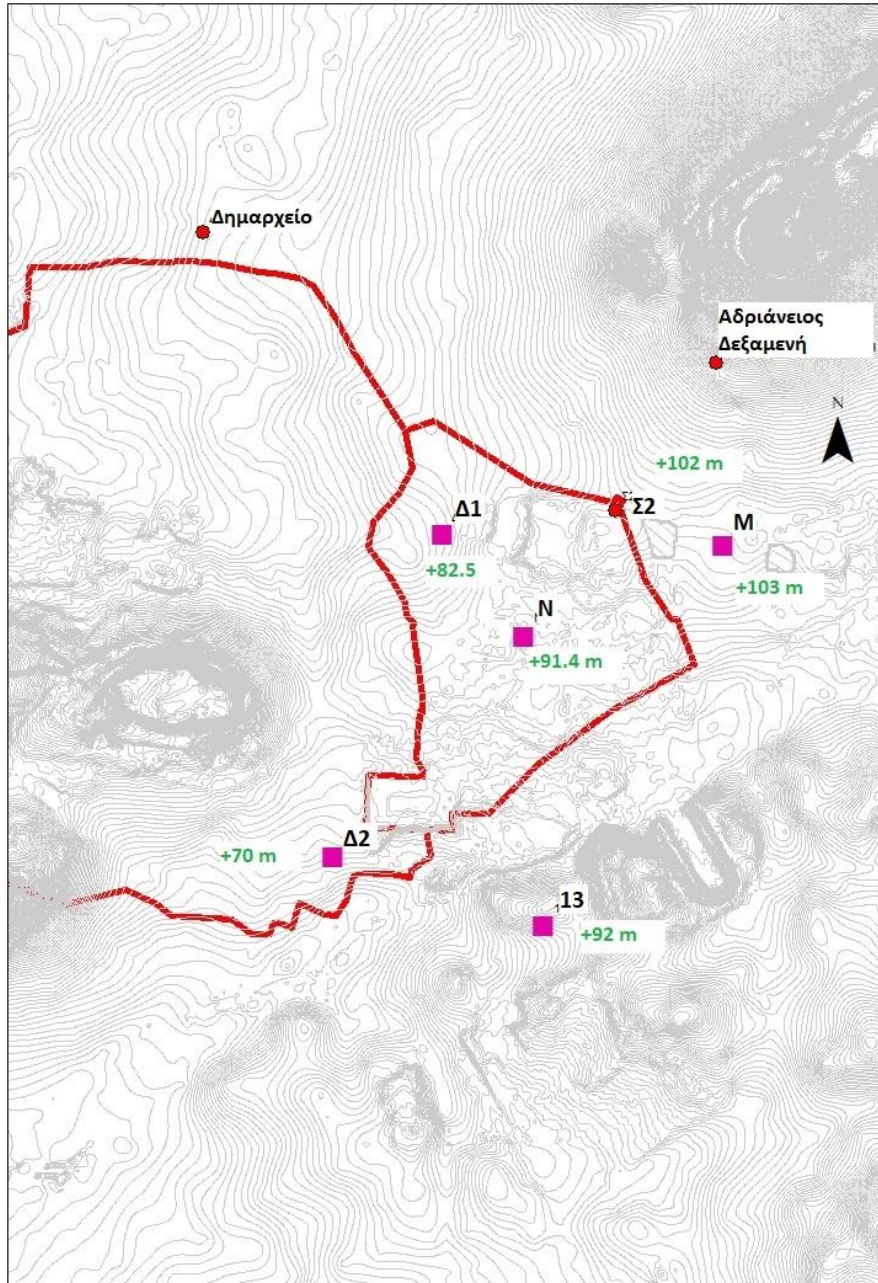
Δεδομένου ότι, τα βόρεια τείχη της ρωμαϊκής επέκτασης είναι το εγγύτερο κομμάτι της πόλης στο Castellum του Λυκαβητού, αλλά και επειδή όλες οι δεξαμενές που έχουν βρεθεί είναι συγκεντρωμένες, ή πολύ κοντινές, σ' αυτό το κομμάτι, θεωρήθηκε ότι σίγουρα συνδέονταν απευθείας με την Δεξαμενή. Χαράχθηκαν οι αποστάσεις, για να ενωθεί το Castellum με τα βόρεια τείχη, καλύπτοντας ολόκληρο το τόξο, από το δυτικότερο έως το ανατολικότερο σημείο τους. Τα μήκη των αποστάσεων κυμαίνονται μεταξύ [405, 734] m. Η κοντινότερη απόσταση, το κατώφλι του διαστήματος, αντιστοιχεί στο σημείο που αναγράφεται στο Σχήμα 4.5 ως Σ2.



Σχήμα 4.5 Οι αποστάσεις που τραβήχτηκαν, για να εκλεχθεί το ελάχιστο μήκος σύνδεσης των τειχών της επέκτασης με τη Δεξαμενή. Διαμορφώθηκε στο ArcMap.

Όπως φαίνεται από τις μηκοτομές του Σχήματος 4.5, το Castellum βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο απ' όποιο σημείο κι αν κατέληγε ο αγωγός. Επιτρέπει σε κάθε περίπτωση την διάνοιξη αγωγού για μεταφορά νερού με βαρυτική ροή. Παρόλα αυτά ο αγωγός είναι μολύβδινος, με ροή υπό πίεση. Στο Σχήμα 4.6 που ακολουθεί, φαίνεται επίσης πως το Σ2, είναι σε μεγαλύτερο υψόμετρο από τις θέσεις των δεξαμενών. Είναι εφικτή λοιπόν, η μεταφορά νερού από το Σ2 σ'

αυτές. Παρακάτω σ' αυτό το κεφάλαιο, υπολογίζονται μέσω των εξισώσεων mapping οι παροχές και η ταχύτητα ροής, εντός των αγωγών σύνδεσης.



Σχήμα 4.6 Τα υψόμετρα των δεξαμενών και του σημείου Σ2. Φαίνεται επίσης το δίκτυο ισοϋψών καμπυλών , για υψομετρική διαφορά 1 m. Διαμορφώθηκε στο ArcGIS.

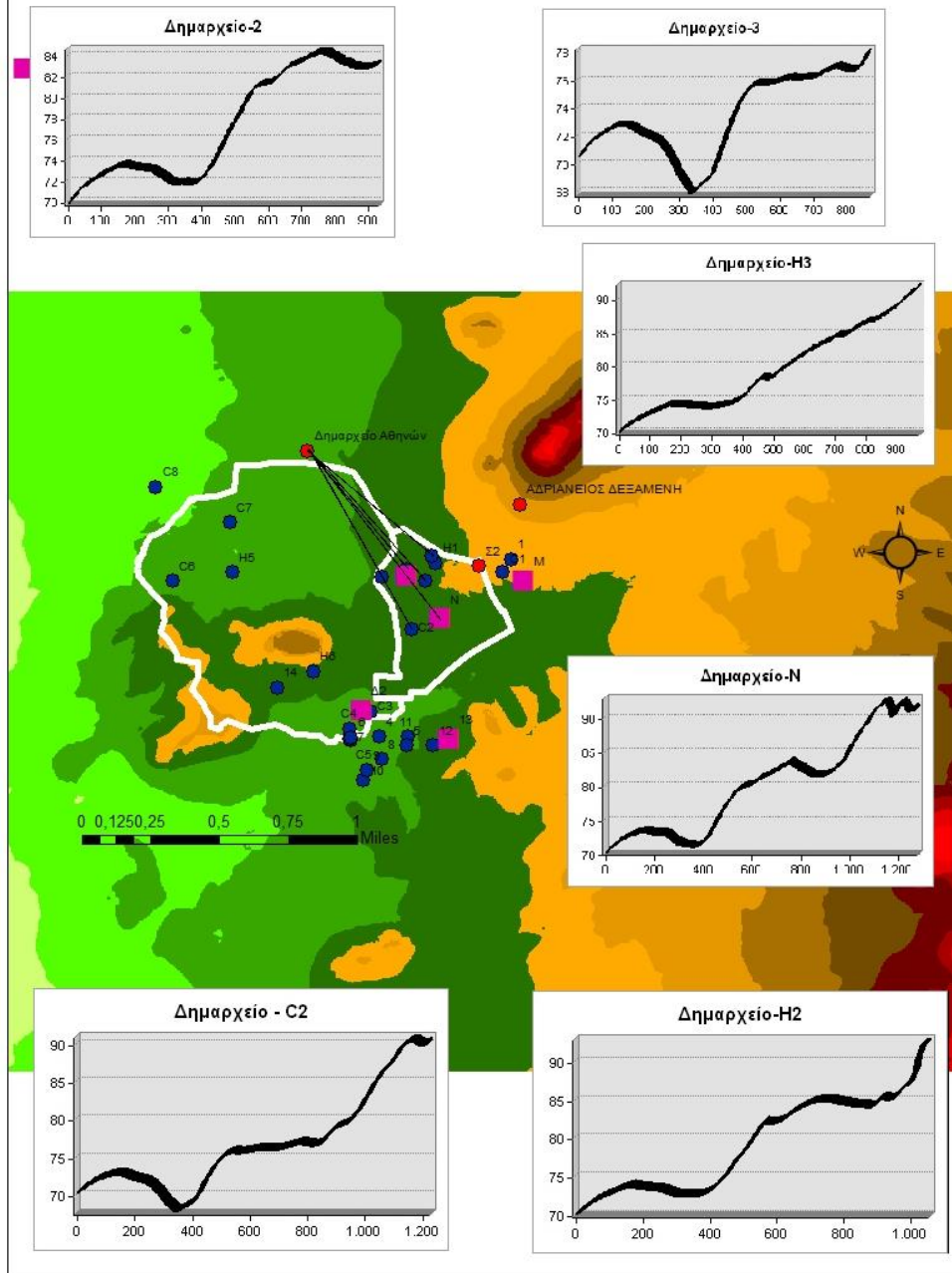
Όλα τα παραπάνω, δεν ισχύουν για την δεξαμενή M. Αφενός έχει πολύ μικρή διαφορά ύψους με το Σ2, μόλις 1 m. Έτσι δεν μπορούμε να γνωρίζουμε με σιγουριά, ποιο από τα δύο σημεία βρίσκονταν ψηλότερα εκείνη την εποχή. Επιπλέον, ακόμη και το Σ2 να ήταν ψηλότερα, η

υψομετρική διαφορά φαίνεται να ήταν πολύ μικρή για την παροχή νερού. Το σημαντικότερο στοιχείο για την δεξαμενή Μ είναι οι διαστάσεις της. Πρόκειται για δεξαμενή με διατομή 8 x 5.5 m. Η μεγάλη επιφάνεια συνεπάγεται και μεγάλη χωρητικότητα. Ακόμη και αν υπολογιστεί η χωρητικότητα της εκλαμβάνοντας σαν ύψος δεξαμενής το 1m, ισούται με το 1/8 της Δεξαμενής του Λυκαβηττού. Σε καμία περίπτωση λοιπόν δεν έχουμε να κάνουμε με μια δεξαμενή λουτρού ή οικίας, αλλά με μια δεξαμενή που συνδεόταν με αρκετούς παραλήπτες και θα μπορούσε να έχει και αποθηκευτική λειτουργία. Έτσι για να δέχεται την ανάλογη παροχή, θα συνδεόταν άμεσα με το Λυκαβηττό. Επομένως το νερό θα έφτανε με μεγάλη ταχύτητα, που δεν μπορεί να αναπτυχθεί με μικρή υψομετρική διαφορά. Η Μ θα θεωρείται στο εξής, ότι συνδέονταν απευθείας με την Δεξαμενή.

Με τα παραπάνω έχει καλυφθεί το ζήτημα της υδροδότησης από το Castellum , για το ανατολικό τμήμα της πόλης. Μένει να εξεταστεί, το ποιες περιοχές θα μπορούσε να εξυπηρετεί ο αγωγός που έφτανε στο Δημαρχείο.

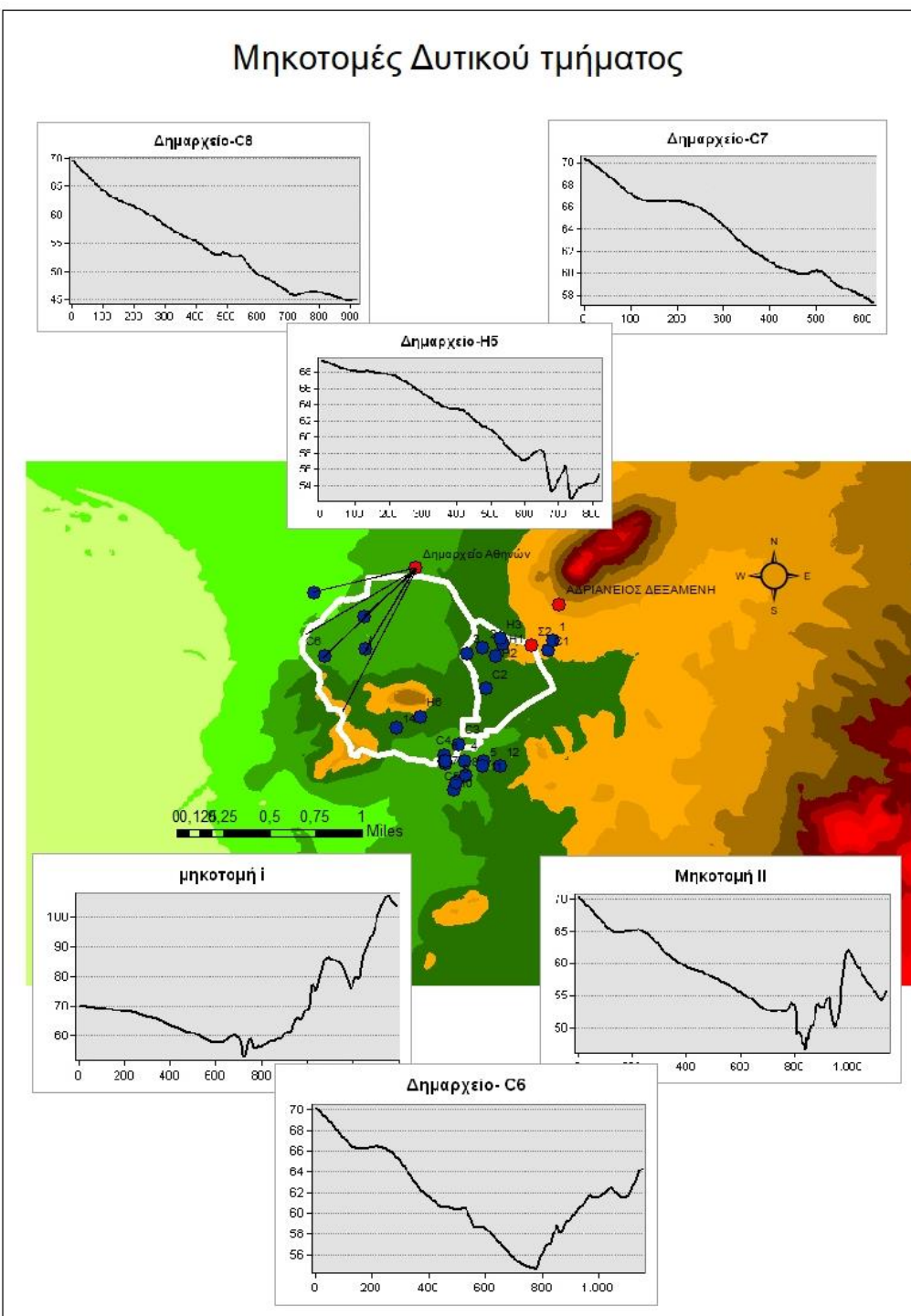
Όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.7-4.9 από τις μηκοτομές των διαδρομών που χαραχτηκαν, ο κυκλικός αγωγός που έφτανε στο Δημαρχείο, μπορούσε να τροφοδοτήσει μόνο το Δυτικό τμήμα της πόλης. Είναι το μόνο τμήμα όπου κατά μήκος των διαδρομών, τα υψόμετρα ελαττώνονται ώστε να μπορεί να υπάρξει βαρυτική ροή. Εξακριβώνεται με αυτό τον τρόπο ότι υπήρχαν και άλλοι αγωγοί ώστε να συνδέεται η Δεξαμενή του Λυκαβηττού με την πόλη.

