



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

# **Αναπαράσταση Λειτουργίας Αρχαίων Ρωμαϊκών Δεξαμενών Απτέρων Χανίων**

Διπλωματική

Εργασία: **Γκριζης Κ. Σωτήριος**

Επιβλέπων: **Μαράσης Νικόλαος**

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.



Αθήνα 2014

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

## **Αναπαράσταση Λειτουργίας Αρχαίων Ρωμαϊκών Δεξαμενών Απτέρων Χανίων**

**Γκριζης Κ. Σωτήριος**

Επιβλέπων: Μαμάσης Νικόλαος  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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 .

**ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014**



*Στην ιερή μνήμη του φίλου Κώστα*





## **Ευχαριστίες**

---

Με το πέρας αυτής της εργασίας, ολοκληρώνεται ο κύκλος σπουδών μου στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Επτά χρόνια γνώσεων πάνω στο αντικείμενο του Πολιτικού Μηχανικού αλλά και της ζωής γενικότερα.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της εργασίας, κύριο Μαμάση Νικόλαο, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., ο οποίος με τις γνώσεις, την εμπειρία και τις εύστοχες παρατηρήσεις του βοήθησε ώστε να έχουμε μια άριστη συνεργασία και ένα άρτιο αποτέλεσμα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους που έκανα σε όλη την διάρκεια των σπουδών, με τους οποίους μοιραστήκαμε τους κόπους, τα άγχη, τις καλές και κακές στιγμές και τους εύχομαι ότι καλύτερο.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον φίλο Χριστόφορο, ο οποίος πέρα από την ηθική στήριξή του όλα αυτά τα χρόνια, βοήθησε αρκετά με τον φωτογραφικό του εξοπλισμό στην φωτογράφιση της περιοχής μελέτης.

Τέλος, ένα ευχαριστώ στους γονείς και στην οικογένεια μου, είναι πολύ λίγο για να τους εκφράσω την ευγνωμοσύνη για την υποστήριξή τους και τους κόπους που έκαναν ώστε να γίνω αυτό που είμαι τώρα.



# Περίεχόμενα

---

Ευχαριστίες .....	i
Περίληψη .....	v
Abstract .....	vii
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	1
1.1 Σκοπός και διάρθρωση εργασίας .....	1
1.2 Αρχαία Απτέρα .....	3
1.3 Δεξαμενές - Λουτρά.....	10
1.3.1 Τρίκλιτη Ρωμαϊκή Δεξαμενή.....	10
1.3.2 Δεξαμενή σχήματος Γ.....	13
1.3.3 Λουτρά .....	15
<b>2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ</b> .....	17
2.1 Υδρολογικά Χαρακτηριστικά Απτέρων .....	17
2.1.1 Βροχόπτωση.....	18
2.1.2 Θερμοκρασία .....	19
2.1.3 Υγρασία.....	20
2.1.4 Άνεμος .....	21
2.2 Λεκάνη Απορροής Στη Θέση Των Δεξαμενών .....	23
<b>3. ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ</b> .....	25
3.1 Δομή Μοντέλου .....	25
3.2 Εισαχθέντα Δεδομένα Μοντέλου .....	30
3.2.1 Σταθερά δεδομένα .....	30
3.2.2 Μεταβλητά δεδομένα .....	33
<b>4. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</b> .....	35
<b>5. ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	59
5.1 Σύνοψη.....	59
5.2 Συμπεράσματα .....	63
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	65
Παράρτημα .....	67



## Περίληψη

---

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι να γίνει η αναπαράσταση λειτουργίας των Ρωμαϊκών δεξαμενών της αρχαίας πόλης Απτέρα στην περιοχή της Σούδας, η οποία βρίσκεται 15 km ανατολικά της πόλης των Χανίων. Το εξεταζόμενο σύστημα αποτελείται από δύο δεξαμενές, μία σχήματος Γ και μία λίγο μικρότερη χωρισμένη σε τρία κλίτη από μεγάλους πεσσούς, την λεκάνη απορροής τους, η οποία βρίσκεται ΝΔ της δεξαμενής σχήματος Γ, και τέλος από τα δύο λουτρικά συστήματα που βρίσκονται κατάντη των δεξαμενών. Ζητούμενο της αναπαράστασης είναι η εκτίμηση της ημερήσιας ζήτησης νερού που μπορούσαν να καλύψουν οι δεξαμενές και η αποτίμηση της χρήσης της παραπάνω ζήτησης από τους κατοίκους της περιοχής.

Στο πρώτο εισαγωγικό κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση της αρχαίας πόλης των Απτέρων. Γίνεται αναφορά στην τοποθεσία και την ιστορία της πόλης, ενώ παρουσιάζονται λεπτομερώς οι δεξαμενές και τα λουτρικά συστήματα.

Στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το υδρολογικό ισοζύγιο της περιοχής. Αναλύονται οι κλιματολογικές συνθήκες (βροχόπτωση, θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος) που επικρατούν στην περιοχή της Κρήτης και συγκεκριμένα των Χανίων, ενώ γίνεται και η αποτύπωση της λεκάνης απορροής στην περιοχή του συστήματος των δεξαμενών.

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά το μοντέλο λειτουργίας που αναπτύχθηκε, πάνω στο οποίο έγινε η προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος των δεξαμενών, και παρατίθενται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την σωστή λειτουργία του μοντέλου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αποτυπώνονται τα δεδομένα που εξήχθησαν από το τρέξιμο του μοντέλου και παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακες και διαγράμματα, ενώ γίνονται παρατηρήσεις πάνω σε αυτά.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, συνοψίζονται τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας και σχολιάζονται τα όποια συμπεράσματα προκύπτουν, ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία του συστήματος των δεξαμενών της περιοχής.



## **Abstract**

---

Purpose of this diploma thesis is to represent the function of Roman cisterns at the ancient city of Aptera in region of Souda, which is located 15 km eastward of the city of Chania. The examined system is consisted of two cisterns, one L-shaped and a smaller one separated in three parts of big piers, the drainage area, which is located in southwest of L-shaped cistern and two baths that are located downstream of the cisterns. The point of this representation is the estimation of the daily need of water that these cisterns could cover and the valuation of the water usage from the residents of the region.

In the first introductory chapter there is a presentation of the ancient city of Aptera. It is mentioned the location and history of the city and in addition the cisterns and the baths are presented.

In the next chapter, is presented the hydrologic equilibrium of the region. After, there are analyzed the climatologic conditions (rainfall, temperature, humidity, wind) that are prevailing in the island of Crete and specifically in Chania, as far as the delineation of cistern's drainage area.

In continuously, is presented the function of hydrologic modeling, in which took place the simulation and are listed the modeling's input data.

In the fourth chapter, are listed the output data of modeling's execution and are presented in tables and charts, while are becoming comments on them.

In the final chapter, are summed up the results of the procedure of above and are commented all the conclusions that came up, so to be understandable the cisterns function of that region.





κεφάλαιο   
**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1 Σκοπός και διάρθρωση εργασίας**

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι η αναπαράσταση της λειτουργίας των Ρωμαϊκών δεξαμενών της αρχαίας πόλης Απτέρα στην περιοχή της Σούδας, η οποία βρίσκεται 15 km ανατολικά της πόλης των Χανίων. Το εξεταζόμενο σύστημα αποτελείται από δύο δεξαμενές, μία σχήματος Γ και μία λίγο μικρότερη χωρισμένη σε τρία κλίτη από μεγάλους πεσσούς, την λεκάνη απορροής τους, η οποία βρίσκεται ΝΔ της δεξαμενής σχήματος Γ, και τέλος από τα δύο λουτρικά συστήματα που βρίσκονται κατάντη των δεξαμενών. Σκοπός της αναπαράστασης είναι η εκτίμηση της ημερήσιας ζήτησης νερού που μπορούσαν να καλύψουν οι δεξαμενές και η αποτίμηση της χρήσης της παραπάνω ζήτησης από τους κατοίκους της περιοχής. Είναι σχεδόν βέβαιο ότι μεγάλη ποσότητα νερού κάλυπτε την λειτουργία των λουτρών, αλλά είναι ενδιαφέρον να ερευνηθεί κατά πόσον οι δεξαμενές μπορούσαν να καλύψουν και τις ανάγκες των κατοίκων για θέματα ύδρευσης, άρδευσης και άλλων δραστηριοτήτων.

Εκτός από το πρώτο κεφάλαιο, όπου παρουσιάζονται ορισμένες πληροφορίες για την Αρχαία Απτέρα, ακολουθούν άλλα τέσσερα κεφάλαια. Πιο αναλυτικά:

- *Κεφάλαιο 2:* Παρουσιάζονται οι κλιματικές συνθήκες της Κρήτης, συγκεκριμένα της περιοχής των Χανίων και της Σούδας που βρίσκονται κοντά στην περιοχή μελέτης μας, καθώς επίσης και η λεκάνη απορροής του υδροσυστήματος.

- *Κεφάλαιο 3:* Γίνεται εκτενή περιγραφή του υδρολογικού ισοζυγίου της περιοχής μελέτης, καθώς επίσης και λεπτομερής ανάλυση του μοντέλου λειτουργίας των δεξαμενών που δημιουργήθηκε. Επίσης αναλύονται τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση του μοντέλου.
- *Κεφάλαιο 4:* Αναλύονται τα δεδομένα που εξήχθησαν από το μοντέλο με την βοήθεια πινάκων και διαγραμμάτων για την καλύτερη και γρηγορότερη κατανόησή τους.
- *Κεφάλαιο 5:* Είναι ο επίλογος της εργασίας. Συνοψίζονται τα αποτελέσματα και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παραπάνω λειτουργία του μοντέλου.

## 1.2 Αρχαία Απτέρα

Οι δοξασίες για την προέλευση του ονόματος της πόλης είναι πολλές. Ο πιο γοητευτικός μύθος όμως είναι εκείνος που παραδίδεται από το Στέφανο Βυζάντιο (6<sup>ος</sup> αιώνας μ.Χ.), σύμφωνα με τον οποίο το όνομα προέρχεται από το μυθικό αγώνα που έγινε στο λόφο μεταξύ των Μουσών και των Σειρήνων. Οι Σειρήνες ηττήθηκαν, πέταξαν τα φτερά τους - έμειναν "άπτερες" - έγιναν λευκές και έπεσαν στην θάλασσα. Τα λευκά φτερά τους σχημάτισαν τα νησάκια του κόλπου της Σούδας που ονομάζονται Λευκές.

Οι αρχαίοι γεωγράφοι και ιστορικοί που αναφέρονται στη θέση της πόλης είναι πολλοί. Ο Σκύλαξ (5<sup>ος</sup> αιώνας π.Χ.) αναφέρει «*προς βορέαν δε άνεμον η Απτεραία χώρα*». Ο γεωγράφος Στράβων (1<sup>ος</sup> αιώνας π.Χ. – 1<sup>ος</sup> αιώνας μ.Χ.) δίνει την απόσταση της -80 στάδια από την ξηρά και 40 από τη θάλασσα- από την Κυδωνία (σημερινά Χανιά). Το στάδιο ισοδυναμούσε με περίπου 200 m. Ακόμα ο Πλίνιος (1<sup>ος</sup> αιώνας μ.Χ.), ο Διονύσιος Καλλιφώντος (2<sup>ος</sup> αιώνας μ.Χ. «*Απτεραίαν λεγομένην εν τη μεσογεία*»), ο Πτολεμαίος (2<sup>ος</sup> αιώνας μ.Χ.), αναφέρονται στην πόλη και ο «*Σταδιασμός της Μεγάλης Θαλάσσης*» (έργο ανώνυμου συγγραφέα) δίνει τη χερσαία απόστασή της από την Κυδωνία. Ο Ιταλός περιηγητής Cr. Buodelmondi το 1415, ταύτισε τη θέση της Απτέρας με το λιμάνι της Μινώα (σημερινό Μαράθι). Ο Fr. Basilicata το 1630, περιέγραψε τα μνημεία που είδε (κυκλικό θέατρο, ψηφιδωτό δάπεδο κ.λ.π.) χωρίς να προσπαθήσει να τα ταυτίσει με συγκεκριμένη πόλη. Από τους νεότερους περιηγητές ο Tournefort το 1700, είχε διατυπώσει την άποψη ότι η Απτέρα πρέπει να βρίσκεται στο συγκεκριμένο λόφο. Τελικά, πρώτος ο J. Pashley κατά την περιήγησή του στην Κρήτη το 1834, ταύτισε σωστά το συγκεκριμένο χώρο με την πόλη (Σχήμα 1.1). Όπως γράφει με το γλαφυρό του ύφος στο έργο του «*Ταξίδια στην Κρήτη*», εκτός από τα στοιχεία των αρχαίων γεωγράφων που τον οδήγησαν στην αναζήτησή της στο λόφο αυτό, η αναφορά του ονόματός της (Απταραίων) στα περισσότερα από τα νομίσματα που του έδωσαν οι μοναχοί κατά την διαμονή του στο μοναστήρι και σε επιγραφές που είδε εκεί, επιβεβαίωσε την ταύτισή της.



Σχήμα 1.1 : Χαλκογραφία του λόφου της Απτέρας

Η αρχαία Απτέρα (Σχήμα 1.2) βρίσκεται 15 km Νοτιοανατολικά της πόλης των Χανίων. Ιδρύθηκε στο ύψωμα Παλιόκαστρο (υψόμετρο 200 m), νεότερη ονομασία που οφείλεται στην ύπαρξη του τούρκικου κάστρου στα Βορειοανατολικά του χώρου. Το τείχος της, μήκους 3.480 m, περιτρέχει το ισόπεδο του λόφου, το οποίο όμως δεν κατοικήθηκε ολόκληρο σε καμιά περίοδο. Ο τόπος παραμένει μοναδικός για τη φυσική του ομορφιά, καθώς στα βόρεια βρίσκεται ο πανέμορφος κόλπος της Σούδας και στα νότια η επιβλητική οροσειρά των Λευκών Ορέων.