Σύνδεση Δημαρχείου με Βορειοανατολικό τμήμα

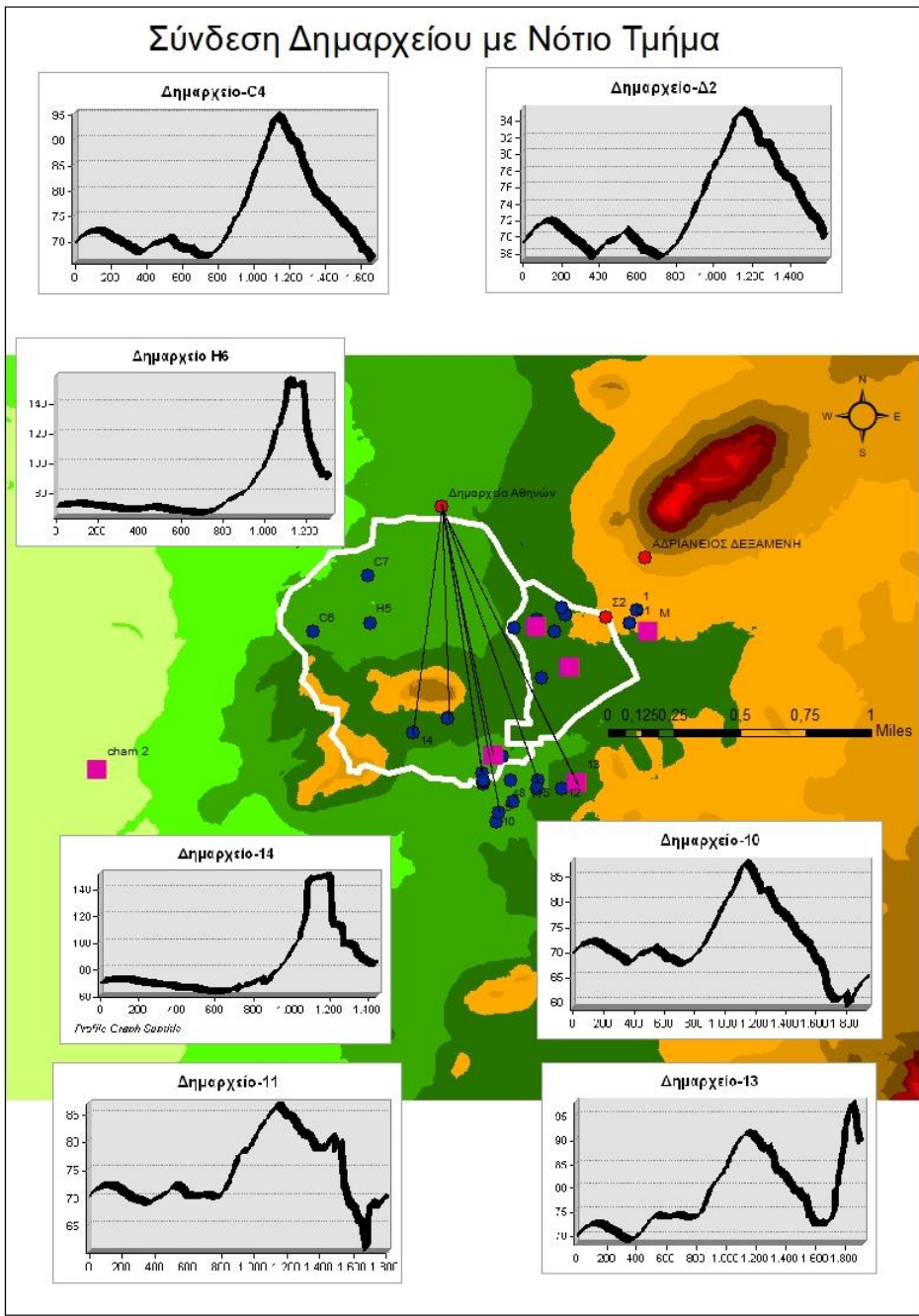


Σχήμα 4.7 Μηκοτομές αποστάσεων μεταξύ Δημαρχείου και ευρημάτων στο βορειοανατολικό τμήμα της πόλης. Διαμορφώθηκε στο ArcMap.

Μηκοτομές Δυτικού τμήματος

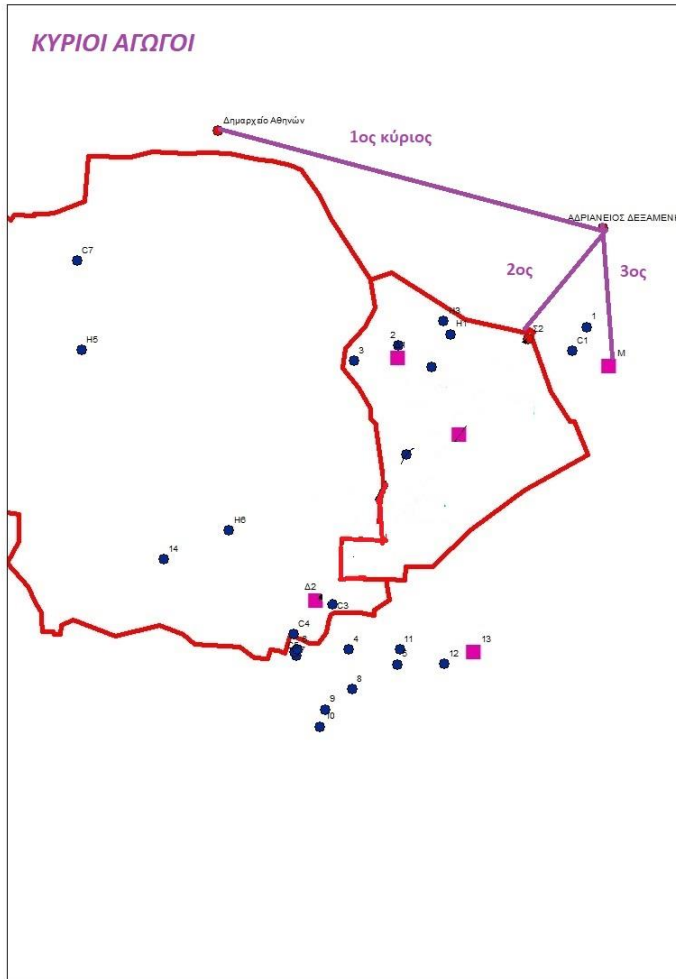


Σχήμα 4.8 Μηκοτομές αποστάσεων μεταξύ Δημαρχείου και ευρημάτων στο δυτικό τμήμα της πόλης. Διαμορφώθηκε στο ArcMap.



Σχήμα 4.9 Μηκτομές αποστάσεων μεταξύ Δημαρχείου και ευρημάτων στο νότιο τμήμα της πόλης. Διαμορφώθηκε στο ArcMap.

Με βάση τα παραπάνω, στο Σχήμα 4.10 είναι σημειωμένοι, οι τρεις κύριοι σωλήνες που υπήρχαν.



Σχήμα 4.10 Οι τρεις σωλήνες που συνέδεαν την δεξαμενή του Λυκαβηττού με την πόλη.

Παρακάτω σ' αυτό το κεφάλαιο, υπολογίζονται οι παροχές των τριών κύριων αγωγών.

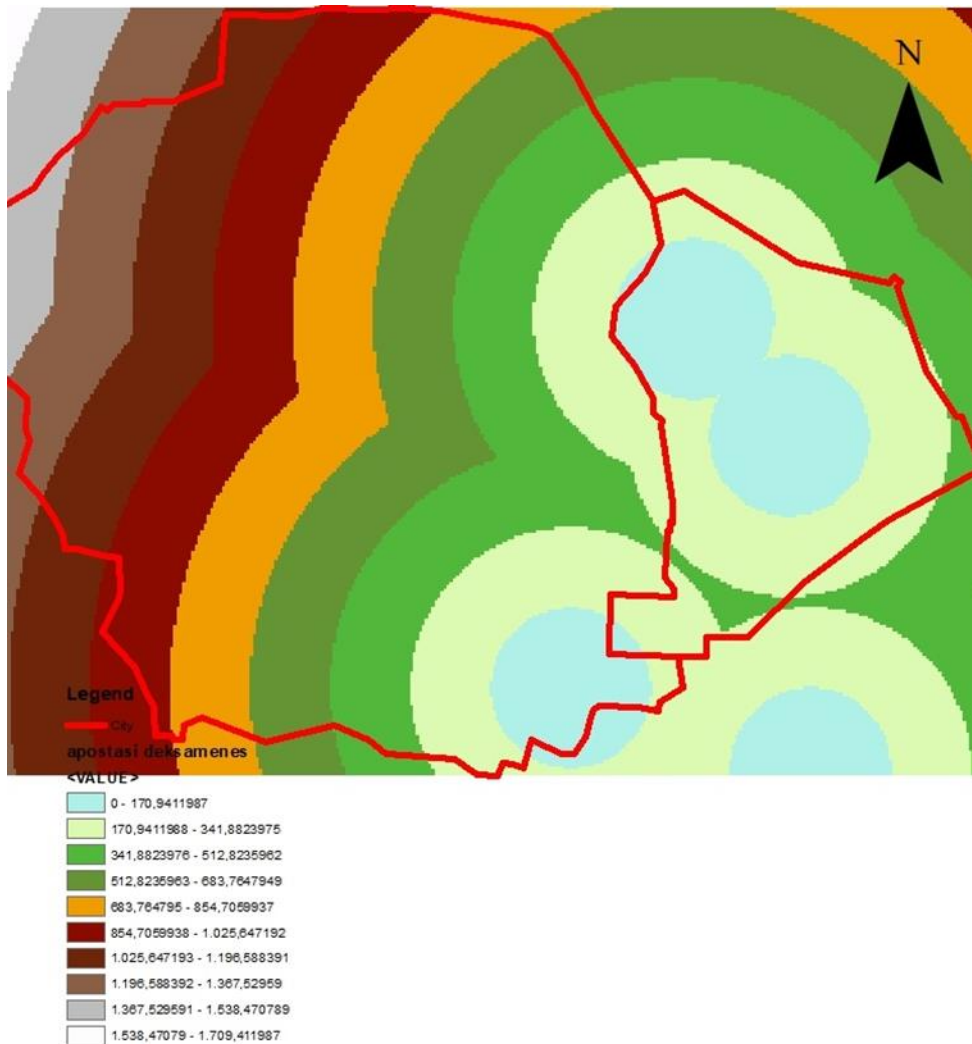
4.5 Σύνδεση Σ2 με Δεξαμενές

Η υπόθεση ότι το Σ2 συνδέονταν με τις δεξαμενές της ρωμαϊκής επέκτασης, εξακριβώνεται σ' αυτήν την ενότητα. Πιο συγκεκριμένα, μέσω των μηκοτομών του εδάφους, των διαδρομών που χαράχθηκαν, μεταξύ Σ2 και δεξαμενών, επαληθεύεται ότι μπορεί να προκύψει βαρυντική ροή. Ακολουθούν δηλαδή τα υψόμετρα τους φθίνουσα πορεία. Φυσικά, για να τοποθετηθούν οι αγωγοί, το έδαφος υφίσταται ορύγματα και επιχώσεις, με την αρχική του εικόνα να αλλάζει. Ωστόσο, για να τοποθετηθούν στις εκάστοτε θέσεις οι αγωγοί και να αποτελεί αυτό βέλτιστη

λύση, πρέπει ο όγκος ορυγμάτων και επιχωμάτων να είναι, όσο το δυνατό μικρότερος. Στην περίπτωση των διαδρομών που παρουσιάζονται, αυτή η συνθήκη ισχύει.

Αν και κρίνοντας από το castellum του Λυκαβηττού, με όσα αναφέρονται στην Ενότητα 4.3, το εσωτερικό δίκτυο δεν είχε σχεδιαστεί με την λογική της αποθήκευσης νερού σε περίπτωση βλάβης, οι πολύ κοντινές αποστάσεις των δεξαμενών, δεν το αποκλείουν. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.11, κάθε ριxel που βρίσκεται εντός της νέα επέκτασης αλλά και τα πλησίον αυτής, δεν απέχει παραπάνω από 342 m από την κοντινότερη του δεξαμενή. Όπως αναφέρθηκε και στον πρόλογο του Κεφαλαίου, κάθε ριxel αντιστοιχεί σε έκταση 5 x 5 m. Αν και, όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 4.2, στην Πομπηία οι δεξαμενές των υδατόπυργων είχαν εξίσου μικρή απόσταση μεταξύ τους, ήταν ωστόσο δεξαμενές μικρής χωρητικότητας. Δεδομένου ότι οι δεξαμενές Δ2 και Μ, έχουν μεγάλη επιφάνεια, δεν αποκλείεται το γεγονός κάποιες από αυτές, να είχαν πάντοτε αποθηκευμένο ορισμένο όγκο νερού, για έκτακτη ανάγκη.

Ο χάρτης χωρικής πληροφορίας του Σχήματος 4.11, δημιουργήθηκε στο ArcMap, μέσω του εργαλείου Euclidean distance. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, το εργαλείο αυτό υπολογίζει τις κοντινότερες αποστάσεις όλων των ριxel της περιοχής που έχει οριστεί, από το σύνολο των σημείων που περιλαμβάνει ένα vector αρχείο, που επίσης αποτελεί δεδομένο εισαγωγής. Στην προκειμένη, το αρχείο ήταν οι συντεταγμένες των δεξαμενών.



Σχήμα 4.11 Χάρτης με τις αποστάσεις όλων των σημείων της πόλης από την κοντινότερη του δεξαμενή. Διαμορφώθηκε στο ArcMap με το εργαλείο Euclidean distance.

Στην συνέχεια της ενότητας, παρατίθενται οι διαδρομές που χαράχθηκαν για να συνδέσουν το Σ2 με τις δεξαμενές, κάποιες δεξαμενές μεταξύ τους και επιπλέον την δεξαμενή 13 με τα κομμάτια αγωγών που βρίσκονται δυτικά αυτής. Αυτές οι διαδρομές, σε κάποιες περιπτώσεις ακολουθούν τα ευρήματα των αγωγών.