Σχήμα 1.2 : Δορυφορική εικόνα της τοποθεσίας των Απτέρων (Πηγή: [www.earth.google.com](http://www.earth.google.com) )

Η στρατηγική θέση της πόλης ευνόησε την ανάπτυξή της, ιδιαίτερα σε συγκεκριμένες περιόδους, όπως ο 4<sup>ος</sup> και 3<sup>ος</sup> αιώνας π.Χ. Τα δύο λιμάνια της, η Μινώα (σημερινό Μαράθι) και η Κίσαμος (μεταξύ Καλαμιού και Καλυβών) στην είσοδο του

φυσικού κόλπου, εξασφάλιζαν τη δυνατότητα του ελέγχου στη διακίνηση του εμπορίου. Για το λόγο αυτό χαρακτηρίστηκε από τον ιστορικό Γ. Σβορώνο ως η πιο εμπορική πόλη της Κρήτης και στις περιόδους ακμής της, μία από τις πιο ισχυρές. Ως πόλη-κράτος εξουσίαζε μεγάλη έκταση γης, που περιλάμβανε πολλούς αγροτικούς οικισμούς. Τις πεδινές εκτάσεις στα νότια και ανατολικά διέσχιζε ο ποταμός Πυκτός ή Πυκνός (σημερινός Κοιλιάρης) μετατρέποντας τη σημερινή περιοχή του κάμπου των Αρμένων και της κοιλάδας του Στύλου, σε εύφορη γη για τις καλλιέργειες. Πιθανά όρια της επικράτειας εξουσίας της, όπως προκύπτουν από τις πηγές, ήταν στα δυτικά τα εδάφη της Κυδωνίας (σημερινά Χανιά), νότια πιθανώς τα εδάφη της Λάμπας (σημερινή Αργυρούπολη) και -κατά τον ιστορικό Πτολεμαίο- ανατολικά το Δρέπανον άκρον (σημερινό ακρωτήριο Δράπανο).

Η ρωμαϊκή κατάκτηση ολοκληρώθηκε σε όλο το νησί το 67 π.Χ., και επαναπροσδιόρισε τη διοικητική οργάνωση της Κρήτης, που για ένα διάστημα εντάχθηκε στην ίδια επαρχία του ρωμαϊκού κράτους με την Κυρηναική (κράτος της Β. Αφρικής). Η ρωμαϊκή ειρήνη (*pac romana*), παρότι επιβεβλημένη, οδήγησε όσες πόλεις δεν είχαν εγκαταλειφθεί με το τέλος της ελληνιστικής περιόδου, σε καινούργια άνθηση. Έτσι και η Απτέρα, όπως αποκαλύπτουν σταδιακά τα ανασκαφικά ευρήματα, διάνυσε μια νέα περίοδο ακμής τον 1<sup>ο</sup> – 2<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. Η χρήση των νομισμάτων της Κυδωνίας, αντί των δικών της κοπών, δηλώνει ότι ήταν διοικητικά υποταγμένη σε αυτήν. Παρόλα αυτά η δραστηριότητα στην οργάνωση της πόλης σε μεγάλα δημόσια έργα είναι φανερή. Οι μεγάλες δεξαμενές που τροφοδοτούσαν τα αντίστοιχα λουτρά, χρονολογημένα σε αυτήν την περίοδο, δείχνουν μία πόλη με μεγάλο πληθυσμό. Στο ηρώο, κοντά στην είσοδο της πόλης, οι επιγραφές αναφέρονται σε πολίτες της Απτέρας, που με κάποιο τρόπο την ευεργέτησαν. Στο μεγαλοπρεπές ταφικό μνημείο είχε ενταφιαστεί ζεύγος, του οποίου βρέθηκε η μαρμάρινη προτομή, χρονολογημένη στο τέλος του 1<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ. Αντίστοιχη εικόνα δίνουν και οι λαξευτοί θαλαμωτοί τάφοι του δυτικού νεκροταφείου της πόλης. Αντίθετα, τον 3ο αιώνα μ.Χ. κατά τον οποίο άλλες πόλεις, όπως η Κυδωνία ή η Κίσαμος, βρίσκονται σε ακμή, η Απτέρα παρουσιάζει σταδιακή παρακμή, η οποία έρχεται οριστικά με τον καταστροφικό σεισμό του 365 μ.Χ., από τον οποίο είχε πληγεί ολόκληρο το νησί.

Από τους περιηγητές αναφέρεται η ύπαρξη ψηφιδωτού δαπέδου κάτω από το εκκλησάκι του Αγίου Ιωάννη του Θεολόγου. Πρέπει να πρόκειται για Παλαιοχριστιανική Βασιλική. Η κατοίκηση της πόλης, συρρικνωμένη πληθυσμιακά πλέον μετά το σεισμό, συνεχίζεται και στα Βυζαντινά χρόνια, οπότε αναφέρονται επίσκοποι από κει. Ο επόμενος, εξίσου ισχυρός σεισμός, του 7<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ. σήμανε την οριστική εγκατάλειψη της ως πόλης.



Σχήμα 1.3 : Άποψη της Μονής του Αγίου Ιωάννη του Θεολόγου

Η μονή του Αγίου Ιωάννη (Σχήμα 1.3) του Θεολόγου άνηκε στην ιδιοκτησία της αντίστοιχης Μονής της Πάτμου μέχρι τη δεκαετία του 1960. Η παλιότερη γραπτή αναφορά που διαθέτουμε σχετικά με αυτήν, είναι στο χρονικό του Antonio Trivan το 1182, που μας δίνει την πληροφορία ότι ο Ισαάκιος Κομνηνός, φεύγοντας από την Κρήτη, έδωσε κτήσεις και φέουδα στη μονή. Όπως φαίνεται από τα δεδομένα του χώρου, η μονή για την κατασκευή της οποίας έχει χρησιμοποιηθεί αρκετό οικοδομικό υλικό από τα αρχαία κτίρια, χτίστηκε σε κεντρικό χώρο της αρχαίας πόλης, ίσως την αρχαία αγορά. Κατά το 16<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. το Ανατολικό τμήμα του περιτειχισμένου χώρου ήταν εγκαταλελειμμένο, ενώ στο υπόλοιπο οι μονάχοι καλλιεργούσαν όσπρια και δημητριακά, αποδίδοντας έσοδα στη μονή Πάτμου. Οι καλλιέργειες τους προκάλεσαν αρκετές ζημιές στα αρχαία κτίρια, ενώ πολλά αρχαία ευρήματα βρέθηκαν από τότε στο εξωτερικό.

Το κάστρο, που βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο του χώρου, οικοδομήθηκε από τους Τούρκους κατακτητές το 1866-1869, σε ένα ευρύτερο πρόγραμμα ανοικοδόμησης κάστρων για την πάταξη της κρητικής επανάστασης.



Κεντρική θεότητα των Απτεραιών θεωρείται η Άρτεμις, η οποία απεικονίζεται στην κύρια όψη δύο διαφορετικών τύπων αργυρών νομισμάτων του 4<sup>ου</sup> και 3<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. Σύμφωνα με επιγραφή του 3<sup>ου</sup> – 2<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ., που έχει βρεθεί στην Απτέρα, διεξάγονταν αγώνες κατά το μήνα Δικτύνναιο, δηλαδή μήνα αφιερωμένο στη Δίκτυννα, παλιότερη ονομασία της Αρτέμιδος που σχετίζεται ειδικά με την λατρεία της στην Κρήτη. Ο μικρός δίχωρος ναός (Σχήμα 1.4), το λεγόμενο «διμερές ιερό», του 5<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. που ανέσκαψαν οι Γερμανοί ως κατακτητές το 1942, έχει αποδοθεί στην Αρτέμιδα και τον αδελφό της Απόλλωνα, ο οποίος επίσης απεικονίζεται σε αργυρά νομίσματα του 2<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. Μία ακόμα ιδιότητα, με την οποία αναφέρεται σε αναθηματική επιγραφή είναι η Ειλειθυία, δηλαδή η προστάτιδα του τοκετού. Το 1862 και το 1864 ο Γάλλος M. Wescher, μέλος τότε της Γαλλικής Αρχαιολογικής Σχολής, ανέσκαψε το λεγόμενο «τοίχο των επιγραφών», ένα τοίχο δηλαδή με επιγραφές του 3<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ., με τις οποίες η Απτέρα απέδιδε τιμές ή όριζε προξένους σε άλλες πόλεις με τις οποίες είχε πολιτικές σχέσεις. Σύμφωνα με τις περιγραφές του B. Haussolier, ο «τοίχος των επιγραφών» πρέπει να βρισκόταν κοντά στον παλιότερο, μικρό δίχωρο ναό και να σχετιζόταν με τον κεντρικό ναό, που πρέπει να αποδοθεί στην Αρτέμιδα. Άλλωστε στον ίδιο χώρο έχουν βρεθεί στοιχεία λατρείας ήδη από τον 8<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. και με μία συνέχεια που φθάνει μέχρι τον 7<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ.



Σχήμα 1.4 : Το «διμερές ιερό», προς τιμή της Αρτέμιδας και του Απόλλωνα

Πρόσφατη ανασκαφή μας έδωσε την πληροφορία ότι στην Απτέρα λατρευόταν η Εστία και ο Δίας, που απεικονίζονται σε νομίσματα που βρέθηκαν.



Τέλος ευρήματα του νεκροταφείου ταυτίζονται με τη λατρεία της Ίσιδος, της θεάς που στους Ελληνιστικούς χρόνους ήρθε από την Ανατολή και γρήγορα διαδόθηκε στην ελληνιστική και τη ρωμαϊκή επικράτεια, καθώς είχε σχέση με τα βασικά ζητήματα της ζωής του ανθρώπου: τη γέννηση, τη γονιμότητα και το θάνατο.

Από τα λιγοστά στοιχεία που διαθέτουμε μέχρι τώρα, φαίνεται ότι η Απτέρα ακολούθουσε τα αρχιτεκτονικά πρότυπα της ελληνιστικής περιόδου που συναντώνται στα νησιά του Αιγαίου και τις πόλεις της Μικράς Ασίας. Η, μερικά, ανασκαμμένη οικία που βασίζεται στα πρότυπα αυτά, διαθέτει μία εσωτερική περιστυλη αυλή - αίθριο, την οποία περιβάλλει ημιυπαίθριος χώρος, στεγασμένος με κεραμίδια. Οι κίονες, τα δωρικά κιονόκρανα και τα υπέρθυρα, που φέρουν τα σημάδια επισκευής, είναι πεσμένα από σεισμό, ενώ τα κεραμίδια είναι πεσμένα σε αλλεπάλληλες στρώσεις του στρώματος καταστροφής. Πρέπει να πρόκειται για το σεισμό του 365 μ.Χ. που έπληξε όλη την Κρήτη και την Κύπρο. Μέσα στην αυλή βρέθηκε μικρό μαρμάρινο γλυπτό της Αφροδίτης, κεφάλι του Ερμή από στήλη, νομίσματα και πήλινα αγγεία καθημερινής χρήσης. Γύρω από αυτούς τους χώρους αναπτύσσονται τα δωμάτια του σπιτιού και μία ακόμη αυλή (Σχήμα 1.5), στην οποία υπάρχει στέρνα που τροφοδοτείται από μικρούς αγωγούς συλλογής των όμβριων υδάτων. Δίπλα της υπήρχε λίθινη λεκάνη, ενώ μέσα στη στέρνα βρέθηκε ακέραιος πήλινος κάδος, ίσως από την τελευταία φορά που αντλήθηκε νερό.



Σχήμα 1.5 : Η δεύτερη αυλή της οικίας με τη στέρνα

Στην ίδια αυλή, βρέθηκε μικρό λίθινο ελαιοτριβείο για την εξυπηρέτηση των οικιακών αναγκών. Η οικία, που χρονολογείται στους πρώτους χρόνους της ρωμαϊοκρατίας (τέλος 1<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. - αρχές 1<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ.) είχε υποστεί μικρές

μετασκευές στην ύστερη αρχαιότητα. Στις επιχώσεις των δωματίων, εκτός από τα σπασμένα πήλινα αγγεία καθημερινής χρήσης (χύτρες, οινοχόες, κύπελλα, πινάκια κ.λ.π.) και τα νομίσματα, βρέθηκαν σιδερένια εξαρτήματα από πόρτες και παράθυρα ή από άλλα ξύλινα αντικείμενα που έχουν απανθρακωθεί με τους αιώνες.

Η απουσία πηγής νερού επάνω στο λόφο, είχε αναγκάσει τους κατοίκους της Απτέρας να κατασκευάζουν στέρνες και δεξαμενές, μικρές για οικιακή χρήση και μεγαλύτερες για γενικότερες λειτουργίες της πόλης, έτσι ώστε να εκμεταλλεύονται όσο μπορούσαν περισσότερο το νερό της βροχής. Ήδη σε διάφορα σημεία του χώρου, έχουν εντοπιστεί, χωρίς να έχει γίνει ανασκαφή, μικρές στέρνες και δεξαμενές που δηλώνουν την ύπαρξη των αντίστοιχων σπιτιών, τα οποία είχαν σχεδιαστεί με τη φροντίδα της συλλογής του βρόχινου νερού μέσω των στεγών, δωματίων, αιθρίων, αυλών κ.λπ.

Στη δημόσια ζωή των αρχαίων πόλεων, σημαντικό ρόλο είχε πάντοτε το θέατρο. Στην αρχαία Απτέρα, το θέατρο (Σχήμα 1.6) είναι κατασκευασμένο σε κοιλότητα, στα νότια του χώρου και λίγα μέτρα ανατολικότερα από την παραπάνω οικία. Τμήμα των κεντρικών διαζωμάτων έχει καταστραφεί στην νεότερη εποχή, από καμίνι για την παραγωγή ασβέστη. Το μικρότερο τμήμα που έχει αποκαλυφθεί ως τώρα, δείχνει ότι είχε λίθινες κερκίδες, προσκήνιο και σκηνή, κατασκευασμένα από μεγάλες λιθοπλίνθους. Η ανασκαφή του φαίνεται ότι θα αναδείξει ένα από τα σημαντικά μνημεία της πόλης.



Σχήμα 1.6 : Πανοραμική άποψη του θεάτρου

### 1.3 Δεξαμενές - Λουτρά

Τα εντυπωσιακότερα, μέχρι τώρα, μνημεία στο χώρο είναι οι δεξαμενές νερού κατασκευασμένες κατά την περίοδο της ρωμαϊοκρατίας, έχοντας ενσωματώσει ίσως κάποια παλιότερη μορφή της ελληνιστικής περιόδου.

#### 1.3.1 Τρίκλιτη Ρωμαϊκή Δεξαμενή

Η δεξαμενή με εσωτερικές διαστάσεις 17x25 m, έχει τρία κλίτη που χωρίζονται μεταξύ τους από μεγάλους πεσσούς (Σχήματα 1.7 και 1.8). Είναι εν μέρει λαξευμένη στο βράχο και το υπόλοιπο τμήμα της κτιστό. Τα τοιχώματα έχουν ενισχυθεί, εσωτερικά κι εξωτερικά, με ένα επί πλέον τοίχο από πλίνθους και κονίαμα και τελικά ολόκληρη η δεξαμενή είναι επιχρισμένη με παχύ υδραυλικό κονίαμα πάχους 4 cm αδιαπέραστο από το νερό (Ιεροδιακόνου 2009). Η οροφή είναι θολωτή και ίσως να οφείλεται σε επισκευή της περιόδου λειτουργίας του μοναστηριού, εποχή κατά την οποία μάλλον ανοίχτηκε η σημερινή πρόσβαση στο εσωτερικό της (Σχήμα 1.9), προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως αποθήκη. Αυτή η μετατροπή κατέστρεψε τμήμα της σκάλας που ξεκινούσε από την οροφή και κατέληγε στον πυθμένα, μόνη πρόσβαση για τον καθαρισμό της δεξαμενής σε κάποιο διάστημα του καλοκαιριού που θα ήταν άδεια.

Όσον αφορά τη φθορά της δεξαμενής αυτή εντοπίζεται κυρίως στα «κενά» στην τοιχοποιία της, όπου κατά το μεγαλύτερο μέρος λείπει το εξωτερικό μέτωπο των επιχρισμένων τούβλων και σε μεμονωμένα σημεία η φθορά έχει προχωρήσει μέχρι το γέμισμα των τοίχων. Ακόμα οι θόλοι έχουν καταρρεύσει κοντά στην είσοδο της δεξαμενής και σε πολλά σημεία υπήρξε έντονη μετακίνηση λίθων, ορισμένοι δε είχαν αποκολληθεί πλήρως.

Η συντήρηση που έγινε υπό την αιγίδα της ΚΕ Εφορίας Αρχαιοτήτων το 1999 περιελάμβανε αρχικά την επιχωμάτωση στο εσωτερικό της και προσεκτικό καθαρισμό του δαπέδου της. Στη συνέχεια ακολούθησαν ανακτήσεις της τοιχοποιίας στο εσωτερικό της (Σχήμα 1.9), σε τμήματα που είχαν έντονες φθορές και μεγάλα «κενά». Ακόμα έγινε γέμισμα με λίθους ενώ οι τελικές επιφάνειες συμπλήρωσης από συμπαγείς πλίνθους έμειναν ανεπιχριστες. Το συνδετικό κονίαμα ήταν κοντά στη



σύνθεση του αρχικού κονιάματος με προσθήκη μικρής ποσότητας λευκού τσιμέντου. Η αποκατάσταση των τριών θόλων έγινε στα τμήματα που έχουν καταρρεύσει ή είχαν έντονη μετακίνηση, από πέτρες και κονίαμα όπως στην αρχική κατασκευή.

Η χωρητικότητα της έχει υπολογιστεί στα 2.900 m<sup>3</sup>. Η συλλογή του νερού των βροχών γινόταν από ανοίγματα της οροφής και από δίκτυο αγωγών που το μετέφεραν από τις πολυάριθμες στέρνες της πόλης αλλά και την μεγαλύτερη δεξαμενή στο βόρειο τμήμα.



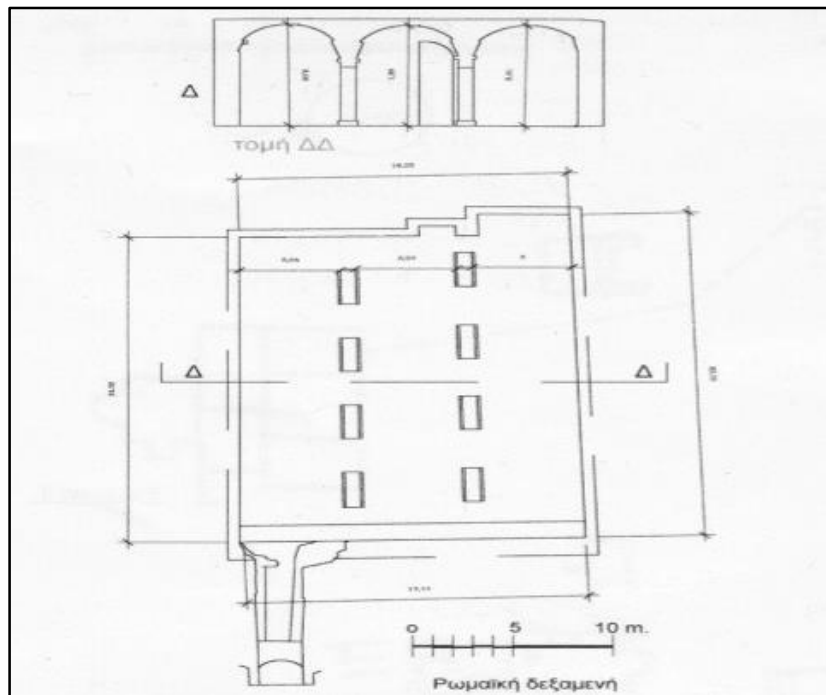
Σχήμα 1.7 : Εξωτερική άποψη τρίκλιτης δεξαμενής



Σχήμα 1.8 : Εσωτερική άποψη τρίκλιτης δεξαμενής



Σχήμα 1.9 : Άποψη εισόδου τρίκλιτης δεξαμενής



Σχήμα 1.10 : Σχέδια τρίκλιτης δεξαμενής (Πηγή: Κεχαγιά Α., 2012)



### 1.3.2 Δεξαμενή σχήματος Γ

Η άλλη δεξαμενή, σε σχήμα Γ (Σχήμα 1.11-1.12), είναι μεγαλύτερη (διαστάσεις μεγάλου σκέλους: 57,30 m, μικρού: 34,40 m και πλάτος 8,85 m) και χωράει περίπου 3.050 m<sup>3</sup> νερού. Η οροφή της δεν διατηρείται, αλλά ήταν επίσης θολωτή. Είναι κατασκευασμένη με τον ίδιο τρόπο με την παραπάνω, ενώ θεμελιώνεται κατά το μεγαλύτερο μέρος της στον λαξευμένο βράχο και κατά το άλλο στο επικλινές έδαφος. Επειδή το σχήμα είναι διαφορετικό, ένας ενδιάμεσος πεσσός βοηθούσε στην στήριξη της οροφής και ένας φαρδύς τοίχος μείωνε τη δύναμη που δημιουργούσε η πίεση του νερού, όταν ήταν γεμάτη. Εκεί υπήρχε και η σκάλα για τον καθαρισμό της, τμήμα της οποίας σώζεται ακόμα. Στο χώρο του αγωγού απορροής, ο πυθμένας της βρίσκεται σε βαθύτερο επίπεδο προκειμένου να καθιζάνει το νερό από την λάσπη που μπορεί να μετέφερε.

Οι φθορές της δεξαμενής επικεντρώνονται στην τοιχοποιία και στον θόλο (Σχήμα 1.13), ο οποίος έχει καταρρεύσει στο σύνολο του και σώζεται μικρό τμήμα του στη γένεση του.

Αρχικά η ΚΕ Εφορεία Αρχαιοτήτων το 1999 προχώρησε σε αποχωμάτωση της δεξαμενής και των φερτών που είχαν ύψος επίχωσης 5 m και εν συνεχεία σε συμπλήρωση στα τμήματα της τοιχοποιίας (Σχήμα 1.15), όπου υπήρχαν μεγάλα κενά. Ακόμα ιδιαίτερη φροντίδα δόθηκε στον καθαρισμό των τοίχων από βλάστηση στο πάνω μέρος τους αφού οι ρίζες και το νερό είχαν εισχωρήσει στη μάζα της τοιχοποιίας, προκαλώντας κατάρρευση τμημάτων και αποκόλληση άλλων.



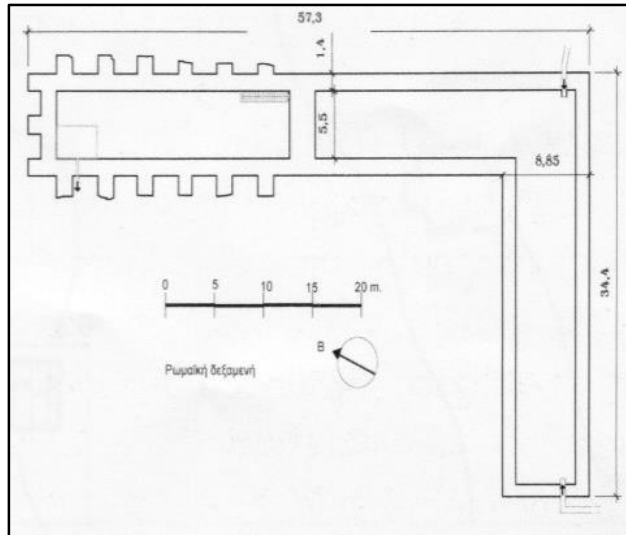
Σχήμα 1.11 : Άποψη μικρού σκέλους



Σχήμα 1.12 : Άποψη μεγάλου σκέλους



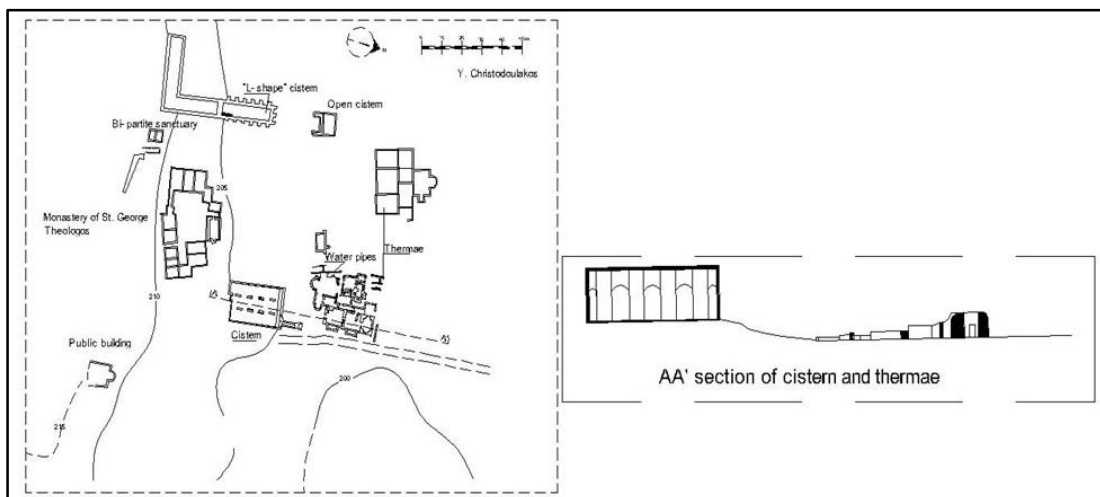
Σχήμα 1.13 : Φθορές στην τοιχοποιία και στον θόλο



Σχήμα 1.14 : Σχέδιο δεξαμενής (Πηγή: Κεχαγιά Α., 2012)



Σχήμα 1.15 : Συμπλήρωση τοιχοποιίας

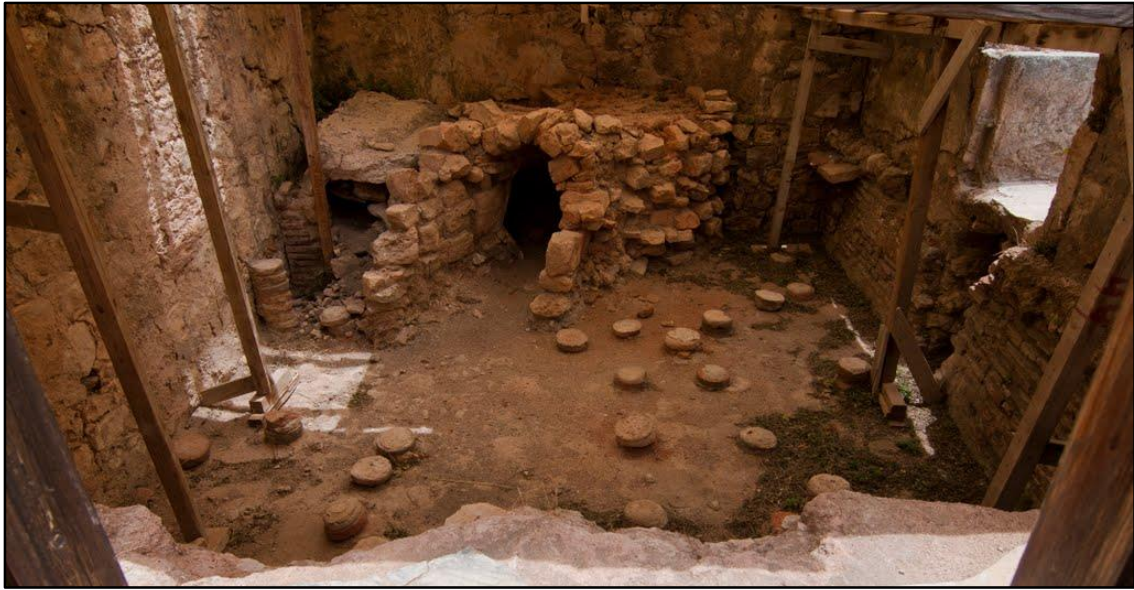


Σχήμα 1.16 : Τοπογραφικό δεξαμενών και λουτρών περιοχής

### 1.3.3 Λουτρά

Οι δύο δεξαμενές χρησίμευαν κυρίως για την τροφοδοσία των αντίστοιχων λουτρών, που βρίσκονται βορειότερα σε χαμηλότερο επίπεδο. Τα λουτρά, μαζί με τις δεξαμενές, πρέπει να ήταν τα μεγαλύτερα δημόσια έργα που κατασκευάστηκαν κατά την περίοδο της ρωμαϊοκρατίας στην Απτέρα. Στο ένα από τα δύο λουτρά, βρέθηκε υπέρθυρο με επιγραφή που αναφέρει το όνομα Λούκιος Λαμπάδης, ίσως κάποιου δωρητή για την ανέγερσή του. Τα τελευταία χρόνια, κατά τις εργασίες που χρηματοδοτήθηκαν από το ΠΕΠ Κρήτης - Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης, ανασκάφτηκαν και στερεώθηκαν ορισμένοι από τους χώρους και των δύο λουτρών που διατηρούνται σε πολύ μεγάλο ύψος. Σε αντίθεση με αυτό που συνηθιζόταν στα αντίστοιχα κτίρια, σε κανένα από τους ανασκαμμένους χώρους δεν έχει βρεθεί ψηφιδωτό δάπεδο. Μόνο κάποια βοτσαλωτά και υπολείμματα μαρμαροθετημάτων, δηλαδή επιστρώσεων με μαρμάρινα πλακίδια, που ενισχύουν τη χρονολόγηση της κατασκευής των λουτρών στους πρώιμους χρόνους της ρωμαϊοκρατίας (1<sup>ος</sup> αιώνας μ.Χ.). Από το κτίριο που αντιστοιχεί στην τρίκλιτη δεξαμενή αποκαλύφθηκαν δύο πτέρυγες του θερμού λουτρού (Σχήμα 1.17), ενώ η συνέχιση της ανασκαφής θα αποκαλύψει και τους χώρους του χλιαρού και του ψυχρού. Σε ορισμένους από τους χώρους έχουν καταστραφεί τα δάπεδα, αλλά διατηρούνται οι πλίνθινοι κυκλικοί κιονίσκοι (Σχήμα 1.18) που τα συγκρατούσαν, το λεγόμενο σύστημα του υπόκαυστου δηλαδή, μέσω του οποίου κυκλοφορούσε ο ζεστός αέρας και ο οποίος προερχόταν από το χώρο καύσης ξύλων. Από τα δάπεδα, που ήταν κατασκευασμένα με τετράγωνα πλίνθους, κονίαμα και επίστρωση με μαρμάρινες πλάκες, ο αέρας διοχετευόταν στους διπλούς θερμαινόμενους τοίχους. Για την καλύτερη διατήρηση της θερμοκρασίας οι πόρτες ήταν διπλές. Ατομικοί λουτήρες για θερμό ή κρύο λουτρό διατηρούνται σε άλλους χώρους, με συστήματα σωληνώσεων για την εισροή και την απορροή του νερού. Το λουτρό που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη δεξαμενή, έχει ανασκαφεί λιγότερο, αλλά διατηρεί περισσότερους χώρους σε πολύ μεγάλο ύψος.