Για όλες τις διαδρομές, που περιλαμβάνονται στα Σχήματα 4.12-4.16, υπολογίστηκαν οι κλίσεις τους με βάση την σχέση:

$$J = \frac{\Delta H}{L} \quad (4.2)$$

και αναγράφονται στους Πίνακες 4.6- 4.10. Εφόσον η ροή γίνεται με ελεύθερη επιφάνεια, η κλίση του πυθμένα (J) με την ενεργειακή κλίση (J_e) ταυτίζονται. Έτσι, χρησιμοποιώντας το

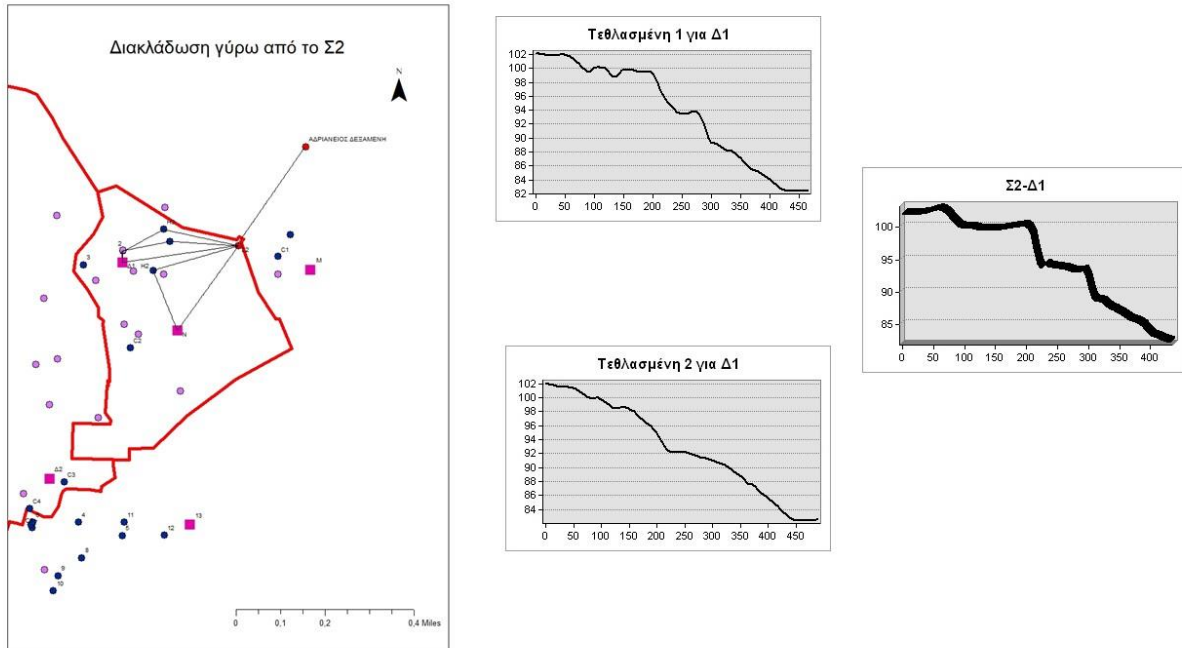
υψόμετρο αρχής και τέλους κάθε διαδρομής, και το συνολικό της μήκος, υπολογίστηκαν, πολύ απλουστευμένα, οι κλίσεις των αγωγών. Τα μήκη των αποστάσεων και οι υψομετρικές διαφορές, χρησιμοποιήθηκαν όπως υπολογίζονται από το ArcMap.

Οι κλίσεις του εδάφους για κάθε διαδρομή, θα χρησιμοποιηθούν στην επόμενη Ενότητα, για να υπολογιστούν τα ομοιόμορφα βάθη, μέσω της αντίστοιχης εξίσωσης manning. Γι' αυτό και στους Πίνακες 4.6 - 4.10, η κλίση του πυθμένα γράφεται σαν J_0 . Στην ροή με ελεύθερη επιφάνεια, δεδομένου ότι είναι μόνιμη και ομοιόμορφη, η ενεργειακή κλίση (J_e) ταυτίζεται με την υψομετρική κλίση του πυθμένα του αγωγού. Επιπλέον, ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$J_e = \frac{hf}{L} \quad (4.3)$$

Με βάση αυτήν, υπολογίστηκαν οι γραμμικές απώλειες που αναγράφονται επίσης, στους παρακάτω Πίνακες.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.12, υπάρχουν τρεις εναλλακτικές για να συνδεθεί η δεξαμενή Δ1 με το Σ2. Παρόλο που πρόκειται για μια ευθεία και δυο τεθλασμένες, δεν είναι σίγουρο ότι θα προτιμούσαν την ευθεία διαδρομή, λόγω του μικρότερου μήκους. Αφενός γιατί, για να χαραχτούν οι τεθλασμένες ακολουθήθηκαν τα κομμάτια των αγωγών που υπήρχαν. Άλλωστε μέχρι να συνδεθεί με την Δ1, μπορεί ένα μέρος της παροχής, να είχε μοιραστεί σε κάποιους παραλήπτες. Επιπρόσθετα, ακόμη και στην σύγχρονη εποχή, χρησιμοποιούμε περισσότερους από έναν αγωγό για να πετύχουμε την επιθυμητή κλίση.

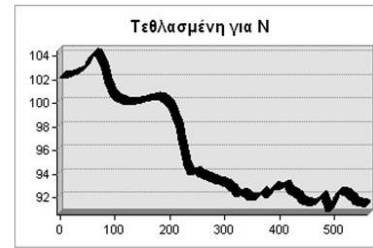
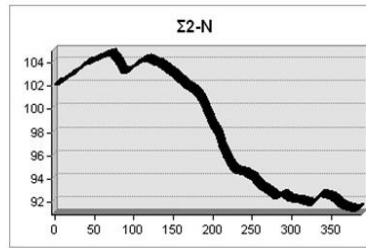
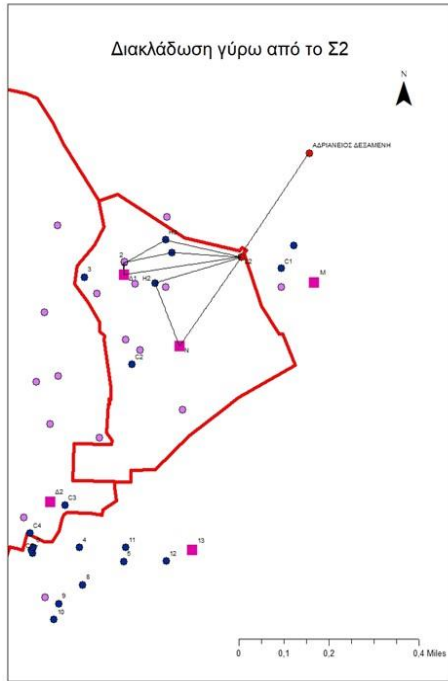


Σχήμα 4.12 Πιθανές διαδρομές αγωγών που τροφοδοτούν τη δεξαμενή Δ1

Πίνακας 4.6 Οι κλίσεις και οι γραμμικές απώλειες των διαδρομών του Σχήματος 4.12

Σημείο1	Σημείο2	H1	H2	ΔH	L	Jo	hf
Σ2	Δ1	102	82,5	19,5	422,3	0,046	0,0001
Σ2	H1	102	93,8	8,2	248,6	0,033	0,00013
H1	2	93,8	83	10,8	174,6	0,062	0,00035
	2 Δ1	83	82,5	0,5	40,9	0,012	0,00030

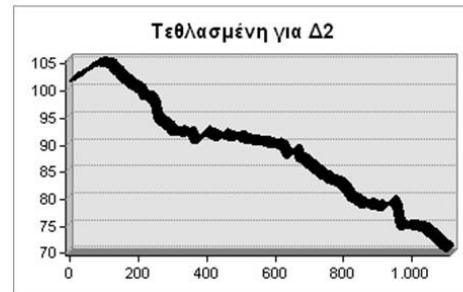
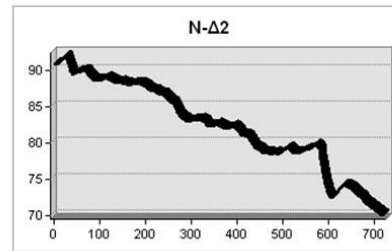
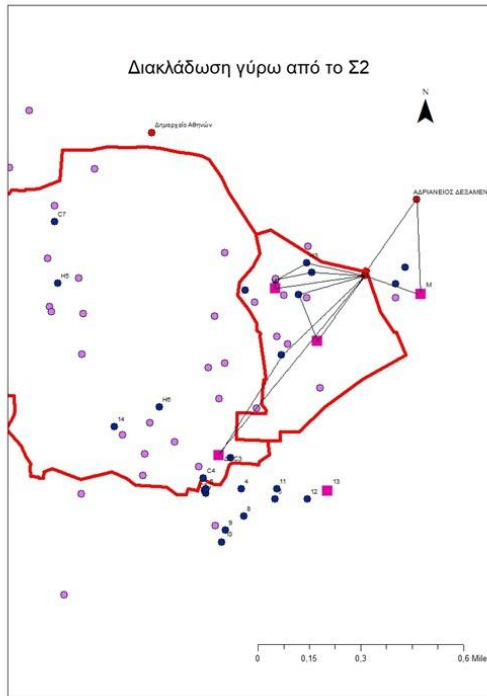
Απ' ότι φαίνεται από τα Σχήματα 4.13, 4.14, το ίδιο σκεπτικό ισχύει για τις πιθανές διαδρομές μέχρι τις δεξαμενές N και Δ2. Είναι πολύ πιθανό αυτές οι δύο δεξαμενές να συνδέονταν. Αυτή είναι η μια περίπτωση του Σχήματος 4.14. Δεν έχουμε τις διαστάσεις της δεξαμενής N, αλλά σε αυτή την περίπτωση θα έπρεπε να είναι εξίσου μεγάλη με την Δ2 (14.6 x 6 m).



Σχήμα 4.13 Πιθανές διαδρομές αγωγών που τροφοδοτούσαν την δεξαμενή N

Πίνακας 4.7 Οι κλίσεις και οι γραμμικές απώλειες των διαδρομών του Σχήματος 4.13

Σημείο1	Σημείο2	H1	H2	ΔH	L	Jo	hf
Σ2	N	102	91,5	10,5	377,8	0,028	7,36E-05
Σ2	H2	102	92	10	321,8	0,031	9,66E-05
H2	N	92	91,5	0,5	236,2	0,0021	8,97E-06

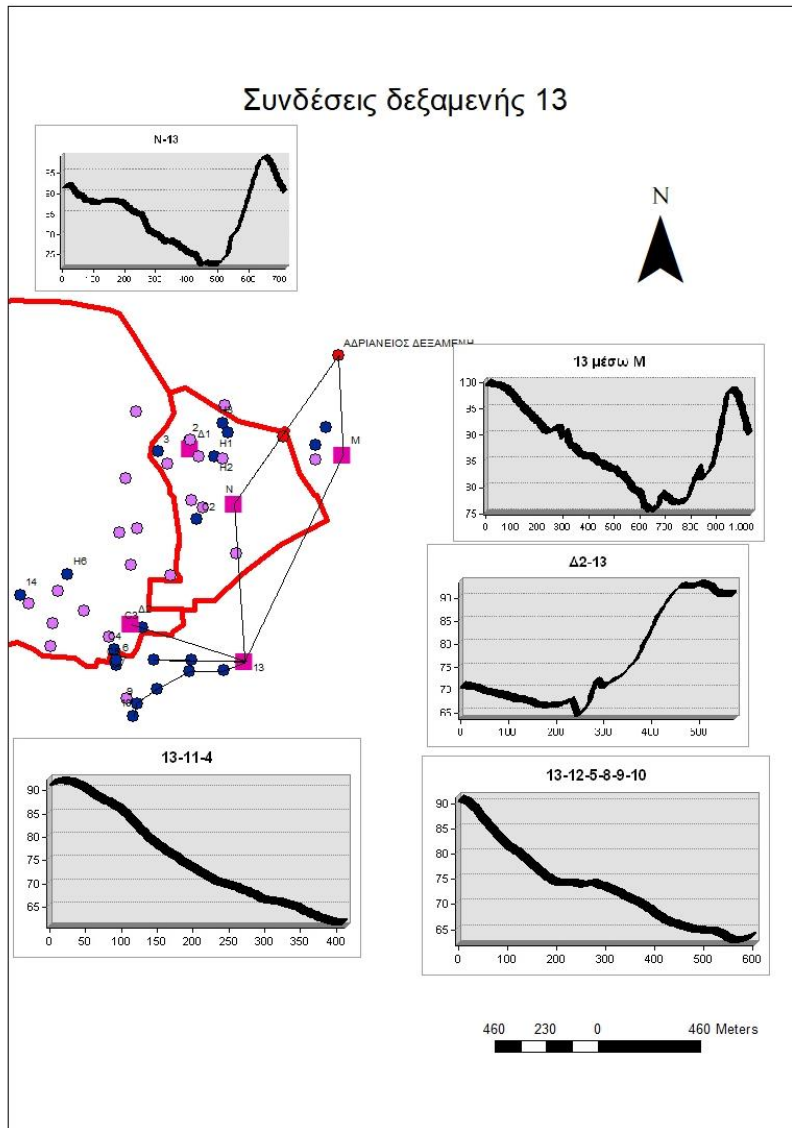


Σχήμα 4.14 Πιθανές διαδρομές αγωγών που τροφοδοτούσαν την δεξαμενή Δ2

Πίνακας 4.8 Οι κλίσεις και οι γραμμικές απώλειες των διαδρομών του Σχήματος 4.14

Σημείο1	Σημείο2	H1	H2	ΔH	L	Jo	hf
Σ2	Δ2	102	70	32	1085,0	0,029	2,72E-05
Σ2	C2	102	90	12	538,3	0,022	4,14E-05
C2	Δ2	90	70	20	555,7	0,036	6,48E-05

Με βάση τις μηκοτομές του Σχήματος 4.15, η δεξαμενή 13 είναι αδύνατο να συνδεόταν με καμία από τις υπόλοιπες δεξαμενές. Συνδέεται ωστόσο με τα κομμάτια αγωγών που βρέθηκαν στα δυτικά της. Δημιουργούνται από αυτή τη σύνδεση, δύο αγωγοί που επιτρέπουν να υπάρξει βαρυτική ροή.

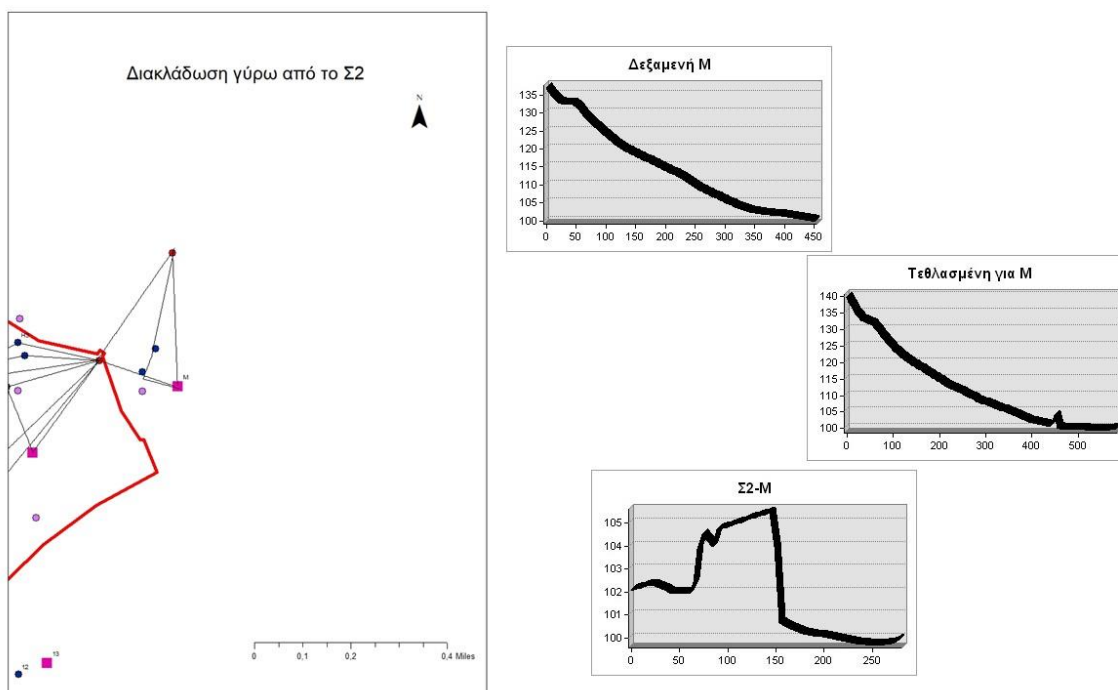


Σχήμα 4.15 Διαδρομές αγωγών από και προς τη δεξαμενή 13

Πίνακας 4.9 Οι κλίσεις και οι γραμμικές απώλειες των διαδρομών του Σχήματος 4.15

Σημείο1	Σημείο2	H1	H2	ΔH	L	Jo	hf
13	11	92	69,8	22,2	240	0,092	0,0004
11	4	69,8	62	7,8	166,1	0,047	0,0003
13	12	92	80	12	102,9	0,117	0,001
12	5	80	73	7	152	0,046	0,0003
5	8	73	65	8	167,1	0,048	0,0003
8	9	65	63	2	107,9	0,019	0,0002
9	10	63	62	1	58,1	0,02	0,0003

Όσον αφορά την Δεξαμενή Μ, ακόμη και η μηκοτομή του εδάφους, καθιστά αδύνατη τη σύνδεση της με το Σ2. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.16, η Μ τροφοδοτούταν απευθείας από την δεξαμενή του Λυκαβηττού. Είναι ο τρίτος κλάδος που έχει θεωρηθεί από την προηγούμενη ενότητα, ότι υπήρχε. Ωστόσο, οι σπές εξόδου που βρέθηκαν στην αρχαία Δεξαμενή ήταν είτε μία (Ziller, 1877), που έχει απορριφθεί από τα προηγούμενα, είτε δύο (Κορδέλλας, 1879). Παρά ταύτα, υπάρχουν κάποια δεδομένα που ισχυροποιούν αυτήν την υπόθεση και που παρουσιάστηκαν στην παραπάνω ενότητα. Η Μ είναι μια δεξαμενή με μεγάλη επιφάνεια (8 x 5.5 m). Σε καμία περίπτωση λοιπόν δεν έχουμε να κάνουμε με μια δεξαμενή λουτρού ή οικίας, αλλά με μια δεξαμενή που συνδεόταν πιθανότατα, με αρκετούς παραλήπτες. Έτσι για να εισρέει σ' αυτήν ανάλογη παροχή, θα συνδεόταν άμεσα με το Λυκαβηττό.