Σχήμα 1.17 : Ο χώρος του θερμού λουτρού



Σχήμα 1.18 : Οι κιονίσκοι που υποβάσταζαν τα δάπεδα και ο κλίβανος

## ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

### 2.1 Υδρολογικά Χαρακτηριστικά Απτέρων

Η περιοχή των Απτέρων βρίσκεται 15 km από την πόλη των Χανίων (Σχήμα 2.1). Ο Νομός Χανίων, όπως και η Κρήτη γενικότερα, ανήκει κλιματικά στη λεγόμενη χερσαία μεσογειακή ζώνη, όπου το κλίμα είναι εύκρατο, θαλάσσιο, με μικρό θερμοκρασιακό εύρος, ελάχιστη σχετική υγρασία του αέρα και εξαιρετική διαύγεια ατμόσφαιρας. Η μεγάλη ηλιοφάνεια, η σπανιότητα του χιονιού και των παγετών και οι ήπιες θερμοκρασίες καθιστούν τις περιοχές του νομού ιδιαίτερα ευνοϊκές από κλιματολογική άποψη. Η νέφωση γενικά είναι μικρή ακόμα και κατά τους χειμερινούς μήνες. Το κλίμα του νομού Χανίων ακολουθεί το ανάγλυφο του εδάφους (Μπαρτζώκας 2009). Οι βροχοπτώσεις είναι εδώ περισσότερες από την υπόλοιπη Κρήτη, γιατί τα υγρά ρεύματα, που προέρχονται από το Ιόνιο, αιχμαλωτίζονται από τα Λευκά Όρη. Σε αυτό άλλωστε, και στην ασβεστολιθική σύσταση του εδάφους, οφείλονται και οι πολλές πηγές του νομού. Στη χαμηλή ζώνη το κλίμα είναι εξαιρετικά ήπιο (η χαμηλότερη θερμοκρασία που σημειώθηκε στα Χανιά είναι 1 °C), αλλά γίνεται φυσικά δριμύ στα ορεινά.

- Η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται στους 17,2 °C, η μέση σχετική υγρασία αγγίζει το 61,8 %, ενώ το ετήσιο ύψος βροχής φθάνει τα 688 mm.
- Οι επικρατέστεροι άνεμοι είναι δυτικοί και βόρειοι και δεν υπερβαίνουν τα 9 Beaufort.



Σχήμα 2.1 : Χάρτης της Κρήτης, με ένδειξη της τοποθεσίας των Απτέρων (Πηγή: [www.earth.google.com](http://www.earth.google.com))

### Μετεωρολογικός Σταθμός Χανίων (EMY)

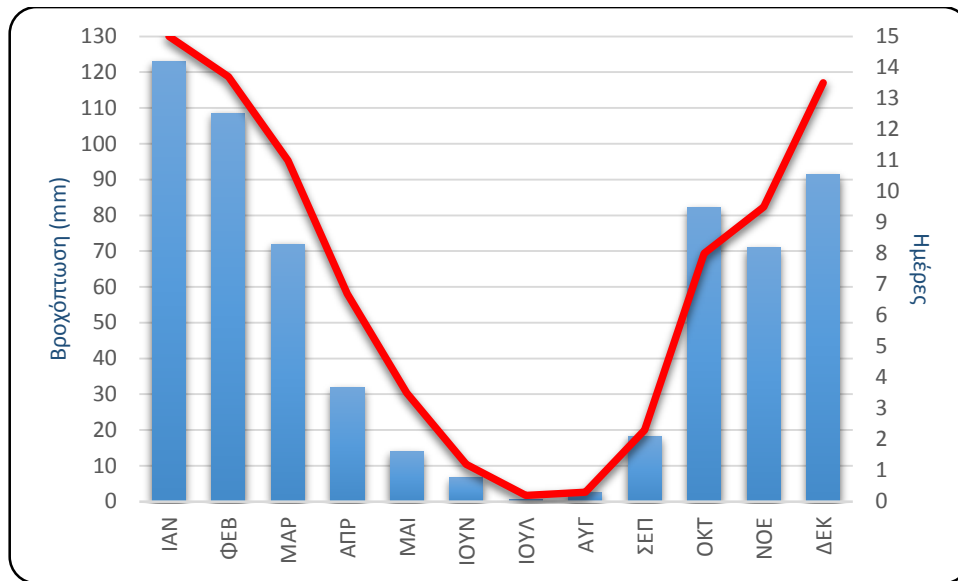
Τα στοιχεία για την εκτίμηση των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής τα οποία παρατίθενται στη συνέχεια, προέρχονται από το μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται εγκατεστημένος στα Χανιά (Υψόμετρο: +150 m, Γεωγραφικό Μήκος: 24°7'0", Γεωγραφικό Πλάτος: 35°29'0") και αναφέρονται στην περίοδο 1958-1997 (Περιφέρεια Κρήτης 2012).

#### **2.1.1 Βροχόπτωση**

Στον Πίνακα 2.1, παρουσιάζονται η μέση βροχόπτωση κάθε μήνα, καθώς επίσης και οι συνολικές μέρες βροχής αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι ο λιγότερο βροχερός μήνας είναι ο Ιούλιος με 0,5 mm και 0,2 μέρες βροχής, ενώ αντίθετα οι πιο βροχεροί μήνες είναι ο Ιανουάριος με μέση τιμή 122,9 mm και 15 μέρες βροχής, όπως και ο Φεβρουάριος με μέση τιμή 108,6 mm και 13,7 μέρες βροχής. Τα παραπάνω δεδομένα βροχόπτωσης παρουσιάζονται και σε διάγραμμα στο Σχήμα 2.2.

Πίνακας 2.1 : Μέση μηνιαία βροχόπτωση Μ.Σ. Χανίων (1958-1997)

1 <sup>ο</sup> Εξάμηνο	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση	122,9	108,6	71,9	31,9	13,9	6,6
Συνολικές Μέρες Βροχής	15	13,7	11	6,7	3,5	1,2
2 <sup>ο</sup> Εξάμηνο	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μηνιαία Βροχόπτωση	0,5	2,7	18,2	82,1	70,9	91,3
Συνολικές Μέρες Βροχής	0,2	0,3	2,3	8	9,5	13,5



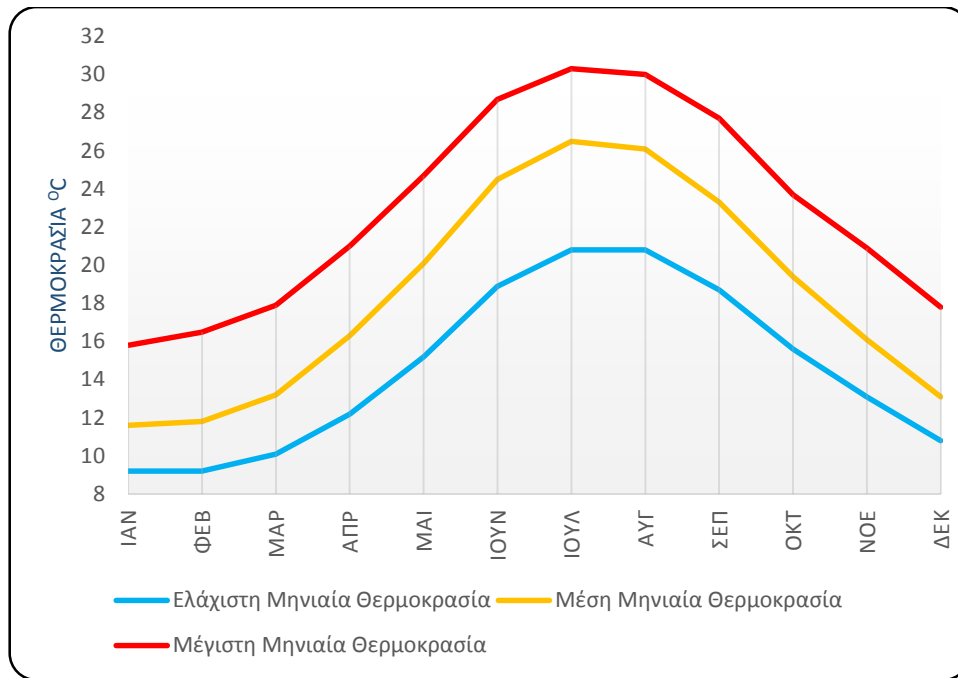
Σχήμα 2.2 : Διάγραμμα μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης και αντιστοιχών ημερών

### 2.1.2 Θερμοκρασία

Όσον αφορά τις θερμοκρασίες, γενικά η περιοχή παρουσιάζει το καλοκαίρι υψηλές σχετικά θερμοκρασιακές συνθήκες και το χειμώνα επίσης η διακύμανση των θερμοκρασιών είναι ομαλή. Στον Πίνακα 2.2, παρουσιάζεται για κάθε μήνα του έτους, η ελάχιστη, η μέγιστη και η μέση θερμοκρασία. Παρατηρούμε ότι η μέση ελάχιστη θερμοκρασία εμφανίζεται τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο της τάξης των 9,2 °C, ενώ η μέση μέγιστη εμφανίζεται το μήνα Ιούλιο και φθάνει τους 30,3 °C. Τα παραπάνω δεδομένα θερμοκρασιών παρουσιάζονται και γραφικά σε διάγραμμα στο Σχήμα 2.3.

Πίνακας 2.2 : Θερμοκρασία Μ.Σ. Χανίων (1958-1997)

1° Εξάμηνο	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	9,2	9,2	10,1	12,2	15,2	18,9
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία	11,6	11,8	13,2	16,3	20,1	24,5
Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	15,8	16,5	17,9	21	24,7	28
2° Εξάμηνο	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	20,8	20,8	18,7	15,6	13,1	10,8
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία	26,5	26,1	23,3	19,4	16,1	13,1
Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία	30,3	30	27,7	23,7	20,9	17,8



Σχήμα 2.3 : Διάγραμμα ελάχιστης, μέσης και μέγιστης θερμοκρασίας Χανίων

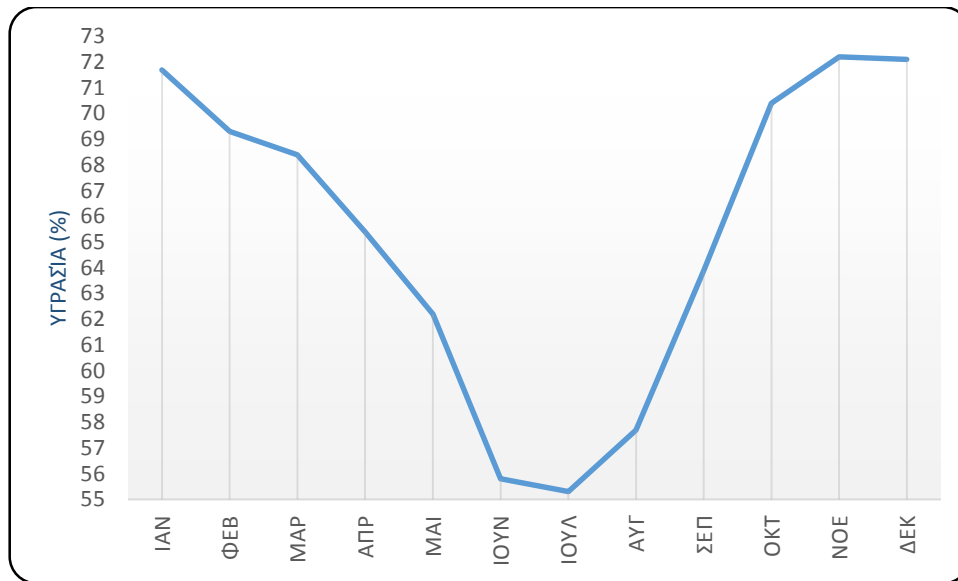
### 2.1.3 Υγρασία

Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία υγρασία του έτους των Χανίων. Παρατηρούνται μεγάλες τιμές της υγρασίας τους χειμερινούς μήνες, τιμές που φθάνουν έως και το 72 %, κάτι στο οποίο συντελούν οι πολλές βροχοπτώσεις που υπάρχουν στην περιοχή τους συγκεκριμένους μήνες, καθώς επίσης και το γεγονός ότι τα Χανιά είναι παραθαλάσσιο μέρος. Το τοπίο αλλάζει τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου παρατηρείται μειωμένη υγρασία και σε πολύ φυσιολογικά επίπεδα της τάξης του 55,3 %. Τα παραπάνω δεδομένα απεικονίζονται γραφικά σε διάγραμμα στο Σχήμα 2.4.

Πίνακας 2.3 : Μέση μηνιαία υγρασία Μ.Σ. Χανίων (1958-1997)

1 <sup>ο</sup> Εξάμηνο	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Μέση Μηνιαία Υγρασία	71,7	69,3	68,4	65,4	62,2	55,8
2 <sup>ο</sup> Εξάμηνο	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μηνιαία Υγρασία	55,3	57,7	63,9	70,4	72,2	72,1





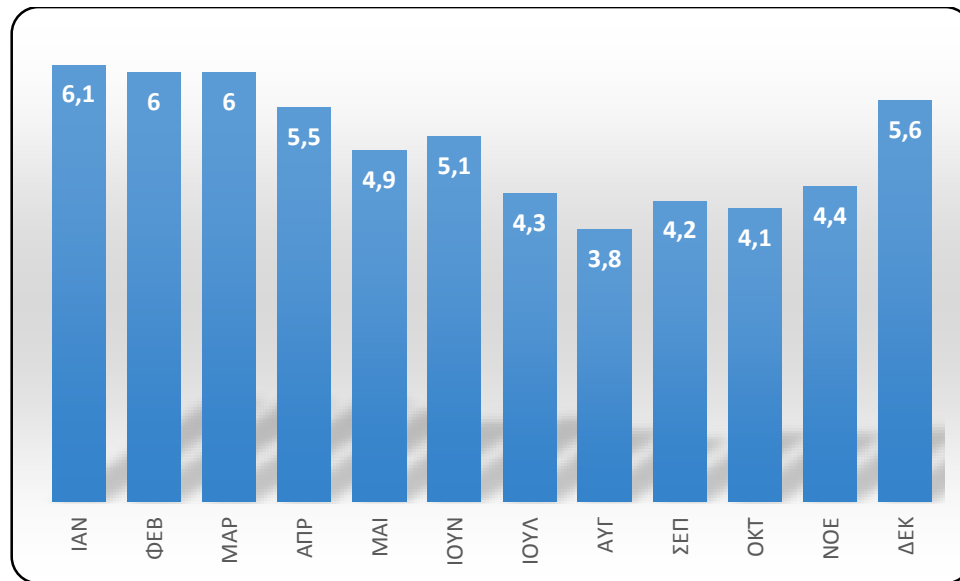
Σχήμα 2.4 : Διάγραμμα μέσης μηνιαίας υγρασίας Χανίων

### 2.1.4 Άνεμος

Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία διεύθυνση και ένταση ανέμων του έτους των Χανίων σε κόμβους (Knots). Παρατηρείται ότι η μέση διεύθυνση των ανέμων που επικρατούν στην περιοχή είναι βορειοδυτική με εξαίρεση τους μήνες του χειμώνα που είναι νότια. Στο Σχήμα 2.5 απεικονίζονται τα παραπάνω δεδομένα σε διάγραμμα.

Πίνακας 2.4 : Μέση μηνιαία ένταση και διεύθυνση ανέμων Μ.Σ. Χανίων (1958-1997)

1° Εξάμηνο	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ
Μέση Μηνιαία Διεύθυνση Ανέμων	N	N	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ
Μέση Μηνιαία Ένταση Ανέμων	6,1	6,0	6,0	5,5	4,9	5,1
2° Εξάμηνο	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μηνιαία Διεύθυνση Ανέμων	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	N	N
Μέση Μηνιαία Ένταση Ανέμων	4,3	3,8	4,2	4,1	4,4	5,6



Σχήμα 2.5 : Διάγραμμα μέσης μηνιαίας έντασης ανέμων Χανίων σε Knots

## 2.2 Λεκάνη Απορροής Στη Θέση Των Δεξαμενών

Το ερώτημα που υπάρχει είναι το πώς οι κάτοικοι γέμιζαν με νερό τις δεξαμενές στην Αρχαία Απτέρα. Σύμφωνα με τις αρχαιολογικές ανασκαφές και την μορφολογία του εδάφους προκύπτουν τα παρακάτω:

- Δεν υπάρχουν υπολείμματα δομών υδραγωγείου
- Δεν υπάρχουν απομεινάρια της δομής συγκομιδής νερού
- Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικοί υδροφόροι ορίζοντες σε προσβάσιμο βάθος, εφόσον στην περιοχή δεν έχουν βρεθεί πηγάδια

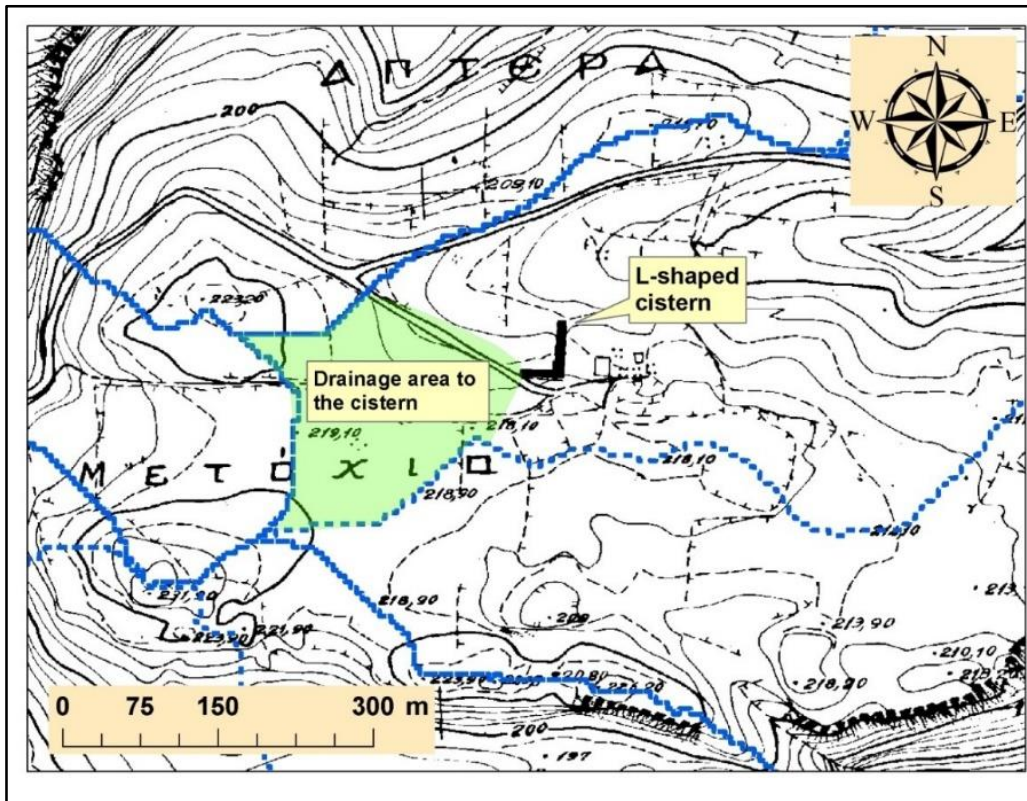
Άρα ένα γρήγορο αποτέλεσμα αυτών των μελετών υποδεικνύουν την πιθανότητα της επιφανειακής απορροής ως κύρια πηγή του νερού. Πρόσφατες μελέτες που σχετίζονται με την ύδρευση στα Άπτερα έγιναν από τους Gorokhovich *et al* (2012). Οι μελέτες αυτές εξηγούν πιθανούς τρόπους πλήρωσης της δεξαμενής σχήματος Γ με νερό, όμως, δεν υπάρχουν αρχαιολογικά ευρήματα που να υποστηρίζουν οποιαδήποτε θεωρία ακόμα.

Η τελευταία μελέτη τους, απέδειξε ότι η επιφανειακή απορροή είναι η πηγή νερού για να γεμίσουν οι δεξαμενές με νερό. Η μελέτη αυτή χρησιμοποίησε απλή υδρολογική μοντελοποίηση με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) για τον εντοπισμό του δυναμικού της λεκάνης απορροής και αξιολογήθηκε η ικανότητα της να καλύψει με νερό την δεξαμενή σχήματος Γ. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι δεξαμενές θα μπορούσαν ενδεχομένως να γεμίσουν με νερό από την επιφανειακή απορροή που παρέχεται από την περιοχή αποστράγγισης.

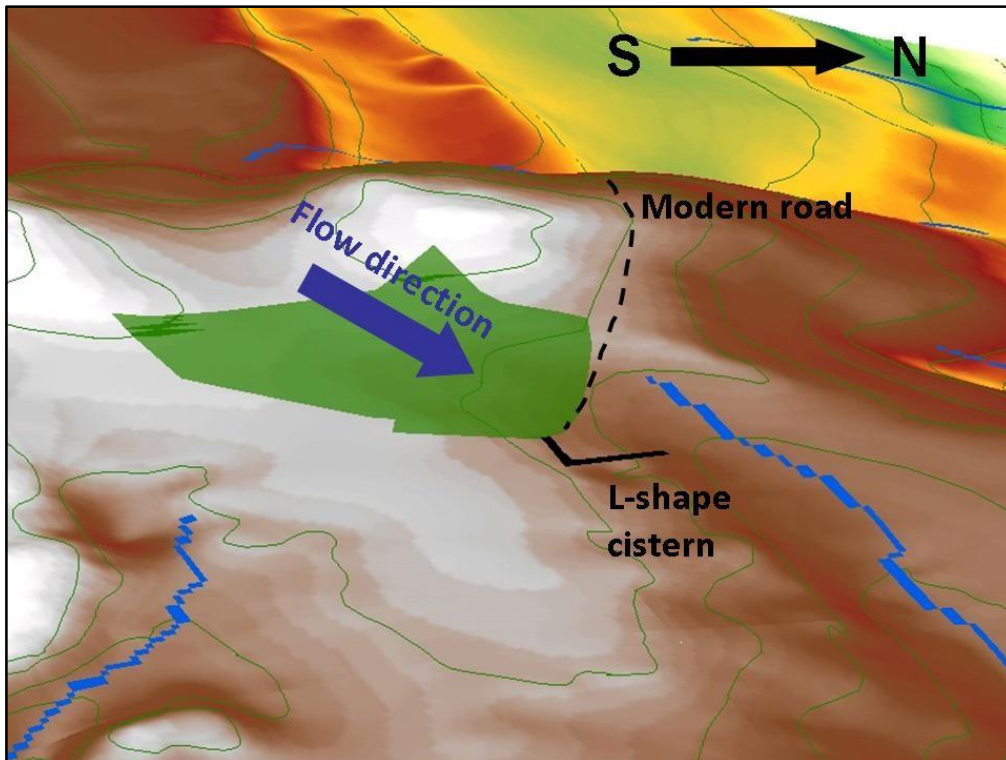
Το δίκτυο αποχέτευσης που παράγεται από το GIS ορίζει μια πιθανή λεκάνη απορροής στην κύρια δεξαμενή των Απτέρων. Τοποθετώντας την λεκάνη πάνω στον σημερινό χάρτη των Απτέρων (Σχήμα 2.9), κατά τους Εμμανουήλ & Παναγιωτίδη (2012), το κατώτερο όριο της λεκάνης απορροής βρίσκεται στην οριογραμμή της υφισταμένης οδού. Το τέλος του δρόμου αγγίζει την γωνία της δεξαμενής σχήματος Γ, και έτσι βγαίνει το συμπέρασμα ότι με αυτό τον τρόπο τροφοδοτούνταν με νερό το συγκρότημα των δεξαμενών των Απτέρων.



Η έκταση συλλογής της εν λόγω λεκάνης, υπολογίστηκε στα 29.946 m<sup>2</sup> (3 ha) και χαρακτηρίζεται από μικρή κλίση σε όλες τις κατευθύνσεις (< 3 degrees)



Σχήμα 2.9 : Αποτύπωση περιοχής και λεκάνης απορροής (Πηγή: Gorokhovich et al (2012) )



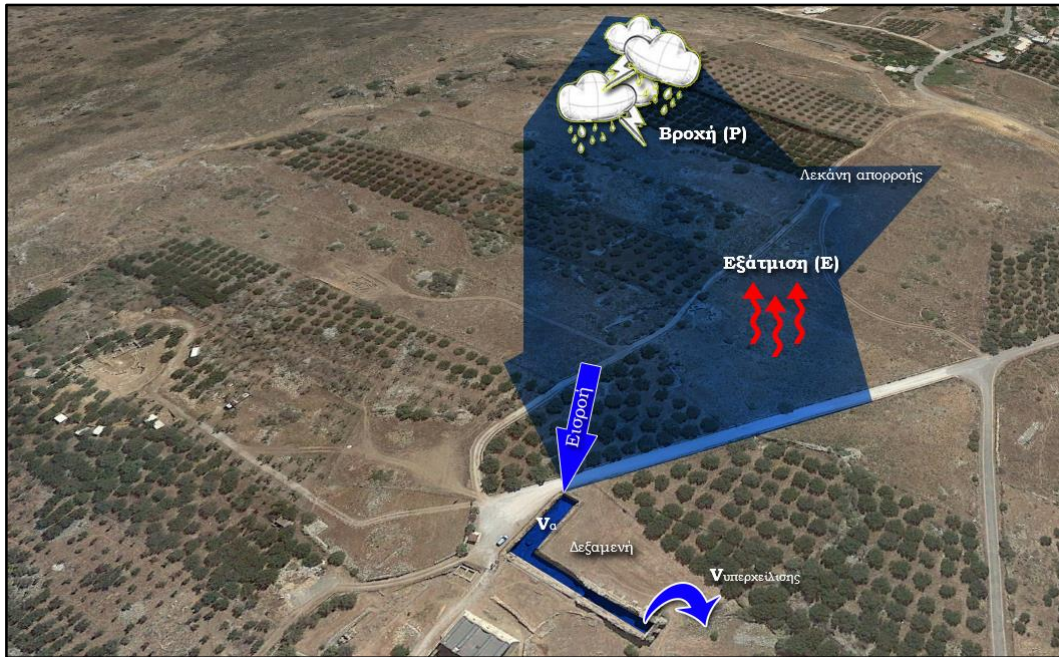
Σχήμα 2.10 : Υδρολογικό μοντέλο απορροής (Πηγή: Gorokhovich et al (2012) )

## ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

### 3.1 Δομή Μοντέλου

Για τη διεξαγωγή μίας μελέτης απαιτείται αρχικά η διατύπωση και ο σχεδιασμός του προς επίλυση προβλήματος. Έπειτα συλλέγονται από διαθέσιμες πηγές τα δεδομένα που αφορούν το προς επίλυση πρόβλημα. Το επόμενο καθοριστικό βήμα, για τη μετέπειτα ανάλυση των δεδομένων, την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης και την εξαγωγή συμπερασμάτων, είναι η καταχώρηση των δεδομένων σε κάποιο λογισμικό πακέτο ανάλυσης δεδομένων. Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι η καταχώρηση των προς ανάλυση δεδομένων στο λογισμικό επιδρά στην μετέπειτα ανάλυση και στην εξαγωγή των συμπερασμάτων.

Στο Σχήμα 2.1 απεικονίζεται σε σκαρίφημα ο τρόπος λειτουργίας των δεξαμενών. Αποτυπώνεται σε τρισδιάστατο χάρτη της περιοχής με μπλε χρώμα η έκταση της λεκάνης απορροής εμβαδού  $A=29.946 \text{ m}^2$ , η βροχόπτωση (P) και η εξάτμιση (E) στην λεκάνη απορροής, η εισροή του νερού στην δεξαμενή, η δεξαμενή σχήματος Γ συνολικού όγκου  $V_{\delta\Gamma}=3.050 \text{ m}^3$ , το απόθεμα της δεξαμενής  $V_{\alpha}$  με μπλε χρώμα στο εσωτερικό της και τέλος ο όγκος της υπερχειλίσης  $V_{\text{υπερχειλίσης}}$ .