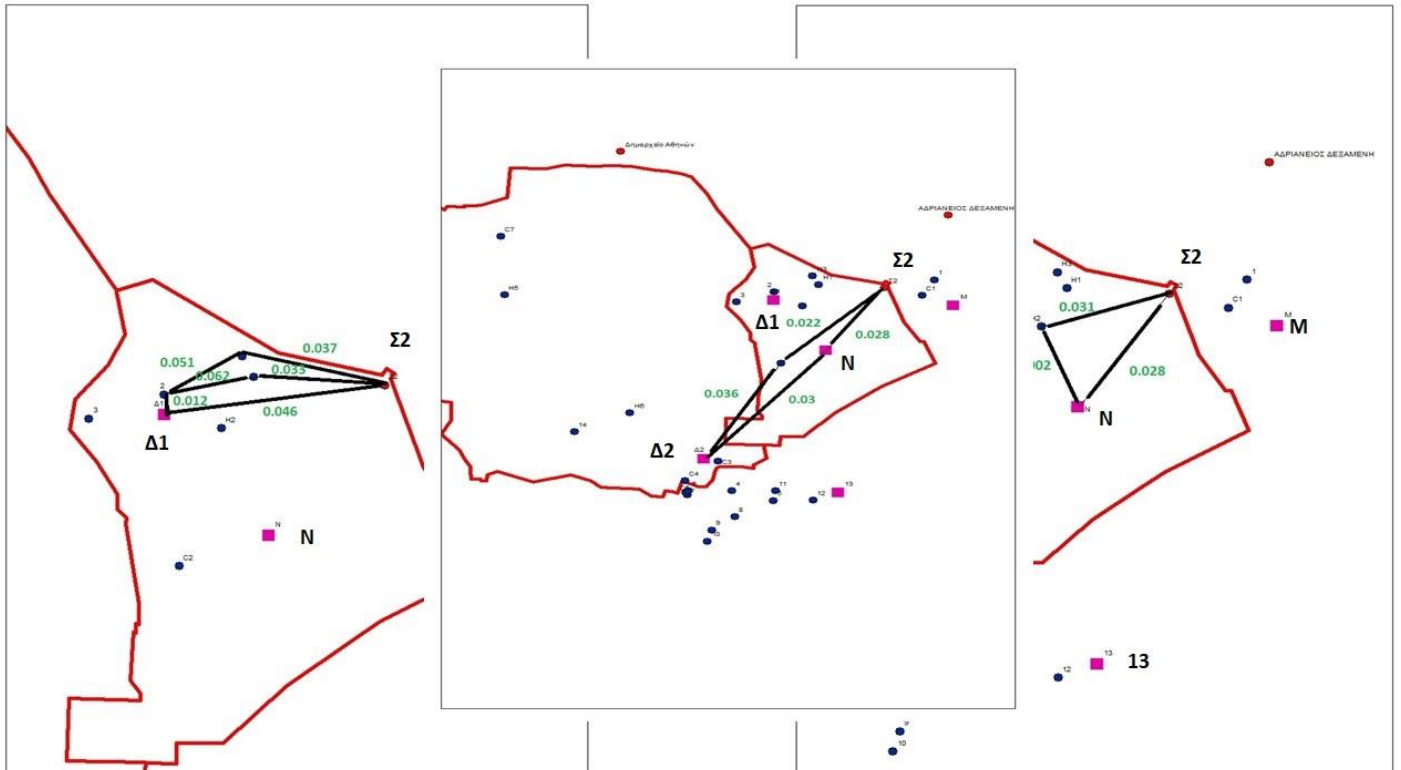
Σχήμα 4.16 Διαδρομές προς την Δεξαμενή Μ.

Πίνακας 4.10 Οι κλίσεις και οι γραμμικές απώλειες των διαδρομών του Σχήματος 4.16

Σημείο1	Σημείο2	H1	H2	ΔH	L	Jo	hf
ΔΕΞΑΜΕΝΗ	M	133,37	102	31,37	446,3	0,070	0,0002
ΔΕΞΑΜΕΝΗ	1	133,37	105	28,37	324,1	0,088	0,0003
1	C1	105	104	1	89,4	0,011	0,0001
C1	M	104	102	2	129	0,016	0,0001

Στους Πίνακες 4.6 - 4.10, οι γραμμικές απώλειες σε όλες τις περιπτώσεις είναι αρκετά μικρές. Επομένως οι ροές είναι πραγματοποιήσιμες. Από την άλλη, οι κλίσεις ποικίλλουν. Η μικρότερη τιμή είναι 0.0021 (H2-N) και η μεγαλύτερη 0.12 (13-12). Παρακάτω θα δούμε την παροχή που προδιαγράφουν οι κλίσεις αυτές.

Στο Σχήμα 4.17 παρακάτω, είναι σχεδιασμένες οι συνδέσεις του σημείου Σ2 με τις δεξαμενές της νέας πόλης, που ευσταθεί με βάση τα παραπάνω, η ύπαρξη τους.



Σχήμα 4.17 Οι πιθανές συνδέσεις του Σ2 με τις δεξαμενές Δ1, Δ2, N. Αναγράφονται, με πράσινο χρώμα οι κλίσεις τους

4.6 Οι παροχές εντός του δικτύου

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, οι δύο ελλειπτικοί αγωγοί των οποίων οι οπές βρέθηκαν από την εσωτερική μεριά της Δεξαμενής του Λυκαβηττού, έχουν την ίδια διατομή. Δεν ήταν τοποθετημένες ωστόσο στο ίδιο ύψος. Αυτό φαίνεται στην Εικόνα 4.2. Μια από τις δύο είναι ψηλότερα, κατά ύψος ίσο με το ένα τέταρτο της μεγάλης διαμέτρου της έλλειψης. Όπως αναγράφεται στον Πίνακα 4.4, η διάμετρος αυτή (α) ισούται με 0.18 m. Οπότε η υψομετρική διαφορά ισούται με 4.5 cm.



Εικόνα 4.2 Η υψομετρική διαφορά των οπών της Αδριάνειας Δεξαμενής. Πηγή: (Η Καθημερινή, 2019) μετά από προσαρμογή

Η εσωτερική πλευρά της δεξαμενής που φαίνεται στην Εικόνα 4.2, ανήκει στην νότια πρόσοψη, απέναντι από την πόλη των Αθηνών. Επομένως η χαμηλότερη οπή, αντιστοιχεί στον κύριο κλάδο, που κατευθυνόταν προς το Δημαρχείο. Στις Ενότητες 4.4 και 4.5, αποδείχτηκε πως, υπήρχε και ένας τρίτος κύριος κλάδος που κατέληγε στην δεξαμενή Μ. Δεδομένου ότι η Δεξαμενή Μ βρίσκεται ανατολικότερα του σημείου Σ2, η δεύτερη οπή αντιστοιχεί στον κύριο κλάδο που κατευθυνόταν προς το Σ2.

Με βάση τον Πίνακα 4.5, της ενότητας 4.3, καθένας από τους ελλειπτικούς αγωγούς είχε δυνατότητα παροχευτικότητας $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$. Επομένως αν οι κύριοι σωλήνες ήταν οι δύο, των οποίων οι οπές έχουν βρεθεί, θα μπορούσαν να τροφοδοτούν την πόλη με 12100 m^3 ημερησίως. Ωστόσο η υπόγεια σήραγγα, τροφοδοτούσε την Δεξαμενή με ποσότητα από 5000 έως 10000 m^3 ημερησίως (Μαμάσης & Δευτεραίος, 2018). Η παροχευτικότητα των σωλήνων λοιπόν, ακόμη και στην περίπτωση των δύο, είναι μεγαλύτερη από την ανώτερη τιμή του τελευταίου διαστήματος. Άρα οι κύριοι σωλήνες δεν ήταν ποτέ πλήρως γεμάτοι και η παροχή τους αντιστοιχούσε σε ένα μέρος της διατομής και όχι σε ολόκληρη την επιφάνεια αυτής.

Δεδομένου ότι οι δύο διατομές των οπών που βρέθηκαν στο εσωτερικό της Δεξαμενής, είναι όμοιες, θα γίνει η απλοποιητική παραδοχή ότι και ο τρίτος σωλήνας εξόδου, είχε επίσης την ίδια διατομή. Στον Πίνακα 4.11, αναγράφεται για κάθε παροχή του διαστήματος $[5000, 10000] \text{ m}^3/\text{s}$, με βήμα των 1000, η αντίστοιχη παροχή καθενός κύριου αγωγού. Οι υπολογισμοί του Πίνακα, έχουν γίνει και για την περίπτωση όπου οι κλάδοι είναι δύο, αν και στην συνέχεια αυτή η υπόθεση δεν χρησιμοποιείται.

Πίνακας 4.11 Η παροχή των κύριων σωλήνων

Εξωτ. Υδραγ. (m ³ /d)	Εξωτ. Υδραγ. (m ³ /s)	Κύριοι Αγωγοί	Κύριος (m ³ /s)	A (m ²)
5000	0,058	3	0,019	0,017
6000	0,069		0,023	0,017
7000	0,081		0,027	0,017
8000	0,093		0,031	0,017
9000	0,104		0,035	0,017
10000	0,116		0,039	0,017
Εξωτ. Υδραγ. (m ³ /d)	Εξωτ. Υδραγ. (m ³ /s)	Κύριοι Αγωγοί	Κύριος (m ³ /s)	A (m ²)
5000	0,058	2	0,029	0,017
6000	0,069		0,035	0,017
7000	0,081		0,041	0,017
8000	0,093		0,046	0,017
9000	0,10		0,052	0,017
10000	0,12		0,058	0,017

Με βάση τις παροχές των κύριων αγωγών του Πίνακα 4.11, από τα στοιχεία για την υπόγεια σήραγγα (Μαμάσης & Δευτεραίος, 2018), υπολογίστηκαν το κρίσιμο βάθος (y_c), η κρίσιμη κλίση (J_c), το ομοιόμορφο βάθος (y_o) και η ταχύτητα της ροής (V) των δευτερευόντων αγωγών, που διακλαδίζονται γύρω από το Σ2. Αυτό επειδή μόνο στην περιοχή που εξυπηρετούσε ο 2^{ος} κύριος κλάδος (Δεξαμενή Λυκαβηττού-Σ2), έχουν βρεθεί δεξαμενές. Οι υπολογισμοί αναλυτικά, υπάρχουν στο Παράρτημα. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι παρακάτω εξισώσεις Manning, (4.4)-(4.8), για ροή με ελεύθερη επιφάνεια (Παπανικολάου, 2017, pp. 123, 125). Εξετάστηκαν οι κλίσεις όλων των δευτερευόντων αγωγών, του Σχήματος 4.17.

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * J^{\frac{1}{2}} \quad (4.4)$$

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * J^{\frac{1}{2}} \quad (4.5)$$

$$R = \frac{b * y}{b + 2 * y} \quad (4.6)$$

$$y_c = \left(\frac{Q^2}{b^2 * g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.7)$$

$$y_o = \frac{1}{b} * \left[Q * \frac{n}{J^{\frac{1}{2}}} * (b + 2 * y)^{\left(\frac{2}{3}\right)} \right]^{\frac{3}{5}} \quad (4.8)$$

Όλα τα παραπάνω, δεδομένης της ορθογωνικής διατομής των αγωγών. Για να εκτιμηθεί το πλάτος, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία του Πίνακα 3.1. Με βάση αυτόν επιλέχθηκε να υπολογιστεί το

κρίσιμο βάθος (y_c) και η αντίστοιχη κλίση (J_c) και ταχύτητα (V_c), για πλάτη των αγωγών μεταξύ [0.85, 1.1] m, με βήμα 0.05. Οι υπολογισμοί αυτοί βρίσκονται στο Παράρτημα. Οι Πίνακες 4.12 και 4.13, με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, αναφέρονται σε πλάτος αγωγού 0.975 m, ίσο με το μέσο όρο τιμών του παραπάνω διαστήματος. Ο συντελεστής mapping (n) για αγωγούς από φυσικούς λίθους, λήφθηκε 0.04.

Επειδή, υπάρχουν δύο εκδοχές, σχετικά με το πλήθος των δευτερευόντων αγωγών, που διακλαδίζονταν γύρω από το Σ2, γι' αυτό και οι δύο πίνακες τελικών αποτελεσμάτων. Με βάση το Σχήμα 4.17, το Σ2 συνδεόταν σίγουρα με τις δεξαμενές Δ1, Ν. Όσον αφορά τη Δ2, αν εκείνη δεν συνδέονταν με την Ν, αλλά κατευθείαν με το Σ2, οι δευτερεύοντες είναι τρεις. Διαφορετικά είναι δύο. Στην πρώτη περίπτωση αναφέρεται ο Πίνακας 4.12 και στην δεύτερη ο Πίνακας 4.13. Όλα τα παραπάνω με βάση την απλοποιητική παραδοχή, ότι η παροχή ισομοιράζονταν, στους δευτερεύοντες αγωγούς του κλάδου αυτού.