Σχήμα 3.1 : Απεικόνιση λειτουργίας των δεξαμενών

Για την ανάλυση του παραπάνω μοντέλου χρησιμοποιήθηκε ως λογισμικό το Microsoft Excel 2013 και τα δεδομένα που εισήχθησαν ήταν κατά βάση ποσοτικά. Στο Σχήμα 3.2 απεικονίζεται το περιβάλλον και η δομή του μοντέλου στο λογισμικό και στην συνέχεια θα γίνει μια προσπάθεια ανάλυσης της δομής του, όσο το δυνατόν καλύτερα και επεξηγηματικά.

A/A	Ημερομηνία	Βροχόπτωση (mm)	Εξάτμιση (mm)	Βροχή-Εξάτμιση (mm)	Εισροή (m <sup>3</sup> )	Απόληψη (m <sup>3</sup> )	Ισοζύγιο	Απόθεμα (m <sup>3</sup> )	Υπερχείλιση (m <sup>3</sup> )	Έλλειψη (m <sup>3</sup> )
1	1/1/1974 0:00	0,00	1,43	0,00	0,00	309,07	-309,07	0,00	0,00	-309,07
2	2/1/1974 0:00	0,00	1,43	0,00	0,00	309,07	-309,07	0,00	0,00	-309,07
3	3/1/1974 0:00	25,00	1,43	23,57	705,91	309,07	396,84	396,84	0,00	0,00
4	4/1/1974 0:00	10,00	1,43	8,57	256,72	309,07	-52,35	344,49	0,00	0,00
5	5/1/1974 0:00	5,00	1,43	3,57	106,99	309,07	-202,08	142,41	0,00	0,00
6	6/1/1974 0:00	0,00	1,43	0,00	0,00	309,07	-309,07	0,00	0,00	-166,66
7	7/1/1974 0:00	0,00	1,43	0,00	0,00	309,07	-309,07	0,00	0,00	-309,07
8	8/1/1974 0:00	10,00	1,43	8,57	256,72	309,07	-52,35	0,00	0,00	-52,35
9	9/1/1974 0:00	4,00	1,43	2,57	77,05	309,07	-232,02	0,00	0,00	-232,02
10	10/1/1974 0:00	0,00	1,43	0,00	0,00	309,07	-309,07	0,00	0,00	-309,07
11	11/1/1974 0:00	0,00	1,43	0,00	0,00	309,07	-309,07	0,00	0,00	-309,07
12	12/1/1974 0:00	25,00	1,43	23,57	705,91	309,07	396,84	396,84	0,00	0,00
13	13/1/1974 0:00	35,00	1,43	33,57	1.005,37	309,07	696,30	1.093,14	0,00	0,00
14	14/1/1974 0:00	10,00	1,43	8,57	256,72	309,07	-52,35	1.040,79	0,00	0,00
15	15/1/1974 0:00	0,00	1,43	0,00	0,00	309,07	-309,07	731,72	0,00	0,00
13511	28/12/2010 0:00	25,40	1,39	25,40	760,63	313,19	447,43	447,43	0,00	0,00
13512	29/12/2010 0:00	3,80	1,39	3,80	113,79	313,19	-199,40	248,04	0,00	0,00
13513	30/12/2010 0:00	0,00	1,39	0,00	0,00	313,19	-313,19	0,00	0,00	-65,16
13514	31/12/2010 0:00	0,00	1,39	0,00	0,00	313,19	-313,19	0,00	0,00	-313,19
Σύνολο:		24.710,69	41.586,84	21.567,52	645.860,90	4.728.181,62			23.106,63	-4.105.427,35

Σχήμα 3.2 : Περιβάλλον και δομή μοντέλου στο Microsoft Excel 2013

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 3.2, το μοντέλο έτρεξε σε ημερήσια βάση για 13.514 ημέρες, ήτοι 36 υδρολογικά έτη - 432 υδρολογικούς μήνες. Η λογική σειρά των πράξεων είναι από τα αριστερά προς τα δεξιά και τα δεδομένα παρατίθενται ανά στήλες. Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του μοντέλου θα δοθεί ένα παράδειγμα για την πρώτη ημέρα λειτουργίας (σειρά 1). Αναλυτικά:

- *Στήλη A*  
Αποτυπώνονται κατά αύξοντα αριθμό οι ημέρες της δραστηριότητας.
- *Στήλη B*  
Αποτυπώνονται κατά χρονολογική σειρά οι ημέρες της δραστηριότητας.
- *Στήλη C*  
Αποτυπώνονται οι τιμές της ημερήσιας βροχόπτωσης P σε mm, οι οποίες εισάγονται μέσω του πληκτρολογίου (INPUT).
- *Στήλη D*  
Αποτυπώνονται οι τιμές της ημερήσιας εξάτμισης E σε mm, οι οποίες εισάγονται μέσω του πληκτρολογίου (INPUT).
- *Στήλη E*  
Αποτυπώνονται η τιμές της καθαρής βροχής σε mm, δηλαδή της βροχόπτωσης μείον της εξάτμισης (P-E) με την ακόλουθη λογική έκφραση  

=IF (C1>D1 ; C1-D1 ; 0)
-------------------------

  
η οποία λειτουργεί ως εξής: εάν η ημερήσια βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη της ημερήσιας εξάτμισης, τότε πραγματοποιείται η αφαίρεση C1-D1 και τυπώνει το αποτέλεσμα της στο κελί E1, αλλιώς τυπώνει τον αριθμό 0.
- *Στήλη F*  
Αποτυπώνονται οι τιμές της εισροής Q στην δεξαμενή σε m<sup>3</sup>, με την εξής συνάρτηση:

$$Q=P_{cl}\cdot A$$



όπου:  $P_{cl}$  η τιμή της καθαρής ημερήσιας βροχόπτωσης σε mm και  $A$  η έκταση της λεκάνης απορροής σε  $m^2$ . Στην γραμμή εντολών εμφανίζεται η ακόλουθη συνάρτηση:

$$=E1*\$J\$1/1000$$

όπου  $\$J\$1$  είναι η σταθερή τιμή της λεκάνης απορροής. Ο πολλαπλασιασμός διαιρείται κατά 1000 για να προκύψει η τιμή της εισροής σε  $m^3$ , μιας και η καθαρή βροχόπτωση είναι σε mm.

- Στήλη G

Αποτυπώνονται οι ημερήσιες τιμές της απόληψης  $Q_a$  σε  $m^3$ , οι οποίες είναι σταθερές για κάθε μήνα. Στο κεφάλαιο 3.2 αναλύεται ο τρόπος υπολογισμού τους.

- Στήλη H

Αποτυπώνεται το ισοζύγιο και υπολογίζεται αφαιρώντας την ημερήσια απόληψη  $Q_a$  από την ημερήσια εισροή  $Q$ . Στην γραμμή εντολών εμφανίζεται ως εξής:

$$=F1-G1$$

- Στήλη I

Αποτυπώνεται το ημερήσιο απόθεμα νερού στην δεξαμενή σε  $m^3$  και υπολογίζεται με την ακόλουθη λογική έκφραση

$$=IF(I0+H1<0;0;IF(I0+H1>6;6;IF(I0+H1>0;H1+I0;IF(I0+H1<6;H1+I0;)))$$

η οποία λειτουργεί ως εξής: εάν το απόθεμα της προηγούμενη μέρας (εδώ  $I_0$ , δηλαδή αρχικό απόθεμα αφού εξετάζουμε την πρώτη μέρα της δραστηριότητας) και το ισοζύγιο της ημέρας μελέτης είναι μικρότερο του 0, τότε τυπώνει τον αριθμό 0 στο κελί του αποθέματος, αλλιώς αν είναι μεγαλύτερο του όγκου της δεξαμενής τότε τυπώνει τον όγκο της δεξαμενής στο κελί. Αν δεν ισχύει καμιά από τις παραπάνω λογικές συνθήκες, τότε συνεχίζει και αν το άθροισμα του προηγούμενου αποθέματος και του σημερινού ισοζυγίου είναι μεγαλύτερο του

μηδενός ή μικρότερο του όγκου της δεξαμενής τότε αποτυπώνει το άθροισμά τους στο κελί του αποθέματος.

- Στήλη J

Αποτυπώνεται ο όγκος της ημερήσιας υπερχειλίσης από την δεξαμενή σε m<sup>3</sup> και υπολογίζεται με την ακόλουθη λογική έκφραση

$$=IF(I1=\$J\$6;H1+I0-\$J\$6;0)$$

η οποία λειτουργεί ως εξής: εάν το ημερήσιο απόθεμα της δεξαμενής είναι ίσο με τον όγκο της, τότε αφαιρεί τον όγκο της δεξαμενής από το ημερήσιο ισοζύγιο και το απόθεμα της προηγούμενης μέρας και τυπώνει το αποτέλεσμα στο κελί, αλλιώς τυπώνει τον αριθμό 0.

- Στήλη K

Αποτυπώνεται η ημερήσια έλλειψη νερού στην δεξαμενή και υπολογίζεται με την ακόλουθη λογική έκφραση

$$=IF(I1=0;H1+I0;0)$$

η οποία λειτουργεί ως εξής: εάν το ημερήσιο απόθεμα νερού της δεξαμενής είναι μηδενικό, τότε προσθέτει το απόθεμα της προηγούμενης μέρας με το σημερινό ισοζύγιο και τυπώνει το αποτέλεσμα στο κελί της ημερήσιας έλλειψης, αλλιώς τυπώνει τον αριθμό 0.

Στο τέλος του μοντέλου, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.2, αποτυπώνονται τα αθροίσματα των τιμών όλων των δεδομένων, πλην του ισοζυγίου και του αποθέματος, τα οποία είναι απαραίτητα για την εκτέλεση πράξεων που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Έτσι, το μοντέλο λειτουργίας των δεξαμενών στήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει μια λογική συνέχεια, να είναι ευανάγνωστο και κατανοητό από κάποιον που θα το δει για πρώτη φορά αλλά και να είναι όσο το δυνατόν κοντά στην πραγματική λειτουργία του συστήματος. Εξάλλου αποκλίσεις υπάρχουν σε κάθε έρευνα και κάθε προσπάθεια αποτύπωσης των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας παρομοίων υδροσυστημάτων.

## 3.2 Εισαθθέντα Δεδομένα Μοντέλου

### 3.2.1 Σταθερά δεδομένα

Για την κατάρτιση του μοντέλου λειτουργίας των δεξαμενών της περιοχής, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τα οποία άλλα παραμένουν σταθερά σε όλη την διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ άλλα μεταβάλλονται σύμφωνα με τις ανάγκες της διαδικασίας για την καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων. Σταθερά παραμένουν τα παρακάτω δεδομένα:

- Έκταση λεκάνης απορροής ( $A$ )

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η έκταση της λεκάνης απορροής, κατά τον Gorokhovich , μετρήθηκε σε  $A=29.946 \text{ m}^2$  (3 ha).

- Όγκος δεξαμενών ( $V_{\delta}$ )

Στο 1.2.6 αναφερθήκαμε στις δύο δεξαμενές της περιοχής: την δεξαμενή σχήματος  $\Gamma$  με χωρητικότητα  $V_{\delta\Gamma}=3.050 \text{ m}^3$  και την τρίκλιτη δεξαμενή με χωρητικότητα  $V_{\delta\tau}=2.900 \text{ m}^3$  . Στο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε ως όγκος δεξαμενής το άθροισμα και των δύο, οπότε  $V_{\delta}=5.950 \text{ m}^3$ .

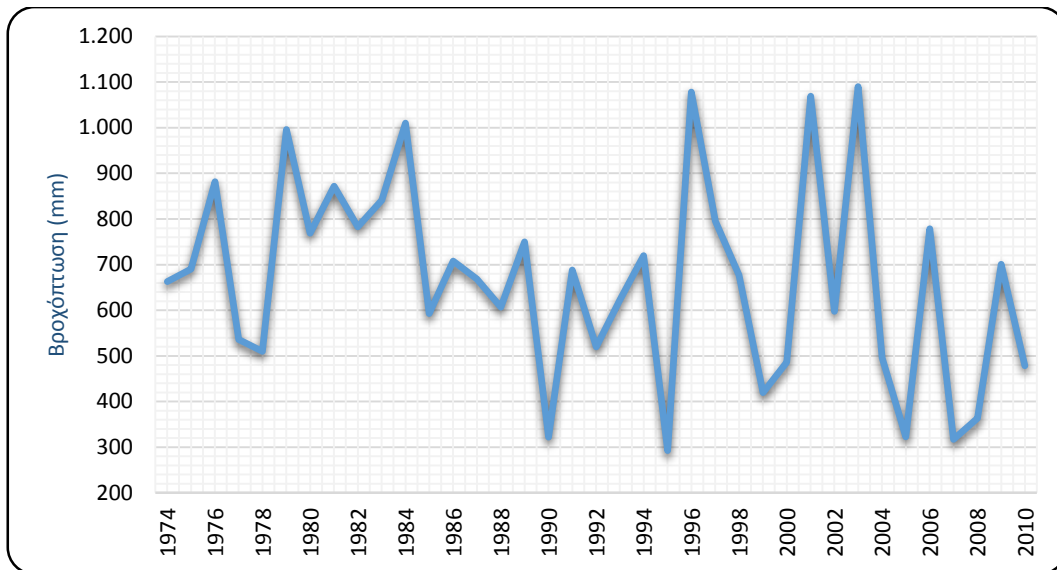
- Αρχικό απόθεμα ( $V_o$ )

Παρατηρούμε ότι ως ημερομηνία έναρξης της βροχόπτωσης έχουμε θέσει την 1/1/1974. Πρόκειται για χειμερινή περίοδο, όπου οι βροχοπτώσεις είναι αρκετές και έτσι οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι το αρχικό απόθεμα της δεξαμενής δεν μπορεί να είναι μηδενικό. Γι' αυτό τον λόγο, θέσαμε την τιμή:

$$V_o=2000 \text{ m}^3$$

- Βροχόπτωση ( $P$ )

Τα δεδομένα βροχής που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό Καλύβες, που βρίσκεται δίπλα από την περιοχή μελέτης των Αρχαίων Απτέρων. Το δείγμα της βροχόπτωσης είναι 432 μηνών, από 1/1/1974 έως 31/12/2010 (36 υδρολογικά έτη), μετρούμενο σε mm. Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζονται οι συνολικές ετήσιες βροχοπτώσεις και των 36 ετών.