Πίνακας 4.12 Τα κρίσιμα και ομοιόμορφα βάθη και ο χαρακτηρισμός της ροής, στην περίπτωση που η παροχή από το Σ2, ισομοιράζεται σε τρεις δεξαμενές

Εξωτ. Υδρ. (m ³ /d)	Κύριος (m ³ /s)	Δευτ. (m ³ /s)	b (m)	n	J	y_o (m)	V (m/s)	y_c	J_c	Ροή
5000	0,019	0,006	0,975	0,04	0,002-0,062	0,017-0,048	0,14-0,4	0,0165	0,064	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
6000	0,023	0,008	0,975	0,04	0,002-0,062	0,0186-0,05	0,15-0,42	0,0186	0,061	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
7000	0,027	0,009	0,975	0,04	0,002-0,062	0,02-0,059	0,16-0,45	0,02	0,06	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
8000	0,031	0,010	0,975	0,04	0,002-0,062	0,022-0,064	0,16-0,48	0,023	0,06	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
9000	0,035	0,012	0,975	0,04	0,002-0,062	0,024-0,069	0,17-0,5	0,024	0,058	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
10000	0,039	0,013	0,975	0,04	0,002-0,062	0,025-0,07	0,18-0,52	0,026	0,057	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ

Πίνακας 4.13 Τα κρίσιμα και ομοιόμορφα βάθη και ο χαρακτηρισμός της ροής, στην περίπτωση που η παροχή από το Σ2, ισομοιράζεται σε δύο δεξαμενές

Εξωτ. Υδρ. (m ³ /d)	Κύριος (m ³ /s)	Δευτερευόντων (m ³ /s)	b (m)	n	J	y_o (m)	V (m/s)	y_c (m)	J_c	Ροή
5000	0,019	0,010	0,975	0,04	0,002-0,062	0,021-0,061	0,16-0,46	0,0216	0,059	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
6000	0,023	0,012	0,975	0,04	0,002-0,062	0,024-0,069	0,17-0,5	0,024	0,057	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
7000	0,027	0,014	0,975	0,04	0,002-0,062	0,026-0,076	0,18-0,53	0,026	0,056	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
8000	0,031	0,015	0,975	0,04	0,002-0,062	0,028-0,083	0,19-0,56	0,029	0,054	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
9000	0,035	0,017	0,975	0,04	0,002-0,062	0,03-0,09	0,2-0,58	0,031	0,053	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
10000	0,039	0,019	0,975	0,04	0,002-0,062	0,033-0,095	0,2-0,6	0,033	0,052	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ

Σε κάθε περίπτωση λοιπόν, όπως αποτυπώνεται στα αποτελέσματα των Πινάκων 4.12 και 4.13, η ροή εντός των ανοιχτών αγωγών ήταν υποκρίσιμη. Δεδομένου ότι πρόκειται για δίκτυο διανομής πόλεως, αυτό είναι λογικό. Να ρέει δηλαδή το νερό με ποτάμια, και όχι χειμαρρώδη, ταχύτητα.

4.7 Υδατική κατανάλωση

Έχει ήδη αναφερθεί στις παραπάνω ενότητες πως η σήραγγα του Αδριάνειου, τροφοδοτούσε την πόλη καθημερινά με παροχή που κυμαίνονταν μεταξύ 5000-10000 L/d. Προκειμένου να αξιολογηθεί η διαθεσιμότητα του νερού στην ρωμαϊκή Αθήνα, είναι χρήσιμο να υπολογιστεί η κατά κεφαλήν ημερήσια κατανάλωση. Έτσι χρειάζεται να εκτιμηθεί πρώτα ο πληθυσμός της πόλης.

Η εκτίμηση του ρωμαϊκού αστικού πληθυσμού, και γενικότερα του πληθυσμού μιας αρχαίας πόλης, βασίζεται στην παρακάτω σχέση:

$$P = k * A \quad (4.9)$$

όπου P είναι ο πληθυσμός (hab), A η έκταση της πόλης σε εκτάρια (ha) και το k είναι η πυκνότητα του πληθυσμού σε κατοίκους ανά εκτάριο (hab/ha). Η πυκνότητα για τα πρωτεύοντα κέντρα λαμβάνεται μεταξύ 327-312 hab/ha, ενώ για τα δευτερεύοντα κυμαίνεται από 216 έως 233 hab/ha (Γουλιανού, 2020, pp. 10,11).

Με βάση τα παραπάνω και δεδομένης της έκτασης της ρωμαϊκής Αθήνας, που ήταν 234 εκτάρια, ο πληθυσμός της, αν θεωρηθεί πρωτεύον αστικό κέντρο, είναι μεταξύ 73008 με 76518 κατοίκους. Αν θεωρηθεί δευτερεύον αστικό κέντρο, τότε προκύπτουν 50544-54522 κάτοικοι. Διαιρώντας την συνολική ημερήσια κατανάλωση της πόλης, με τη μέση τιμή των παραπάνω διαστημάτων, η ημερήσια ατομική κατανάλωση που προκύπτει, φαίνεται παρακάτω στον Πίνακα 4.14.

Πίνακας 4.14 Ημερήσια ατομική κατανάλωση νερού, στην ρωμαϊκή Αθήνα

Πληθυσμός	Συνολική κατανάλωση (L/d)	Ατομική κατανάλωση (L/d)
75000	5000000	67
	6000000	80
	7000000	93
	8000000	107
	9000000	120
	10000000	133
52500	5000000	95
	6000000	114
	7000000	133
	8000000	152
	9000000	171
	10000000	190

Από τον Πίνακα 4.14 φαίνεται ότι η ατομική ημερήσια κατανάλωση νερού, κυμαίνονταν μεταξύ 67-133 L/d, στην περίπτωση που ο πληθυσμός της πόλης ακολουθεί την πυκνότητα ενός

πρωτεύοντος αστικού κέντρου και μεταξύ 95-190 L/d, αν πρόκειται για δευτερεύον αστικό κέντρο. Σε κάθε περίπτωση, η κατανάλωση δεν είναι μικρότερη από 70 και μεγαλύτερη από 200 L/d/κάτοικο. Αν και το Αδριάνειο υδραγωγείο δεν ήταν η μόνη πηγή ύδρευσης για τους κατοίκους της Αθήνας, καθώς λειτουργούσε ακόμη το Πεισιστράτειο ενώ υπήρχαν και πηγάδια εντός της πόλης, η ατομική κατανάλωση είναι μικρότερη από τα 216-324 L/d της Πομπηίας, που υπολογίστηκαν στην ενότητα 2.4. Η Πομπηία βέβαια, αποτελούσε τόπο παραθερισμού εύπορων κατοίκων, οπότε είναι λογικό να έχει τόσο μεγαλύτερη κατανάλωση. Στην Ρώμη, αντιστοιχούσαν σε κάθε κάτοικο 200 L/d (Μαμάσης & Δευτεραίος, 2018). Η τιμή αυτή είναι πιο κοντά στα δεδομένα της Αθήνας. Εν κατακλείδι, η διαθεσιμότητα νερού για την Αθήνα ήταν επαρκής, αλλά όχι άφθονη.

5. Σύνοψη - Συμπεράσματα – Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

5.1 Σχετικά με την βιβλιογραφική ανασκόπηση

- Πριν να κατασκευαστεί το Αδριάνειο Υδραγωγείο (134-140 μ.Χ.), υπήρχε το Πεισιστράτειο Υδραγωγείο, το οποίο μεταφέρει νερό ακόμη και σήμερα. Επιπρόσθετα, το πόσιμο νερό το συλλέγαν από πηγάδια που βρίσκονταν μέσα στην πόλη, αλλά και πέριξ αυτής (π.χ. στο Κεφαλάρι). Επομένως το Αδριάνειο, κατασκευάστηκε όχι γιατί τίθεντο ζήτημα έλλειψης νερού αλλά για να διευκολύνει την πρόσβαση των κατοίκων σ' αυτό.
- Το γεγονός ότι τόσο το Πεισιστράτειο, όσο και το Αδριάνειο υδραγωγείο, εκμεταλλεύτηκαν τους υπόγειους υδροφορείς αλλά και η εκτεταμένη χρήση πηγαδιών, επιβεβαιώνουν το ξηρό και άνυδρο κλίμα της Αθήνας.
- Υπολείμματα αγωγών και δεξαμενών, έχουν βρεθεί από τους πρώτους πολιτισμούς που αναπτύχθηκαν στον Ελλαδικό χώρο. Από τον Μινωικό και Μυκηναϊκό πολιτισμό, υπάρχουν ευρήματα πηγαδιών, λιθόκτιστων ή πήλινων αγωγών και δεξαμενών αποθήκευσης βρόχινου νερού. Ολοκληρωμένο δίκτυο υπήρχε εντός των παλατιών.
- Στην αρχαϊκή και την κλασσική περίοδο, η τεχνολογία γύρω από την κατασκευή των υδραγωγείων δεν εξελίχθηκε. Ωστόσο, θεωρούνταν πια δεδομένο ότι μια πόλη πρέπει να έχει εσωτερικό σύστημα ύδρευσης, οπότε οι πόλεις χτίζονταν στοχευμένα όπου υπήρχαν πηγές.
- Η σημαντική τεχνολογική εξέλιξη σημειώθηκε στα ελληνιστικά χρόνια με την κατασκευή και χρήση αγωγών που μετέφεραν νερό υπό πίεση, καθώς και ανεστραμμένων σιφώνων. Η βαρυστατική ροή δεν αποτελεί πλέον την μοναδική λύση.
- Οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν στους κλάδους των εξωτερικών υδραγωγείων, κλειστές διατομές, με ροή που είχε ελεύθερη επιφάνεια. Στο δίκτυο διανομής εντός των πόλεων, οι αγωγοί ήταν είτε κεραμικοί ή μολύβδινοι. Συχνά κατασκεύαζαν μεγάλες γέφυρες για να διατηρήσουν οι αγωγοί την κλίση τους. Μέχρι τότε, τα υδραγωγεία ήταν μόνο υπόγεια.
- Οι γέφυρες των υδραγωγείων και τα φράγματα, αποτελούν μια ακόμη απόδειξη ότι, οι Ρωμαίοι κατείχαν την ικανότητα να κατασκευάζουν μεγάλης κλίμακας έργα.
- Τα ρωμαϊκά λουτρά αποτελούσαν καθημερινή συνήθεια για τους πολίτες της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας. Είτε πρόκειται για μεγάλα συγκροτήματα (Θέρμες) είτε για μικρότερα, διατηρούσαν μια συγκεκριμένη αλληλουχία δωματίων. Διέθεταν δωμάτια με κρύο, χλιαρό και ζεστό νερό. Όσο μεγαλύτερα ήταν σε έκταση, διέθεταν και ανάλογης επιφάνειας πισίνες. Επομένως η υδατική κατανάλωση του κάθε λουτρού ήταν σημαντική

και αποτέλεσε βασικό παράγοντα, ώστε να σημειωθεί τόσο μεγάλη εξέλιξη των εσωτερικών συστημάτων ύδρευσης, κατά την ρωμαϊκή εποχή.

➤ Η τυπική διάταξη του εσωτερικού συστήματος ύδρευσης μιας ρωμαϊκής πόλης είναι η εξής:

- Από το εξωτερικό υδραγωγείο, το νερό εισέρχεται σε ένα κτίσμα, το Castellum Aquae, που βρίσκεται σε κάποια είσοδο της πόλης. Μέσα σ' αυτό στεγάζονταν μια δεξαμενή, με διάταξη τέτοια ώστε, να ρυθμίζει την παροχή εξόδου των σωλήνων που συνδέονται με το Castellum.
- Οι αγωγοί που μετέφεραν το νερό από το Castellum στην πόλη, συνδέονταν με τις οπές εξόδου της δεξαμενής, μέσω μεταλλικών ακροφυσίων (calix).
- Κατόπιν, οι αγωγοί αυτοί, μετέφεραν το νερό στις δεξαμενές της πόλης. Από τις δεξαμενές τροφοδοτούνταν οι δευτερεύοντες αγωγοί, που μεταφέραν το νερό στους παραλήπτες. Δηλαδή στα λουτρά, στις βρύσες της πόλης, σε σπίτια και χώρους εργασίας.

Την διάταξη αυτή, την ακολουθούν τόσο η Πομπηία, όσο και η Αθήνα.

➤ Οι μολύβδινοι σωλήνες κατασκευάζονταν από φύλλα μόλυβδου, τα οποία τα καμπύλωναν και κατόπιν τα συγκολλούσαν, αποκτώντας τελικά ελλειπτική διατομή. Σαν μέγεθος αναφοράς για την παροχетеυτικότητα, χρησιμοποιούνταν η quinaria. Πρόκειται για σωλήνα με παροχή 0.48 L/s, δεδομένης ταχύτητας 1.144 m/s. Διαιρούσαν την συνολική διατομή των σωλήνων που χρησιμοποιούσαν με την διατομή της, για να υπολογίσουν η εν λόγω παροχή, σε πόσες quinariae αντιστοιχεί.

5.2 Σχετικά με την Πομπηία

- Το δίκτυο διανομής της Πομπηίας, ακολουθεί την τυπική διάταξη των δικτύων των ρωμαϊκών πόλεων, που περιεγράφηκε στο 5.1. Το Castellum συνδέονταν με την πόλη μέσω τριών κύριων κλάδων, του ανατολικού, του δυτικού και του κεντρικού. Αυτοί τροφοδοτούσαν τους 14 υδατόπυργους της πόλης. Οι τελευταίοι είχαν στην οροφή τους δεξαμενές. Οι χωρητικότητες των δεξαμενών κυμαίνονται στο διάστημα $[0.2, 2.2] \text{ m}^3$, με μέση χωρητικότητα 1 m^3 .
- Το δίκτυο αποτελούνταν εξ ολοκλήρου από μολύβδινους σωλήνες με ροή υπό πίεση.
- Η ύπαρξη υδατόπυργων, συνδέεται με την ανάγκη να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα η πίεση εντός του δικτύου.
- Στον πυθμένα κάθε δεξαμενής, συνδέονταν σωλήνες που κατευθύνονταν στον επόμενο υδατόπυργο και στους υπόλοιπους παραλήπτες (δημόσιας ή ιδιωτικής

χρήσης). Με αντίστροφους σίφωνες, το νερό ανέβαινε από την στάθμη της βάσης των υδατόπυργων και των λουτρών, στην ανώτερη στάθμη των δεξαμενών που βρίσκονταν στην οροφή των κτιρίων.

- Η χαμηλή στάθμη της δεξαμενής εντός του castellum, περίπου 1 m, αποδεικνύει ότι λειτουργούσε μόνο για να ρυθμίζει την παροχή των σωλήνων εξόδου, και όχι για να αποθηκεύει νερό. Επιπρόσθετα, δεδομένης της μικρής τους χωρητικότητας, ούτε οι δεξαμενές των υδατόπυργων αποθήκευαν νερό. Έτσι, όλο το δίκτυο λειτουργούσε με νερό συνεχώς τρεχούμενο, χωρίς να υπάρχει πρόβλεψη για κατάσταση βλάβης. Μόνο οι δεξαμενές των λουτρών αποθήκευαν σημαντικό όγκο νερού.
- Με βάση τις αρχαιολογικές ενδείξεις, βαλβίδες κλεισίματος υπήρχαν τόσο στο σπίτια, όσο και στα λουτρά, για να ρυθμίζουν την κατανάλωση. Τα τελευταία, ενώ τροφοδοτούνταν συνεχώς κατά τη διάρκεια της ημέρας με νερό, τις ώρες της μικρής κατανάλωσης, αποθηκεύαν το νερό στην δεξαμενή.
- Από το εξωτερικό υδραγωγείο, εισέρχονταν στο Castellum 75 L/s. Αυτή η παροχή μοιράζονταν στους τρεις κλάδους. Το μεσαίο άνοιγμα αντιστοιχούσε στον ανατολικό κλάδο που κάλυπτε την μεγαλύτερη υδατική ανάγκη. Για σωλήνα διαμέτρου 26 cm, εξυπηρετούσε παροχή 34 L/s, περίπου την μισή της συνολικής, με ταχύτητα 0.64 m/s. Η μικρή ταχύτητα οφείλεται στη μικρή υψομετρική διαφορά μεταξύ οπής και ανώτερης στάθμης της δεξαμενής του 1^{ου} υδατόπυργου.
- Η υπόλοιπη παροχή, 41L/s, θα μπορούσαν να ισομοιράζεται στον κεντρικό και δυτικό κλάδο, δεδομένου ότι οι δύο οπές εκατέρωθεν της κεντρικής είχαν ίδια διατομή.
- Ο ανατολικός κλάδος τροφοδοτούσε με την σειρά, τους υδατόπυργους 1-6, ενώ ο υδατόπυργος 1 συνδέονταν και με τον 14.
- Με βάση κάποια ευρήματα σωλήνων, από τον 3^ο στον 4^ο υδατόπυργο, μεταφέρονταν 20 L/s.
- Τα Στάβια λουτρά, τροφοδοτούνταν από τον 4^ο υδατόπυργο με παροχή 3 L/s.
- Οι υδατόπυργοι του ανατολικού κλάδου, συγκρατούσαν κατά μέσο όρο 4.8 L/s, για να τα διοχετεύσουν στους παραλήπτες τους. Μέσα στον κλάδο, από τον πρώτο προς τον τελευταίο υδατόπυργο, η παροχή που συγκρατιόνταν από τους υδατόπυργους, αυξάνεται.
- Η ταχύτητα ροής εντός των σωλήνων του ανατολικού κλάδου, είναι κατά μέσο όρο 0.8 m/s, με τιμές που κυμαίνονται εντός του διαστήματος [0.63, 1.36] m/s.
- Με βάση την παροχή 75 L/s του εξωτερικού υδραγωγείου, η Πομπηία κατανάλωνε ημερησίως 6480000 L. Ο εκτιμώμενος πληθυσμός της πόλης είναι 20000-30000 κάτοικοι. Επομένως η ατομική ημερήσια κατανάλωση, κυμαίνεται

μεταξύ 216-324 L. Στα ίδια επίπεδα δηλαδή με την κατανάλωση στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες του σύγχρονου κόσμου. Υπήρχε επομένως άφθονο νερό διαθέσιμο, στην αρχαία πόλη της Πομπηίας.