Σχήμα 3.3 : Ετήσιες τιμές βροχόπτωσης (mm)

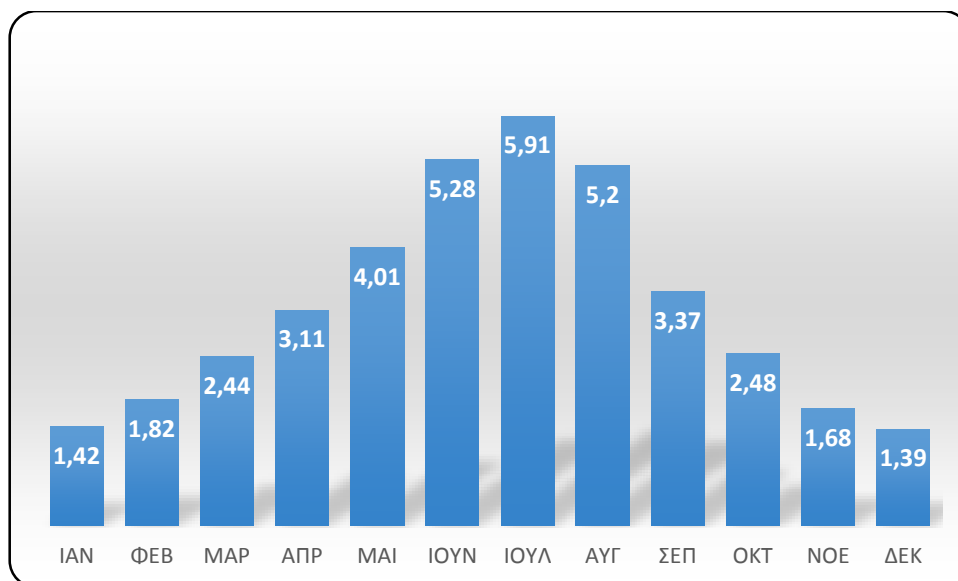
- **Εξάτμιση (E)**

Όπως και στην βροχόπτωση, έτσι και στην εξάτμιση χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον μετεωρολογικό σταθμό Καλύβες. Επειδή ήταν δύσκολο να βρεθούν ημερήσιες τιμές για τα 36 χρόνια της μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίες τιμές ενός δείγματος από 01/1968 έως 12/1983. Οι παραπάνω τιμές διαιρέθηκαν με τις αντίστοιχες μέρες του κάθε μήνα και προέκυψαν οι μέσες ημερήσιες τιμές ανά μήνα. Έτσι, για κάθε μήνα τους έτους, εισήχθησαν σταθερές ημερήσιες τιμές εξάτμισης, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1. Τέλος, οι ημερήσιες αυτές τιμές παρουσιάζονται και σε διάγραμμα στο Σχήμα 3.4.

Πίνακας 3.1 : ΜΟ μηνιαίων τιμών εξάτμισης

Μήνας	Εξάτμιση (mm)
Ιανουάριος	1,42
Φεβρουάριος	1,82
Μάρτιος	2,44
Απρίλιος	3,11
Μάιος	4,01
Ιούνιος	5,28
Ιούλιος	5,91
Αύγουστος	5,20
Σεπτέμβριος	3,37
Οκτώβριος	2,48
Νοέμβριος	1,68
Δεκέμβριος	1,39





Σχήμα 3.4 : Ημερήσιες τιμές εξάτμισης

- *Συντελεστές κατανάλωσης (λ)*

Υπολογίσθηκαν βάση των αναγκών των κατοίκων της περιοχής εκείνης της εποχής και εκφράζονται σε επί % της συνολικής κατανάλωσης του έτους. Κύρια χρήση του νερού των δεξαμενών ήταν η τροφοδότηση των λουτρών, η πόση του νερού από τους κατοίκους και οι αρδευτικές εργασίες. Κατά τους χειμερινούς μήνες χρησιμοποιήθηκαν μικρότεροι συντελεστές (πίνακας 3.2), ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω της υψηλής θερμοκρασίας θεωρήθηκε ότι η χρήση του νερού για τους παραπάνω λόγους θα είναι αυξημένη και έτσι η τιμές των συντελεστών θα είναι μεγαλύτερες.

Πίνακας 3.2 : Τιμές συντελεστών κατανάλωσης

Μήνας	Συντελεστής κατανάλωσης (%)
Ιανουάριος	7,5
Φεβρουάριος	7,0
Μάρτιος	7,4
Απρίλιος	7,9
Μάιος	8,8
Ιούνιος	9,3
Ιούλιος	9,9
Αύγουστος	9,3
Σεπτέμβριος	8,9
Οκτώβριος	8,5
Νοέμβριος	7,9
Δεκέμβριος	7,6

### 3.2.2 Μεταβλητά δεδομένα

Μεταβάλλοντας τις τιμές κάποιων δεδομένων, θα μπορέσουμε να έχουμε ένα ικανοποιητικό δείγμα από την λειτουργία του μοντέλου των δεξαμενών και έτσι να εξάγουμε τα καλύτερα συμπεράσματα. Τα δεδομένα που θα μεταβληθούν δύο ή και περισσότερες φορές είναι:

- *Μέση ημερήσια κατανάλωση ( $Q_H$ )*

Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η μέση ημερήσια κατανάλωση νερού των κατοίκων επί Ρωμαϊκής εποχής. Σύμφωνα με την Νεστορίδη (2012), οι Ρωμαίοι κάτοικοι χρειαζόντουσαν 75 lt/d/κάτοικο, ενώ για τους αξιωματούχους η κατανάλωση ήταν μεγαλύτερη. Ο πληθυσμός των Απτέρων αναφέρεται ότι ήταν γύρω στις 2000, οπότε μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε ότι η μέση ημερήσια κατανάλωση είναι:

$$Q_H = 75 \cdot 2000 = 150000 \text{ lt/d} = 150 \text{ m}^3$$

Επειδή η τιμή αυτή είναι προσεγγιστική, χρησιμοποιήσαμε τρεις διαφορετικές τιμές για την μέση ημερήσια κατανάλωση ( $Q_{H1} = 100 \text{ m}^3$ ,  $Q_{H2} = 150 \text{ m}^3$ ,  $Q_{H3} = 200 \text{ m}^3$ ), για τις οποίες το μοντέλο θα τρέξει κάθε φορά αντίστοιχα.

- *Απόληψη ( $Q_a$ )*

Πρόκειται για την μέση ημερήσια κατανάλωση νερού. Προκύπτει συναρτήσει των συντελεστών κατανάλωσης και της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης.

Αρχικά υπολογίσθηκε η μηνιαία επιφανειακή απορροή με τον εξής τρόπο:

$$Q_a^{\mu\eta\nu} = \lambda \cdot V_o$$

Στην συνέχεια, οι μηνιαίες τιμές διαιρέθηκαν με το πλήθος των ημερών των αντίστοιχων μηνών και προέκυψαν οι ημερήσιες τιμές απόληψης (Πίνακας 3.3), οι οποίες είναι σταθερές και για τα 36 υδρολογικά έτη. Δηλαδή έχουμε:

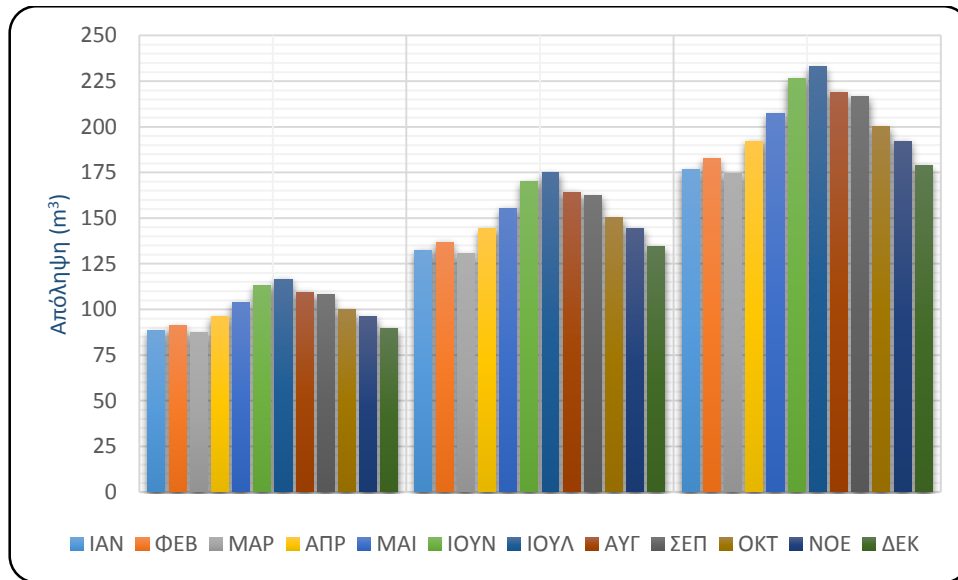
$$Q_a^{\eta\mu\epsilon\rho} = \frac{Q_a^{\mu\eta\nu}}{d}$$

όπου d: το πλήθος των ημερών κάθε μήνα

Έτσι, για κάθε μέση ημερήσια κατανάλωση  $Q_H$ , προκύπτουν οι ακόλουθες ημερήσιες απολήψεις κάθε μήνα, οι οποίες παρουσιάζονται και σε διάγραμμα στο Σχήμα 3.5.

Πίνακας 3.3 : Ημερήσιες τιμές απόληψης για κάθε  $Q_H$

Μήνας	Απόληψη (m <sup>3</sup> )		
	100	150	200
Ιανουάριος	88,31	132,46	176,61
Φεβρουάριος	91,25	136,88	182,50
Μάρτιος	87,13	130,69	174,26
Απρίλιος	96,12	144,18	192,23
Μάιος	103,61	155,42	207,23
Ιούνιος	113,15	169,73	226,30
Ιούλιος	116,56	174,85	233,13
Αύγουστος	109,50	164,25	219,00
Σεπτέμβριος	108,28	162,43	216,57
Οκτώβριος	100,08	150,12	200,16
Νοέμβριος	96,12	144,18	192,23
Δεκέμβριος	89,48	134,23	178,97



Σχήμα 3.5 : Ημερήσιες τιμές απόληψης κάθε μήνα για κάθε  $Q_H$

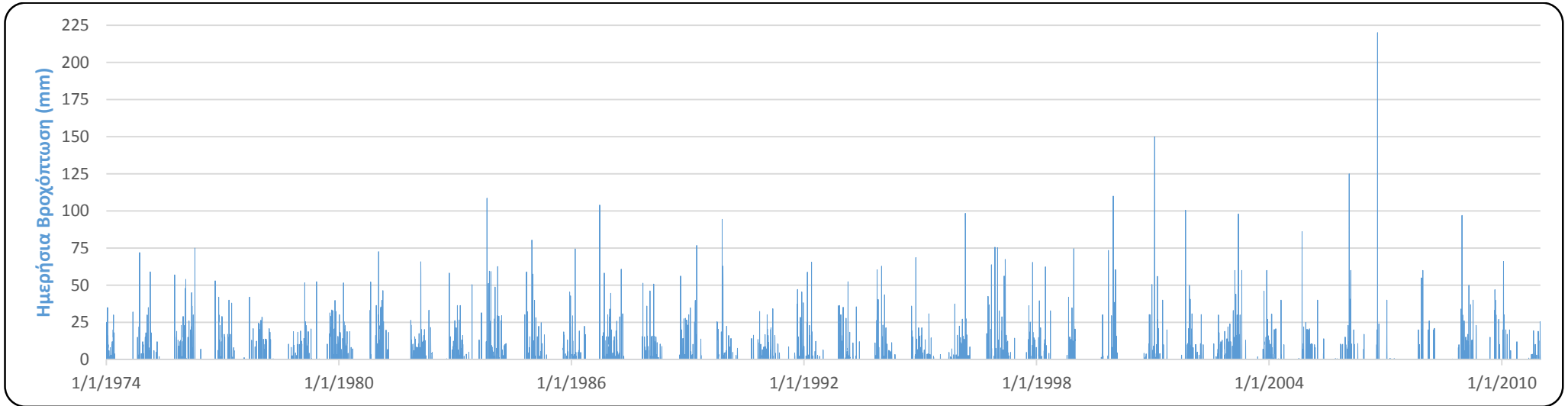
## ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Όπως είχαμε αναφέρει στο κεφάλαιο 3.2.2, για την καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων αλλά και της καλύτερης προσομοίωσης της λειτουργίας των δεξαμενών της περιοχής, το μοντέλο που υλοποιήθηκε στο Microsoft Excel 2013 «έτρεξε» για τρεις διαφορετικές τιμές της Μέσης Ημερήσιας Κατανάλωσης  $Q_H$  ( $Q_{H1}=100 \text{ m}^3$ ,  $Q_{H2}=150 \text{ m}^3$ ,  $Q_{H3}=200 \text{ m}^3$ ). Για κάθε ημέρα υπολογίστηκαν:

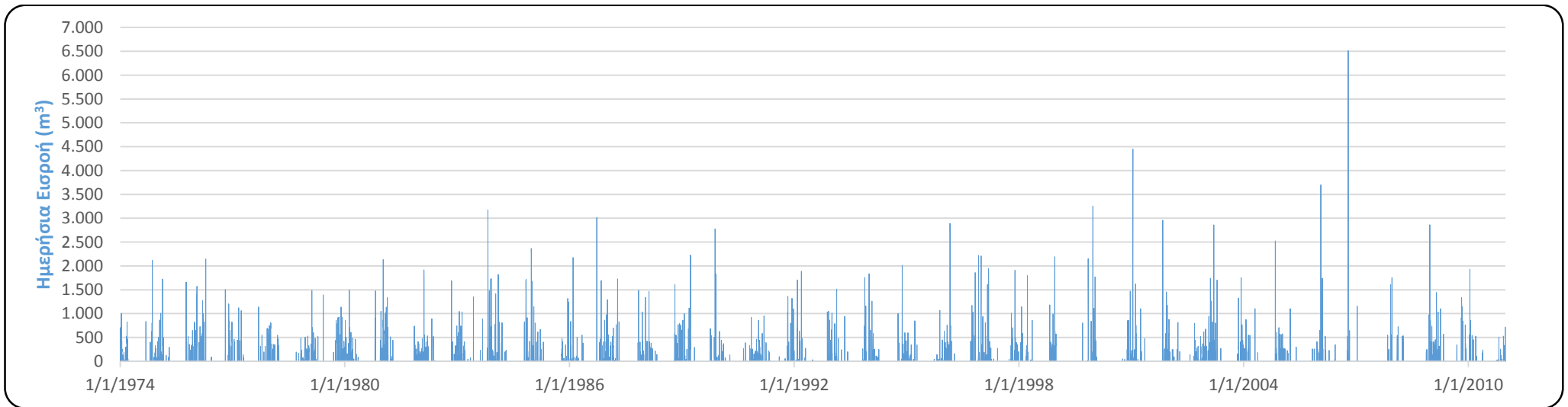
- α. Την εισροή στην δεξαμενή
- β. Την ημερήσια απόληψη
- γ. Το ημερήσιο απόθεμα της δεξαμενής
- δ. Την ημερήσια υπερχείλιση της δεξαμενής
- ε. Την ημερήσια ποσότητα έλλειψης της δεξαμενής

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζονται σε διάγραμμα οι ημερήσιες τιμές της βροχόπτωσης για τα 36 χρόνια μελέτης (13.514 ημέρες), ενώ στο Σχήμα 4.2 οι ημερήσιες τιμές της εισροής του νερού στην δεξαμενή. Στην συνέχεια, γίνεται μία εκτενής ανάλυση των δεδομένων που προκύπτουν και από τις τρεις τιμές της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης στο μοντέλο λειτουργίας.