- Ακόμη και ο μικρότερος από τους πρότυπους ρωμαϊκούς σωλήνες, η *quinarìa*, συνδεδεμένη με τους υδατόπυργους 2,6,14, για αποστάσεις μεταξύ [30, 60] m, μεταφέρει παροχή δεκαπλάσια από την σημερινή ημερήσια κατανάλωση νερού ενός νοικοκυριού. Οι παραπάνω υδατόπυργοι, χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά. Επομένως είτε υπήρχαν και σωλήνες μικρότεροι από την *quinarìa*, που συνδέονταν με τους παραλήπτες ή αυτή διακλαδίζονταν σε μικρότερους αγωγούς, για να μοιραστεί η παροχή στους τελευταίους.

5.3 Σχετικά με την Αθήνα

Αρχαιολογικές ενδείξεις

- Τα ευρήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαράσταση του δικτύου διανομής, είναι 37 λουτρά, 26 κομμάτια αγωγών και πέντε δεξαμενές.
- Όσον αφορά τους αγωγούς, κάποιοι ήταν λιθόκτιστοι, κάποιοι άλλοι κατασκευασμένοι από ρωμαϊκή τοιχοποιία, ενώ υπήρχαν και αγωγοί με τοιχώματα από ρωμαϊκό σκυρόδεμα. Είναι δεδομένο με βάση τις ανασκαφές, ότι τις μικρότερες παροχές τις εξυπηρετούσαν κεραμικοί αγωγοί. Έτσι, η ροή στο δίκτυο ήταν βαρυτική. Πραγματοποιούνταν μέσα σε κλειστές διατομές, με ελεύθερη επιφάνεια.
- Οι αγωγοί των προηγούμενων υδραγωγείων, ήταν λιθόκτιστοι και κεραμικοί. Οι διαφορετικές κατασκευαστικές μέθοδοι που αναδεικνύονται από τα ευρήματα των αγωγών, καθιστούν πιθανή την συνεργασία ντόπιων και Ρωμαίων τεχνιτών.
- Οι περισσότεροι από τους αγωγούς, ρωμαϊκοί και ελληνικοί, έχουν εξωτερικό πλάτος και ύψος περί τα 2 m, και τοιχώματα πάχους περί τα 0.5 m.
- Για τις τρεις από τις πέντε δεξαμενές, η επιφάνεια των διατομών τους είναι γνωστή. Είναι αρκετά μεγαλύτερες από τις δεξαμενές των υδατόπυργων της Πομπηίας. Πιο συγκεκριμένα, η μέση επιφάνεια για τις τελευταίες ήταν 1 m², ενώ η πιο μικρή από τις δεξαμενές της Αθήνας, έχει επιφάνεια 44 m².
- Το δίκτυο ήταν μάλλον και υπόγειο και υπέργειο. Μεγάλα κομμάτια αγωγών βρέθηκαν τοποθετημένα κάτω από το έδαφος, αλλά υπάρχουν και υπολείμματα από βάρθρα στοών.
- Οι αγωγοί από ρωμαϊκή τοιχοποιία και από ρωμαϊκό σκυρόδεμα, αντιπροσωπεύουν δύο διαφορετικούς κλάδους. Οι πρώτοι εξυπηρετούσαν μεγαλύτερες παροχές από τους δεύτερους.

- Όσον αφορά τα λουτρά, στην Αθήνα απ' ότι φαίνεται δεν υπήρχαν Θέρμες, ούτε λουτρά μεγάλης έκτασης, ανάλογης με αυτά της Πομπηίας (που ξεπερνούν τα 1000 m²). Προτιμούσαν τα μικρά και κοντινά μεταξύ τους λουτρά.
- Η αλληλουχία των δωματίων ωστόσο, με το κρύο, το χλιαρό και το ζεστό λουτρό, τηρούνταν από τα Αθηναϊκά λουτρικά συγκροτήματα. Έχουν βρεθεί υπόκαυστα, υπολείμματα μηχανισμών για την μεταφορά του θερμού αέρα και δωμάτια που αντιστοιχούσαν στα κρύα λουτρά.

Δίκτυο Διανομής

- Η περιοχή της Αθήνας έχει λοφώδες ανάγλυφο. Σ' αυτό μπορεί να οφείλεται η επιλογή για σχεδιασμό δικτύου με βαρυτική ροή. Οι κλίσεις του εδάφους, εκτός από τον λόφο της Ακρόπολης, δεν ξεπερνούν το 16%.
- Το δίκτυο διανομής της Αθήνας, ακολουθεί την διάταξη των ρωμαϊκών προτύπων. Από το Castellum στο Λυκαβηττό, τρεις μολύβδινοι αγωγοί μετέφεραν το νερό στην πόλη της Αθήνας. Από τους τρεις αγωγούς, ο ένας κατευθύνονταν προς το Δημαρχείο Αθηνών και τροφοδοτούσε το δυτικό κομμάτι της πόλης. Ο μεσαίος έφτανε μέχρι τα βόρεια τείχη της καινούργιας επέκτασης, κι από εκεί διακλαδίζονταν για να διοχετεύσει την παροχή στις δεξαμενές. Ο ανατολικός κλάδος, τροφοδοτούσε την δεξαμενή Μ, επιφάνειας 44 m², που βρίσκονταν εκτός των τειχών, βορειοανατολικά του Εθνικού Κήπου. Έτσι οι παραλήπτες τροφοδοτούνταν από δευτερεύοντες αγωγούς που συνδέονταν με τις δεξαμενές.
- Τα ευρήματα αγωγών και λουτρών καλύπτουν όλη την έκταση της τότε πόλης. Με βάση τους χάρτες των αποστάσεων που κατασκευάστηκαν σε περιβάλλον GIS, κανένα pixel δεν απέχει περισσότερα από 217 m από κάποιο ερείπιο λουτρού και 353 m από κάποιο κομμάτι αγωγού. Επομένως το εσωτερικό σύστημα ύδρευσης αναπτύσσονταν σ' ολόκληρη την επιφάνεια της πόλης.
- Αν και με βάση τις βιβλιογραφικές πηγές, (Ziller, 1877) & (Κορδέλλας, 1879), με το castellum του Λυκαβηττού συνδέονταν ένας ή δύο σωλήνες αντίστοιχα, αυτό στην πραγματικότητα δεν ευσταθεί. Με βάση το προηγούμενο συμπέρασμα και το γεγονός ότι η έκταση της πόλης ήταν 234 εκτάρια, δεν θα μπορούσε ένας μονάχα αγωγός να καλύψει την τροφοδοσία ολόκληρης της πόλης. Στο κομμάτι της καινούργιας επέκτασης ήταν τοποθετημένες όλες οι δεξαμενές που έχουν βρεθεί. Ταυτόχρονα είναι το εγγύτερο στην δεξαμενή του Λυκαβηττού. Επομένως συνδεόνταν σίγουρα απευθείας με αυτήν. Επιπλέον η Δεξαμενή Μ είναι αρκετά μεγάλη, όπως αναφέρθηκε παραπάνω ώστε να συνδεόνταν απευθείας με το Castellum. Εν κατακλείδι, είναι τρεις τελικά οι κύριοι κλάδοι.
- Από το βόρειο κομμάτι των τειχών της νέας επέκτασης που βρίσκεται απέναντι από το Castellum του Λυκαβηττού, επιλέχθηκε το σημείο Σ2, με την μικρότερη απόσταση απ'

αυτό, ώστε να κατευθυνόνταν προς τα εκεί ο μεσαίος κλάδος. Το Σ2 είναι σε μεγαλύτερο υψόμετρο απ' όλες τις δεξαμενές.

- Με βάση τον χάρτη των αποστάσεων που κατασκευάστηκε σε περιβάλλον GIS, κανένα ρίχει δεν απέχει περισσότερα από 342 m από κάποια δεξαμενή. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις μεγάλες τους επιφάνειες, που αναφέρθηκαν και παραπάνω, αναδεικνύει πέρα από την ρυθμιστική και την αποθηκευτική λειτουργία που είχαν.
- Το Castellum παρόλ' αυτά, όπως και στην περίπτωση της Πομπηίας, δεν αποθήκευε νερό. Η χαμηλή στάθμη της δεξαμενής αλλά και το γεγονός ότι η χωρητικότητα της (445 m^3) είναι αρκετά μικρότερη από την εισερχόμενη ημερήσια παροχή των $5000\text{-}10000 \text{ m}^3/\text{d}$, οδηγούν στο συμπέρασμα αυτό.
- Με βάση τις αρχαιολογικές ενδείξεις, οι δύο οπές της αρχαίας δεξαμενής είχαν την ίδια διατομή. Απλοποιητικά θεωρήθηκε ότι και η τρίτη θα είχε επίσης την ίδια διατομή. Με αυτή την παραδοχή έχουν γίνει όλοι οι υπολογισμοί των παροχών.
- Η παροχευτικότητα καθεμιάς από τις οπές εξόδου από το castellum είναι $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$. Ακόμη και δύο να ήταν οι οπές, η παροχευτικότητα τους ($12096 \text{ m}^3/\text{d}$) είναι μεγαλύτερη από την ανώτερη τιμή της παροχής ($10000 \text{ m}^3/\text{d}$) που έχει εκτιμηθεί ότι έδινε το εξωτερικό υδραγωγείο. Αν και οι σωλήνες που συνδέονταν με τις οπές, μέσω μεταλλικών ακροφυσίων, είχαν μικρότερη διατομή, δεν αποκλείεται να μην ήταν πάντοτε πλήρως γεμάτοι. Ακόμη μπορεί ο ανατολικός κλάδος, που συνδεόνταν με την M, μα μην λειτουργούσε ολόκληρη τη μέρα.
- Με βάση την εισερχόμενη παροχή από το εξωτερικό υδραγωγείο, $5000\text{-}10000 \text{ m}^3/\text{d}$, καθένας από τους κύριους αγωγούς μετέφερε παροχή $0.019\text{-}0.039 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Οι τρεις δεξαμενές που βρίσκονταν εντός των τειχών της πόλης, και συγκεκριμένα εντός ή πλησίον της περιοχής της καινούργιας επέκτασης, τροφοδοτούνταν από τον μεσαίο κλάδο, Castellum- Σ2. Η Δ2 θα μπορούσε να συνδέεται με την δεξαμενή N, εντός του Εθνικού Κήπου ή να συνδέεται απευθείας με το Σ2 . Έτσι, με βάση τα υπάρχοντα ευρήματα, οι δευτερεύοντες αγωγοί που διακλαδίζονταν γύρω από το Σ2, ήταν δύο ή τρεις αντίστοιχα.
- Με δεδομένα την ημερήσια παροχή που έδινε το εξωτερικό υδραγωγείο στην πόλη, η οποία ανάχθηκε σε στιγμιαία, τις κλίσεις του εδάφους για τους αγωγούς που σχεδιάστηκαν, και κοινό πλάτος για όλους 0.975 m , η ομοιόμορφη ροή προκύπτει σε όλες τις περιπτώσεις, να είναι υποκρίσιμη. Αυτό είναι λογικό, δεδομένου ότι πρόκειται για αγωγούς δικτύου διανομής, οπότε η ροή εντός αυτών προβλέπεται να είναι ποτάμια.
- Αν οι δευτερεύοντες αγωγοί του μεσαίου κλάδου ήταν τρεις, το ελάχιστο ομοιόμορφο βάθος που υπολογίστηκε είναι κοντά στα 2 cm , για την μικρότερη παροχή που μετέφερε ο κλάδος και 7 cm για την μεγαλύτερη. Αντιστοιχούν σε ταχύτητες ροής 0.14 και 0.5 m/s .
- Αν οι δευτερεύοντες αγωγοί του μεσαίου κλάδου ήταν δύο, το ελάχιστο ομοιόμορφο βάθος που υπολογίστηκε είναι κοντά στα 2 cm , για την μικρότερη παροχή που μετέφερε

ο κλάδος και κοντά στα 10 cm για την μεγαλύτερη. Αντιστοιχούν σε ταχύτητες ροής 0.16 και 0.7 m/s.

- Οι γραμμικές απώλειες (hf), εντός των δευτερευόντων αγωγών είναι αρκετά μικρές, της τάξεως των 10^{-4} .
- Η ατομική υδατική κατανάλωση στην πόλη της Αθήνας, θεωρώντας την πρωτεύον αστικό κέντρο με πληθυσμό 75000 κατοίκων, κυμαίνεται μεταξύ 67-133 L/d, ανάλογα με την τροφοδοσία από το εξωτερικό υδραγωγείο. Αν θεωρηθεί δευτερεύον αστικό κέντρο, με πληθυσμό 52500 κατοίκους, η ημερήσια ατομική κατανάλωση είναι 95-190 L/d. Η διαθεσιμότητα νερού λοιπόν ήταν επαρκής, αλλά όχι και άφθονη.

5.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- Οι παροχές που έχουν υπολογιστεί για το δίκτυο της Αθήνας είναι ενδεικτικές. Εξυπηρετούν απλά, την διαμόρφωση μιας πρώτης εικόνας, για τα βασικά μεγέθη της ροής εντός του δικτύου αλλά και τον χαρακτηρισμό της ως προς την κρισιμότητα. Θα μπορούσαν να προκύψουν ακριβέστερα αποτελέσματα, αν ληφθούν υπόψιν πιο λεπτομερή δεδομένα. Έτσι, θα μπορούσαν να σχεδιαστούν και να ληφθούν υπόψιν οι μηκοτομές των αγωγών, αντί του εδάφους και να ληφθούν υπόψιν τα χαρακτηριστικά των ευρημάτων γύρω από κάθε διαδρομή που χαραχτηκε.
- Στην παρούσα διπλωματική η αναπαράσταση του δικτύου περιορίστηκε στην σύνδεση του Castellum με τις δεξαμενές της πόλης. Σε μια επόμενη έρευνα, θα μπορούσε να μελετηθεί η σύνδεση των δεξαμενών με τα λουτρά, μέσω των κομματιών των αγωγών.
- Στο δίκτυο διανομής της Πομπηίας, υπάρχουν πολύ περισσότερα διαθέσιμα ευρήματα. Θα μπορούσαν λοιπόν, να αξιοποιηθούν όλες οι λεπτομέρειες για τις διαστάσεις και τις αποστάσεις, ώστε να συνορθωθεί το δίκτυο και να είναι ακριβέστερα τα αποτελέσματα των υπολογισμών. Οι υπολογισμοί μπορούν να πραγματοποιηθούν με την χρήση ενός λογισμικού, όπως το EPANET.
- Επίσης, θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν οι ενδείξεις για τις συνδέσεις των υδατόπυργων με τους παραλήπτες, δημόσιας ή ιδιωτικής χρήσης, και να συνεχιστεί έτσι, η αναπαράσταση του δικτύου διανομής της Πομπηίας.

Αναφορές

- Accademia nazionale dei Lincei. (1903). *Notizie degli scavi di antichità Atti della Accademia nazionale dei Lincei*. Roma: Tip. della R. Accademia dei Lincei.
- Angelakis, A. N. (1996). The status of water resources in Minoan times: A Preliminary Study. Στο A. N. Issar (Επιμ.), *Diachronic Climatic Impacts on Water Resources* (σσ. 161-191). Berlin Heidelberg: NATO ASI Series, Vol. I36 .
- Angelakis, A. N., Savvakis, Y. M., & Charalampakis, G. (2006). Aqueducts during the Minoan Era. *Water Science and Technology*.
- Buffet, B., & Evrard, R. (1950). *L' Eau Potable a Travers LesANGES*. Liege, Belgium: Editions Soleidi.
- Camp, J. M. (1977). *The Water Supply of Ancient Athens from 3000 to 86*. Princeton, New Jersey: Princeton University.
- Chiotis, E. (2018). The Hadrianic aqueduct of Athens and the underlying tradition of hydraulic engineering. Στο G. Aristodemou, & T. Tassios (Επιμ.), *Aqueducts and Monumental Fountain Structures Function in Context* (σσ. 70-97). Oxford: Archaeopress Publishing Ltd.
- Conwell, D. H. (1992). *The Athenian Long Walls: Chronology, topography and remains*. Pennsylvania: University of Pennsylvania.
- Crouch , D. P. (1993). *Water Management in Ancient Greek Cities*. Oxford: Oxford University Press.
- de Haan, N. (1996). *Cura Aquarum in Campania 1994:Die Wasserversorgung der Privatbäder in Pompeji*. Leiden.
- de Haan, N., & Wallat, K. (2006). 'The water supply of the Central Baths in Pompeii' . Στο *Cura Aquarum in Ephesus* (σσ. 417-422). Leuven : G. Wiplinger.
- Delaine, J. (1988). Recent Research on Roman baths. *JRA* (1), 11-32.
- Delaine, J. (1989). Some Suggestions on the Transition from Greek to Roman Baths in Hellenistic Italy. *JMA*(2), 111-125.
- Desalle, H. (2006). "Castella private: water towers and tanks in Roman dwellings" in *Cura Aquarum in Ephesus*. Proceedings of the 12th international congress on the history of water management and hydraulic engineering in the Mediterranean Region. Ephesus/Selcuk,October 2-10,. Leuven : G. Wiplinger.
- Dybkjaer Larsen, J. (1982). "The water towers of Pompeii". *Analecta Romana*(11), 41-67.
- Eschebach, H. (1979). *Die Stabianer Thennen in Pompeji* . Berlin: de Gruyter.
- Eschebach, H. (1983). *Journées d'études sur les aqueducs romains: Gebrauchswasserversorgung Pompejis*. Paris: J.-P. Boucher.

- Eschebach, H., Eschebach, L., & Müller-Trollius, J. (1993). *Gebäudeverzeichnis und Stadtplan der antiken Stadt Pompeji*. Köln : Böhlau.
- Evans, A. (1921-1935). *The palace of Minos at Knossos: A comparative account of the successive stages of the Early Cretan civilization as illustrated by the discoveries, Vols I-IV*. London, UK: Macmillan and co.
- Evans, H. (1994). *Water Distribution in Ancient Rome: The Evidence of Frontinus*. USA: University of Michigan Press.
- Fagan, G. (1993). *Three Studies in Roman Public Bathing: Origins, Growth and Social Aspects*. Hamilton, Ontario: McMASTER UNIVERSITY.
- Ginouvé, . (1959). *L'Etablissement Thermal de Gortys d'Arcadie*. Paris: Ecole française d'Athènes; Etudes Peloponnesiennes.
- Ginouvé, R. (1962). *Balaneutike: recherches sur le bain dans l'antiquité grecque* . Paris: Bibliothèque des Ecoles françaises d'Athènes et de Rome 200.
- Henig, M. (1983). *A Handbook of Roman Art: A Survey of the Visual Arts of the Roman World*. Phaidon.
- Hodge, T. (1992). *Roman Aqueducts & Water Supply*. London: Duckworth.
- Hodge, T. (1996). "Anomalies in Flow at the Pompeii Castellum". Στο N. d. Jansen (Επιμ.), *Cura Aquarum in Campania 1994* (σσ. 13-18). Leiden: Foundation Babesch.
- Jansen, G. (1996,). *Cura Aquarum in Campania 1994: Die Verteilung des Leitungswassers in den Häusern Pompejis*. Leiden : Nathalie de Haan & Gemma Jansen,.
- Jansen, G. (2001). *Water Use and Hydraulics in the Roman City: Water pipe systems in the Houses of Pompeii*. Boston : A. Koloski-Ostrow.
- Korres, M. (2010). *Οι πρώτοι χάρτες της πόλεως των Αθηνών*. Athens: Melissa Publications.
- Koutsogiannis, D., Zarkadoulas, N., Angelakis, A., & Tchobanoglous, G. (2007a). Urban water management in Ancient Greece: Legacies and lessons. *ASCE, Journal of Water Resources Planning & Management*.
- Kretschmer, F. (1960). "Römische Wasserhähne". Στο *Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Urgeschichte 48*. Zürich: Archäologie Schweiz.
- Kunze, E., & Schleif, H. (1944). *IV. Bericht Über die Ausgrabungen in Olympia*. Berlin: de Gruyer.
- Lebègue, J. (1871). L' aqueduc d' Hadrien. *Bulletin de l' École française d'Athènes 11*, σσ. 238-242.
- Leigh, S. (1998). *The Aqueduct of Hadrian and the water supply of Roman Athens*. *Unpublished Ph.D. dissertation*. University of Pennsylvania.

- Leigh, S. (2001). A survey of the early Roman hydraulics in Athens. Στο *Water use and hydraulics in the Roman city* (σσ. 65-82). Dubuque (Iowa): Kendall/Hunt Publications.
- Maiuri, A. (1931). Pompeii Pozzi e Condotture d' Acqua... and Scoperta di Grandi Condotture in Piomb dell' Acqueducto Urbano. *Notizi degli Scavi di Antichita*, 7.
- Manderscheid, H. (2000). "Greek and Roman Baths". Στο *Handbook of water technology* (σσ. 524-525). Leiden: Örjan Wikander.
- Mays, L., Koutsogiannis, D., & Angelakis, A. (2007). *A Brief History of Urban Water Supply in the Antiquity*. Arizona State Univ., Tempe, Arizona, Department of Water Resources, School of Civil Engineering, National Technical University of Athens, Institute of Iraklio, National Agricultural Research Foundation.
- Moore, D. (1993). The Riddle of Ancient Roman Concrete. *The Spillway*.
- Nielsen, I. (1990). *Thermae et Balnea. The Architecture and Cultural History of Roman Public Baths*. Aarhus University Press.
- Olsson, R. (2015). *The water-supply system in Roman Pompeii*. Lund: Lund University.
- Ramsay, W. (1851). *A manual of Roman antiquities*. London, UK: Charles Griffin and Company.
- Richardson, L. J. (1988). *Pompeii: An Architectural History*. Baltimore, USA: John Hopkins University Press.
- Taylour, W. (1983). *The Mycenaeans*. London, UK: Thames and Hudson.
- Themelis, P. (1974). Μαραθών, τα πρόσφατα αρχαιολογικά ευρήματα σε σχέση με τη μάχη. *ArchDelt* 29A, 226-244.
- Travlos, J. (1971). *Pictorial Dictionary of Ancient Athens*. Washington. New York - Washington: Praeger Publishers.
- Travlos, J. (1988b). *Bildlexikon zur Topographie des antiken Attika*. Tübingen: Deutsches Archäologisches Institut.
- Ulrich, R. B., & Quenemoen, C. K. (2013). *A Companion to Roman Architecture*. John Wiley & Sons.
- Vanderpool, E. (1965). The Acharnian Aqueduct. *Χαριστήριον εις Αναστάσιον Κ. Ορλάνδον, vol. 1*, 166-74.
- Wikipedia. (2008.). *Βικιπαίδεια*. Ανάκτηση Απρίλιος 24, 2020, από <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B4%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%BD%CF%8C%CF%82>

- Wikipedia. (2007). *Wikipedia. The Free Encyclopedia*. Ανάκτηση February 20, 2020, από <https://en.wikipedia.org/wiki/Talk:Qanat>
- Wikipedia. (2008). *Wikipedia. The Free Encyclopedia*. Ανάκτηση June 9, 2020, από https://en.wikipedia.org/wiki/Opus_mixtum
- Wikipedia. (2008). *Βικιπαίδεια*. Ανάκτηση Οκτώβριος 17, 2020, από <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BF%CE%BC%CF%80%CE%B7%CE%AF%CE%B1>
- Yegül, F. (2010). *Bathing in the Roman World*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ziller, E. (1877). Untersuchungen über die antiken Wasserleitungen Athens. *Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Institutes, Athenische Abteilung 2*, σσ. 107-131.
- Γουλιανού, Θ. (2020). *Ενεργειακές και Υδατικές ανάγκες Ρωμαϊκού Λουτρού*. ΑΘΗΝΑ: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.
- Δευτεραίος , Π., & Μαμάσης , Ν. (2018). *Εργασίες διερεύνησης του Αδριανείου υδραγωγείου της Αθήνας και καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης σε συγκεκριμένα υπόγεια τμήματα του*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Η Καθημερινή. (2019). *kathimerini.gr*. Ανάκτηση Σεπτέμβριος 13, 2020, από <https://www.kathimerini.gr/life/city/1003569/to-nero-roj-epine-i-athina/>
- Ίδρυμα Μείζονος Ελληνισμού. (2006). *Ψηφιακή Συλλογή Εικονικής Πραγματικότητας <<Η Αρχαία Αγορά της Αθήνας>>*. Ανάκτηση από http://project.athens-agera.gr/index.php?view=per&pid=7&lang_id=gr
- Κορδέλλας, Α. (1879). *Αι Αθήναι Εξεταζόμεναι Υπό Υδραυλικήν Επόψιν* . Αθήνησι: Τυπογραφείο της Φιλοκαλίας.
- Μαμάσης , Ν., & Δευτεραίος , Π. (2018). Δεξαμενές Αδριανείου Υδραγωγείου στο Κολωνάκι: Σύγχρονες ιστορίες νερού και πολιτισμού. Αθήνα: Αρχαιολογικοί Διάλογοι 2018, 4η Συνάντηση: Πόλεις/ Αστικό τοπίο.
- Μαμάσης , Ν., Ευστρατιάδης , Α., & Κουτσογιάννης, Δ. (2015). *Υδροηλεκτρικά Έργα Στερεομεταφορά*. Αθήνα: Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μαμάσης, Ν. (2011). *Τεχνική Υδρολογία Υπόγεια Νερά* . Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων.
- Παπανικολάου, Π. (2017). *Στοιχεία Μόνιμης Ροής σε Αγωγούς με Ελεύθερη Επιφάνεια, Διδακτικές Σημειώσεις*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Στάμου, Α. (2012). *Εφαρμοσμένη Υδραυλική*. Αθήνα: Παπασωτηρίου.

Τραυλός, Ι. (1993). *Πολεοδομική Εξέλιξις των Αθηνών. Από των Προϊστορικών Χρόνων Μέχρι των Αρχών του 19ου Αιώνος*. Αθήνα: εκδόσεις Καπόν.

Χωρέμη, Α. (1996). Ρωμαϊκή Αγορά: Το Πρώτο Εμπορικό Κέντρο της Αθήνας. Στο Ε. Ί. Ερευνών, *Αρχαιολογία της Πόλης των Αθηνών* (σ. 242). Αθήνα: Πνευματικό Κέντρο Δήμου Αθηναίων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Υπολογισμός κρίσιμων βαθών (γ_c) και κλίσεων (J_c) για δύο δευτερεύοντες αγωγούς γύρω από το Σ2:

Qκυρ (m ³ /s)	Qμικ.αγ. (r b (m)	γ_c (m)	R(m)	n	A (m ²)	J_c	Vc (m/s)	
0,019290123	0,009645	1	0,021248	0,020382	0,04	0,021248	0,059137	0,447781366
0,023148148	0,011574	1	0,023991	0,022893	0,04	0,023991	0,057213	0,476090095
0,027006173	0,013503	1	0,026585	0,025243	0,04	0,026585	0,055673	0,501415691
0,030864198	0,015432	1	0,029058	0,027462	0,04	0,029058	0,054401	0,524439373
0,034722222	0,017361	1	0,031429	0,02957	0,04	0,031429	0,053328	0,545623003
0,038580247	0,01929	1	0,033714	0,031584	0,04	0,033714	0,052406	0,565295871
0,019290123	0,009645	1,1	0,019941	0,019244	0,04	0,021935	0,059908	0,433664127
0,023148148	0,011574	1,1	0,022516	0,02163	0,04	0,024767	0,057902	0,461081562
0,027006173	0,013503	1,1	0,02495	0,023868	0,04	0,027445	0,05629	0,485609961
0,030864198	0,015432	1,1	0,027271	0,025982	0,04	0,029998	0,054957	0,507909053
0,034722222	0,017361	1,1	0,029496	0,027995	0,04	0,032446	0,053828	0,528426129
0,038580247	0,01929	1,1	0,03164	0,029919	0,04	0,034804	0,052855	0,547480094
0,019290123	0,009645	1,05	0,020569	0,019793	0,04	0,021597	0,059521	0,440498307
0,023148148	0,011574	1,05	0,023224	0,022241	0,04	0,024386	0,057555	0,468347246
0,027006173	0,013503	1,05	0,025735	0,024533	0,04	0,027022	0,055978	0,493261598
0,030864198	0,015432	1,05	0,028129	0,026698	0,04	0,029535	0,054674	0,515911493
0,034722222	0,017361	1,05	0,030424	0,028758	0,04	0,031946	0,053572	0,536751278
0,038580247	0,01929	1,05	0,032636	0,030726	0,04	0,034268	0,052623	0,556104884
0,019290123	0,009645	0,95	0,021987	0,021014	0,04	0,020887	0,058758	0,455567508
0,023148148	0,011574	0,95	0,024825	0,023592	0,04	0,023584	0,05688	0,484367719
0,027006173	0,013503	0,95	0,027509	0,026003	0,04	0,026134	0,055379	0,510132898
0,030864198	0,015432	0,95	0,030068	0,028278	0,04	0,028564	0,054143	0,533556115
0,034722222	0,017361	0,95	0,032521	0,030437	0,04	0,030895	0,053102	0,555107269
0,038580247	0,01929	0,95	0,034885	0,032499	0,04	0,033141	0,052208	0,575121381
0,019290123	0,009645	0,9	0,022793	0,021694	0,04	0,020513	0,058387	0,463920792
0,023148148	0,011574	0,9	0,025735	0,024343	0,04	0,023162	0,056559	0,493248204
0,027006173	0,013503	0,9	0,028518	0,026818	0,04	0,025666	0,055102	0,519484901
0,030864198	0,015432	0,9	0,03117	0,029151	0,04	0,028053	0,053904	0,54333667
0,034722222	0,017361	0,9	0,033714	0,031364	0,04	0,030342	0,052897	0,565282033
0,038580247	0,01929	0,9	0,036164	0,033474	0,04	0,032548	0,052036	0,585662157
0,019290123	0,009645	0,975	0,021609	0,020692	0,04	0,021069	0,058947	0,451607805
0,023148148	0,011574	0,975	0,024399	0,023236	0,04	0,023789	0,057046	0,480158078
0,027006173	0,013503	0,975	0,027037	0,025617	0,04	0,026362	0,055524	0,505699713
0,030864198	0,015432	0,975	0,029552	0,027863	0,04	0,028813	0,05427	0,528919752
0,034722222	0,017361	0,975	0,031964	0,029997	0,04	0,031165	0,053212	0,550284008
0,038580247	0,01929	0,975	0,034287	0,032034	0,04	0,03343	0,052305	0,570124587
0,019290123	0,009645	0,85	0,023677	0,022428	0,04	0,020126	0,058028	0,472917597
0,023148148	0,011574	0,85	0,026734	0,025152	0,04	0,022724	0,056256	0,502812726
0,027006173	0,013503	0,85	0,029624	0,027694	0,04	0,025181	0,054846	0,529557162
0,030864198	0,015432	0,85	0,03238	0,030087	0,04	0,027523	0,053691	0,553870394
0,034722222	0,017361	0,85	0,035022	0,032356	0,04	0,029769	0,052722	0,576240229
0,038580247	0,01929	0,85	0,037568	0,034517	0,04	0,031933	0,051896	0,597014458

Υπολογισμός κρίσιμων βαθών (γ_c) και κλίσεων (J_c) για τρεις δευτερεύοντες αγωγούς γύρω από το Σ2:

Qκυρ (m ³ /s)	Qμικ.αγ. (m ³ /s)	b (m)	γ_c (m)	R(m)	n	A (m ²)	Jc	Vc (m/s)
0,019290123	0,006430041	1	0,01622	0,01571	0,04	0,01622	0,063819	0,390711
0,023148148	0,007716049	1	0,018314	0,017667	0,04	0,018314	0,061644	0,415414
0,027006173	0,009002058	1	0,020294	0,019502	0,04	0,020294	0,059894	0,437513
0,030864198	0,010288066	1	0,022181	0,021239	0,04	0,022181	0,058444	0,457604
0,034722222	0,011574074	1	0,023991	0,022893	0,04	0,023991	0,057213	0,47609
0,038580247	0,012860082	1	0,025735	0,024476	0,04	0,025735	0,056152	0,493258
0,019290123	0,006430041	1,1	0,015222	0,014812	0,04	0,016744	0,06477	0,378391
0,023148148	0,007716049	1,1	0,017187	0,016667	0,04	0,018906	0,062514	0,402316
0,027006173	0,009002058	1,1	0,019046	0,018408	0,04	0,02095	0,060696	0,423719
0,030864198	0,010288066	1,1	0,020817	0,020058	0,04	0,022899	0,059185	0,443178
0,034722222	0,011574074	1,1	0,022516	0,02163	0,04	0,024767	0,057902	0,461082
0,038580247	0,012860082	1,1	0,024153	0,023137	0,04	0,026568	0,056792	0,477709
0,019290123	0,006430041	1,05	0,015701	0,015245	0,04	0,016486	0,064296	0,384355
0,023148148	0,007716049	1,05	0,017728	0,017149	0,04	0,018615	0,06208	0,408656
0,027006173	0,009002058	1,05	0,019645	0,018936	0,04	0,020627	0,060294	0,430397
0,030864198	0,010288066	1,05	0,021472	0,020629	0,04	0,022546	0,058813	0,450162
0,034722222	0,011574074	1,05	0,023224	0,022241	0,04	0,024386	0,057555	0,468347
0,038580247	0,012860082	1,05	0,024913	0,023784	0,04	0,026158	0,056468	0,485236
0,019290123	0,006430041	0,95	0,016783	0,016211	0,04	0,015944	0,06334	0,397506
0,023148148	0,007716049	0,95	0,01895	0,018223	0,04	0,018003	0,061209	0,422638
0,027006173	0,009002058	0,95	0,020999	0,02011	0,04	0,019949	0,059498	0,445121
0,030864198	0,010288066	0,95	0,022952	0,021894	0,04	0,021805	0,058081	0,465561
0,034722222	0,011574074	0,95	0,024825	0,023592	0,04	0,023584	0,05688	0,484368
0,038580247	0,012860082	0,95	0,02663	0,025216	0,04	0,025298	0,055846	0,501833
0,019290123	0,006430041	0,85	0,018074	0,017337	0,04	0,015363	0,062383	0,412648
0,023148148	0,007716049	0,85	0,020407	0,019472	0,04	0,017346	0,060354	0,438735
0,027006173	0,009002058	0,85	0,022614	0,021471	0,04	0,019222	0,058729	0,462074
0,030864198	0,010288066	0,85	0,024717	0,023359	0,04	0,021009	0,057388	0,483291
0,034722222	0,011574074	0,85	0,026734	0,025152	0,04	0,022724	0,056256	0,502813
0,038580247	0,012860082	0,85	0,028677	0,026865	0,04	0,024376	0,055284	0,520942
0,019290123	0,019290123	0,9	0,036164	0,033474	0,04	0,032548	0,052036	0,585662
0,023148148	0,023148148	0,9	0,040833	0,037436	0,04	0,03675	0,050633	0,622678
0,027006173	0,027006173	0,9	0,045248	0,041114	0,04	0,040724	0,049534	0,655792
0,030864198	0,030864198	0,9	0,049457	0,04456	0,04	0,044511	0,048647	0,685896
0,034722222	0,034722222	0,9	0,053493	0,047809	0,04	0,048143	0,047915	0,713592
0,038580247	0,038580247	0,9	0,057381	0,050892	0,04	0,051643	0,047301	0,739312
0,019290123	0,006430041	0,975	0,016496	0,015956	0,04	0,016083	0,063579	0,39405
0,023148148	0,007716049	0,975	0,018625	0,01794	0,04	0,01816	0,061427	0,418964
0,027006173	0,009002058	0,975	0,020639	0,019801	0,04	0,020123	0,059695	0,441252
0,030864198	0,010288066	0,975	0,022559	0,021561	0,04	0,021995	0,058261	0,461515
0,034722222	0,011574074	0,975	0,024399	0,023236	0,04	0,023789	0,057046	0,480158
0,038580247	0,012860082	0,975	0,026173	0,024839	0,04	0,025519	0,055997	0,497472

Υπολογισμός ομοιόμορφου βάθους ροής, δεδομένης της κλίσης του εδάφους (Δύο δευτερεύοντες αγωγοί γύρω από το Σ2):

Εξωτ. Υδρ. (m ³ /d)	Κύριοι (m ³ /s)	Δευτερεύοντες	Δευτ. (m ³ /s)	b (m)	n	J	γ ₀ (m)	R	V (m/s)	γ _c	J _c	γ _c -γ ₀	Ροή								
5000	0,019	2	0,0096	0,975	0,04	0,04	0,025	0,024	0,40	0,022	0,059	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
						0,05	0,023	0,022	0,44			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
						0,01	0,035	0,033	0,28			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
						0,03	0,026	0,025	0,38			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
						0,06	0,021	0,020	0,46			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
						0,05	0,023	0,022	0,42			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
						0,03	0,026	0,025	0,38			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
						0,03	0,027	0,026	0,36			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
						0,002	0,061	0,055	0,16			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
						0,02	0,029	0,028	0,34			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
						0,04	0,025	0,024	0,39			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
						0,03	0,027	0,025	0,37			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
						6000	0,023	2	0,0116			0,975	0,04	0,04	0,028	0,026	0,43	0,024	0,057	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
														0,05	0,025	0,024	0,47			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
0,01	0,039	0,036	0,30	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,03	0,029	0,027	0,41	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,06	0,024	0,023	0,50	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,05	0,026	0,025	0,46	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,03	0,029	0,028	0,40	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,03	0,030	0,029	0,39	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,002	0,069	0,060	0,17	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,02	0,033	0,031	0,36	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,04	0,028	0,027	0,42	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,03	0,030	0,028	0,40	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
7000	0,027	2	0,0135	0,975	0,04					0,04	0,031			0,029	0,45	0,026	0,056			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
										0,05	0,028			0,026	0,50					<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						0,01	0,043	0,040	0,32	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,03	0,032	0,030	0,44	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,06	0,026	0,025	0,53	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,05	0,029	0,027	0,48	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,03	0,032	0,030	0,43	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,03	0,033	0,031	0,41	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,002	0,076	0,066	0,18	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,02	0,036	0,033	0,39	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,04	0,031	0,029	0,45	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,03	0,033	0,031	0,42	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						8000	0,031	2	0,0154	0,975	0,04	0,04	0,033	0,031	0,48			0,029	0,054	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
												0,05	0,030	0,028	0,53					<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
0,01	0,047	0,043	0,34	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,03	0,034	0,032	0,46	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,06	0,028	0,027	0,56	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,05	0,031	0,029	0,51	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,03	0,035	0,033	0,45	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,03	0,036	0,034	0,44	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,002	0,083	0,071	0,19	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,02	0,039	0,036	0,41	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,04	0,034	0,031	0,47	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,03	0,035	0,033	0,45	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
9000	0,035	2	0,0174	0,975	0,04							0,04	0,036	0,033	0,50	0,031	0,053			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
												0,05	0,032	0,030	0,55					<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						0,01	0,051	0,046	0,35	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,03	0,037	0,034	0,48	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,06	0,031	0,029	0,58	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,05	0,033	0,031	0,53	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,03	0,038	0,035	0,47	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,03	0,039	0,036	0,46	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,002	0,089	0,075	0,20	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,02	0,042	0,039	0,42	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,04	0,036	0,034	0,49	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						0,03	0,038	0,035	0,47	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ										
						10000	0,039	2	0,0193	0,975	0,04	0,04	0,038	0,035	0,52			0,033	0,052	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
												0,05	0,035	0,032	0,57					<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
0,01	0,054	0,049	0,37	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,03	0,040	0,037	0,50	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,06	0,033	0,031	0,61	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,05	0,036	0,033	0,55	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,03	0,040	0,037	0,49	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,03	0,041	0,038	0,48	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,002	0,095	0,080	0,21	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,02	0,045	0,041	0,44	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,04	0,038	0,036	0,51	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																
0,03	0,041	0,038	0,49	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ																

Υπολογισμός ομοιόμορφου βάθους ροής, δεδομένης της κλίσης του εδάφους (Τρείς δευτερεύοντες αγωγοί γύρω από το Σ2):

Εξωτ. Υδρ. (m ³ /d)	Κύριος (m ³ /s)	Δευτερεύοντες	Δευτ. (m ³ /s)	b (m)	n	J	yo (m)	R	V (m/s)	yc	Jc	yc-yo	Ροή
5000	0,0193	3	0,0064	0,975	0,04	0,04	0,019	0,019	0,34	0,016	0,064	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						0,05	0,018	0,017	0,37			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						0,01	0,027	0,026	0,24			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						0,03	0,020	0,019	0,33			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						0,06	0,017	0,016	0,40			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						0,05	0,018	0,018	0,36			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						0,03	0,021	0,020	0,32			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						0,03	0,021	0,020	0,31			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						0,002	0,048	0,043	0,14			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						0,02	0,023	0,022	0,29			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						0,04	0,020	0,019	0,34			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						0,03	0,021	0,020	0,32			<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
						6000	0,0231	3	0,0077			0,975	0,04
0,05	0,020	0,019	0,40	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,01	0,030	0,029	0,26	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,023	0,022	0,35	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,06	0,019	0,018	0,43	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,05	0,020	0,020	0,39	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,023	0,022	0,34	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,024	0,023	0,33	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,002	0,053	0,048	0,15	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,02	0,025	0,024	0,31	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,04	0,022	0,021	0,36	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,023	0,022	0,34	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
7000	0,027	3	0,009	0,975	0,04	0,04	0,024	0,023	0,39	0,021	0,060	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
0,05	0,022	0,021	0,43	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,01	0,034	0,032	0,27	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,025	0,024	0,37	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,06	0,020	0,020	0,45	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,05	0,022	0,021	0,41	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,025	0,024	0,37	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,026	0,025	0,35	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,002	0,059	0,053	0,16	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,02	0,028	0,026	0,33	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,04	0,024	0,023	0,38	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,025	0,024	0,36	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
8000	0,0309	3	0,01	0,975	0,04	0,04	0,026	0,025	0,41	0,023	0,058	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
0,05	0,024	0,022	0,45	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,01	0,037	0,034	0,29	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,027	0,025	0,39	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,06	0,022	0,021	0,48	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,05	0,024	0,023	0,43	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,027	0,026	0,38	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,028	0,027	0,37	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,002	0,064	0,057	0,16	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,02	0,030	0,029	0,35	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,04	0,026	0,025	0,40	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,028	0,026	0,38	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
9000	0,0347	3	0,012	0,975	0,04	0,04	0,028	0,026	0,43	0,024	0,057	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
0,05	0,025	0,024	0,47	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,01	0,039	0,036	0,30	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,029	0,027	0,41	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,06	0,024	0,023	0,50	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,05	0,026	0,025	0,45	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,029	0,028	0,40	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,030	0,029	0,39	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,002	0,069	0,060	0,17	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,02	0,033	0,031	0,36	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,04	0,028	0,027	0,42	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,030	0,028	0,40	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
10000	0,0386	3	0,013	0,975	0,04	0,04	0,030	0,028	0,44	0,026	0,056	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ
0,05	0,027	0,026	0,49	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,01	0,042	0,039	0,31	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,030	0,029	0,43	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,06	0,025	0,024	0,52	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,05	0,028	0,026	0,47	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,031	0,029	0,42	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,032	0,030	0,41	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,002	0,074	0,064	0,18	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,02	0,035	0,033	0,38	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,04	0,030	0,028	0,44	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								
0,03	0,032	0,030	0,42	<0	ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗ								

Υπολογισμός εδαφικής απώλειας για την έκταση που αντιστοιχεί στην Ρωμαϊκή Αθήνα:

Υλικό (t/m ³)	Έκταση περιοχής (km ²)	εδαφική απώλεια (t/km ² *γ)	έτη	απώλεια (t)	όγκος (m ³)	ύψος (m)	Μέσος όρος ύψους (m)
1	2,34		200	1886	882648	882648	0,3772
1,2	2,34		200	1886	882648	735540	0,314333
1,4	2,34		200	1886	882648	630462,857	0,269429
1,6	2,34		200	1886	882648	551655	0,23575
1	2,34		300	1886	1323972	1323972	0,5658
1,2	2,34		300	1886	1323972	1103310	0,4715
1,4	2,34		300	1886	1323972	945694,286	0,404143
1,6	2,34		300	1886	1323972	827482,5	0,353625
1	2,34		400	1886	1765296	1765296	0,7544
1,2	2,34		400	1886	1765296	1471080	0,628667
1,4	2,34		400	1886	1765296	1260925,71	0,538857
1,6	2,34		400	1886	1765296	1103310	0,4715
1	2,34		500	1886	2206620	2206620	0,943
1,2	2,34		500	1886	2206620	1838850	0,785833
1,4	2,34		500	1886	2206620	1576157,14	0,673571
1,6	2,34		500	1886	2206620	1379137,5	0,589375
1	2,34		600	1886	2647944	2647944	1,1316
1,2	2,34		600	1886	2647944	2206620	0,943
1,4	2,34		600	1886	2647944	1891388,57	0,808286
1,6	2,34		600	1886	2647944	1654965	0,70725
1	2,34		700	1886	3089268	3089268	1,3202
1,2	2,34		700	1886	3089268	2574390	1,100167
1,4	2,34		700	1886	3089268	2206620	0,943
1,6	2,34		700	1886	3089268	1930792,5	0,825125