Κεφάλαιο 4 : Διερεύνηση Της Λειτουργίας Του Υδροσυστήματος



Σχήμα 4.1 : Ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης για το διάστημα 1/1/1974 έως 31/12/2010



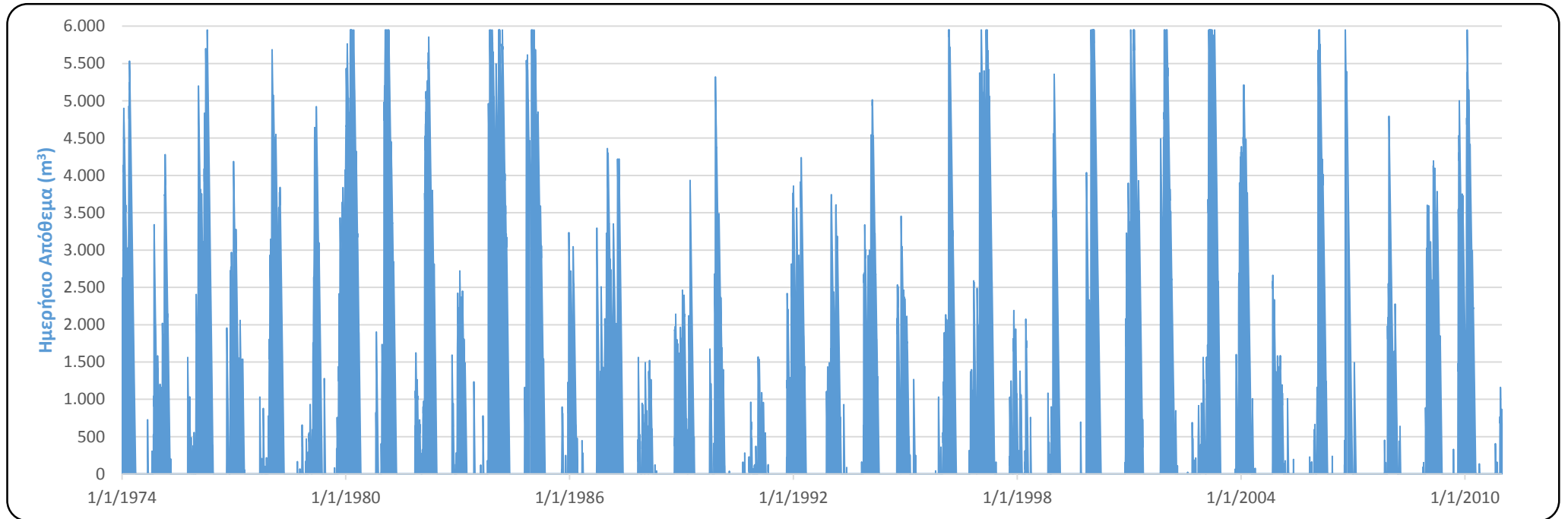
Σχήμα 4.2 : Ημερήσιες τιμές εισροής για το διάστημα 1/1/1974 έως 31/12/2010

• **Μέση Ημερήσια Κατανάλωση  $Q_{H1}=100 \text{ m}^3$**

Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.1, για την συγκεκριμένη τιμή κατανάλωσης, η συνολική απόληψη είναι  $\sum Q_{\alpha}=1.350.909,04 \text{ m}^3$ , η συνολική έλλειψη  $\sum V_{\epsilon}=759.849,7 \text{ m}^3$ , ενώ η συνολική υπερχείλιση  $\sum V_{\text{υπ}}=52.882 \text{ m}^3$ . Παρατηρούμε ότι το σύστημα των δεξαμενών αστοχεί να καλύψει την ζήτηση του νερού σε ποσοστό 53,67% (7.253 ημέρες), ενώ η υπερχείλιση γίνεται σε ποσοστό 0,76% (103 ημέρες). Η αστοχία συμβαίνει κατά την διάρκεια του καλοκαιριού (Σχήμα 4.5), όπου η βροχόπτωση κυμαίνεται σε μηδενικές τιμές, με αποτέλεσμα η εισροή του νερού στις δεξαμενές να είναι επίσης μηδενική. Αυτό φαίνεται και στο Σχήμα 4.3, όπου το απόθεμα των δεξαμενών πέφτει στο μηδέν κατά την διάρκεια των ημερών του καλοκαιριού, ενώ κατά την διάρκεια των υγρών ημερών το απόθεμα αυξάνεται κατακόρυφα, φθάνοντας πολλές φορές στην αρχική τιμή ( $V_{\delta}=5.950 \text{ m}^3$ ), ενώ την ξεπερνάει για 103 ημέρες (Σχήμα 4.4) και οι δεξαμενές του συστήματος υπερχειλίζουν.

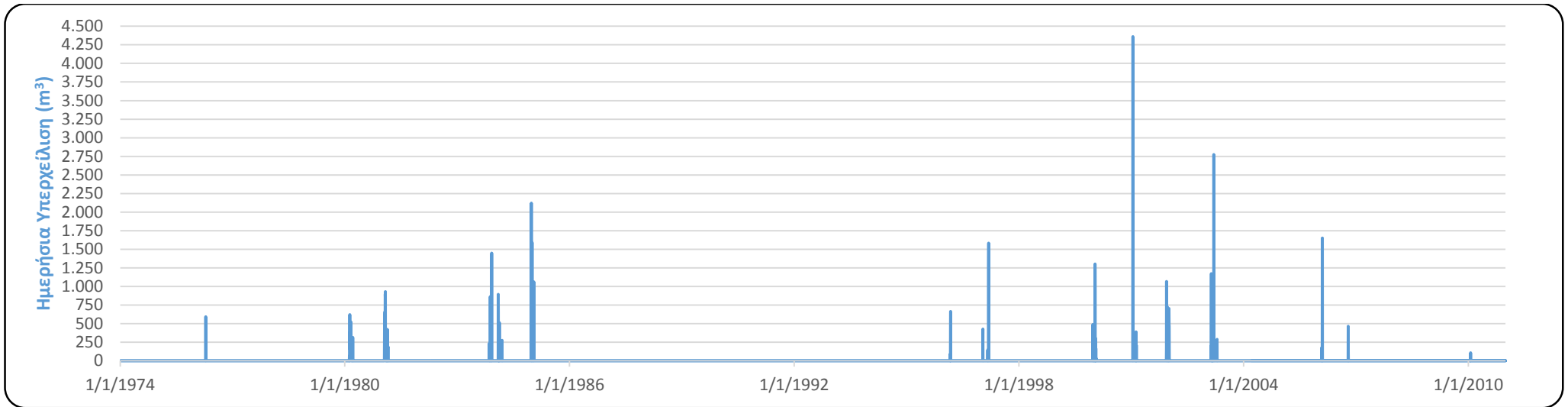
Πίνακας 4.1 : Αποτελέσματα μοντέλου για  $Q_{H1}=100 \text{ m}^3$

Συνολική εισροή ( $\text{m}^3$ )	642.611,62
Συνολική απόληψη ( $\text{m}^3$ )	1.350.909,04
Συνολική υπερχείλιση ( $\text{m}^3$ )	52.882
Συνολική έλλειψη ( $\text{m}^3$ )	759.849,7
Τελικό απόθεμα δεξαμενών ( $\text{m}^3$ )	670,2
Ημέρες υπερχείλισης	103
Ημέρες έλλειψης	7.253
Ποσοστό ημερών υπερχείλισης (%)	0,76
Ποσοστό ημερών έλλειψης (%)	53,67

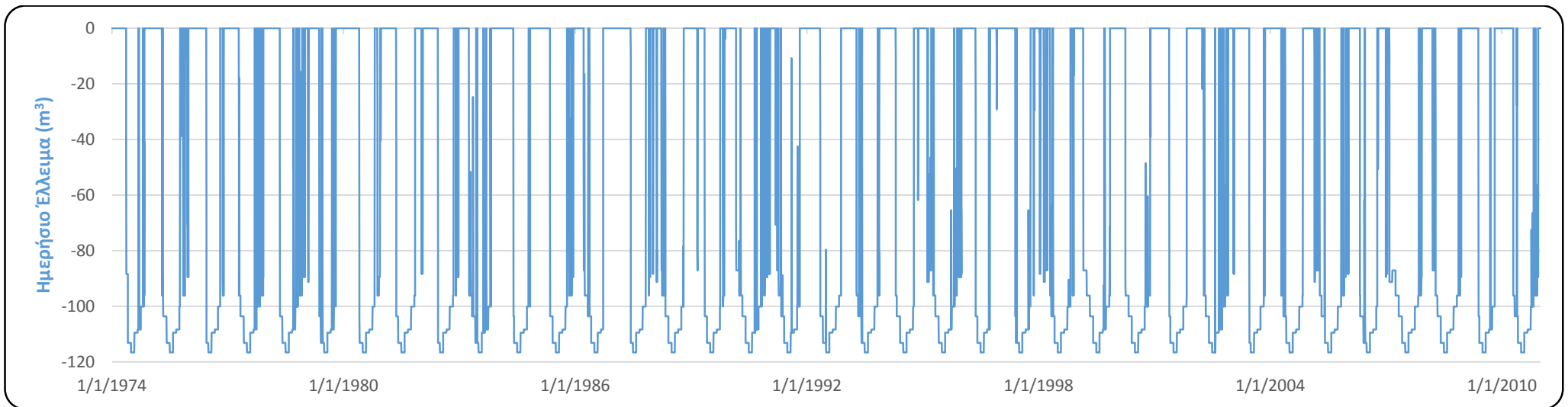


Σχήμα 4.3 : Ημερήσιες τιμές αποθέματος δεξαμενής για  $Q_{H1}=100 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)

Κεφάλαιο 4 : Διερεύνηση Της Λειτουργίας Του Υδροσυστήματος



Σχήμα 4.4 : Ημερήσιες τιμές όγκου υπερχείλισης δεξαμενής για  $Q_{H1}=100 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)



Σχήμα 4.5 : Ημερήσιες τιμές όγκου έλλειψης δεξαμενής για  $Q_{H1}=100 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)

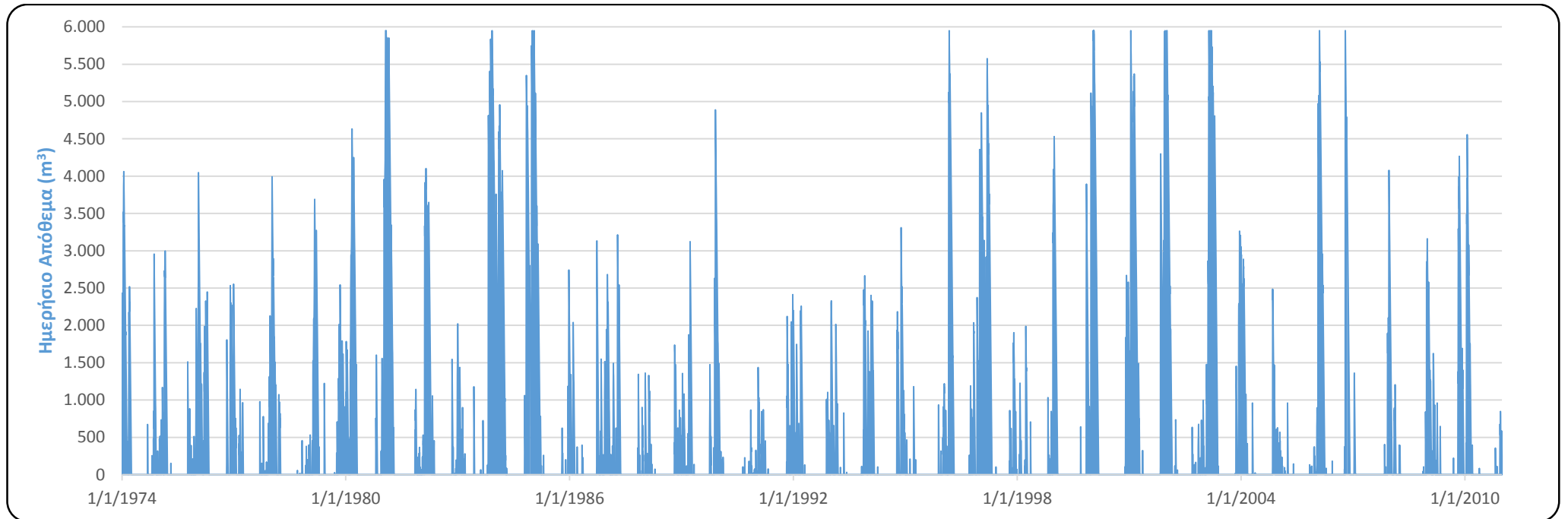


- **Μέση Ημερήσια Κατανάλωση  $Q_{H2}=150 \text{ m}^3$**

Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.2, για την συγκεκριμένη τιμή κατανάλωσης, η συνολική απόληψη είναι  $\sum Q_{\alpha}=2.026.363,55 \text{ m}^3$ , η συνολική έλλειψη φθάνει στα  $\sum V_{\epsilon}=1.400.634,2 \text{ m}^3$ , ενώ η συνολική υπερχειλίση στα  $\sum V_{\text{υπ}}=18.627,8 \text{ m}^3$ . Παρατηρούμε ότι το σύστημα των δεξαμενών αστοχεί να καλύψει την ζήτηση του νερού σε ποσοστό 68,1% (9.203 ημέρες), ενώ η υπερχειλίση γίνεται σε ποσοστό 0,21% (29 ημέρες). Η αστοχία συμβαίνει κυρίως κατά την διάρκεια του καλοκαιριού (Σχήμα 4.8), όπου η βροχόπτωση κυμαίνεται σε μηδενικές τιμές, με αποτέλεσμα η εισροή του νερού στις δεξαμενές να είναι επίσης μηδενική. Αυτό φαίνεται και στο Σχήμα 4.6, όπου το απόθεμα των δεξαμενών πέφτει στο μηδέν κατά την διάρκεια των ημερών του καλοκαιριού, ενώ κατά την διάρκεια των υγρών ημερών το απόθεμα αυξάνεται κατακόρυφα, φθάνοντας πολλές φορές στην αρχική τιμή ( $V_{\delta}=5.950 \text{ m}^3$ ), ενώ την ξεπερνάει για 29 ημέρες (Σχήμα 4.7) και οι δεξαμενές του συστήματος υπερχειλίζουν.

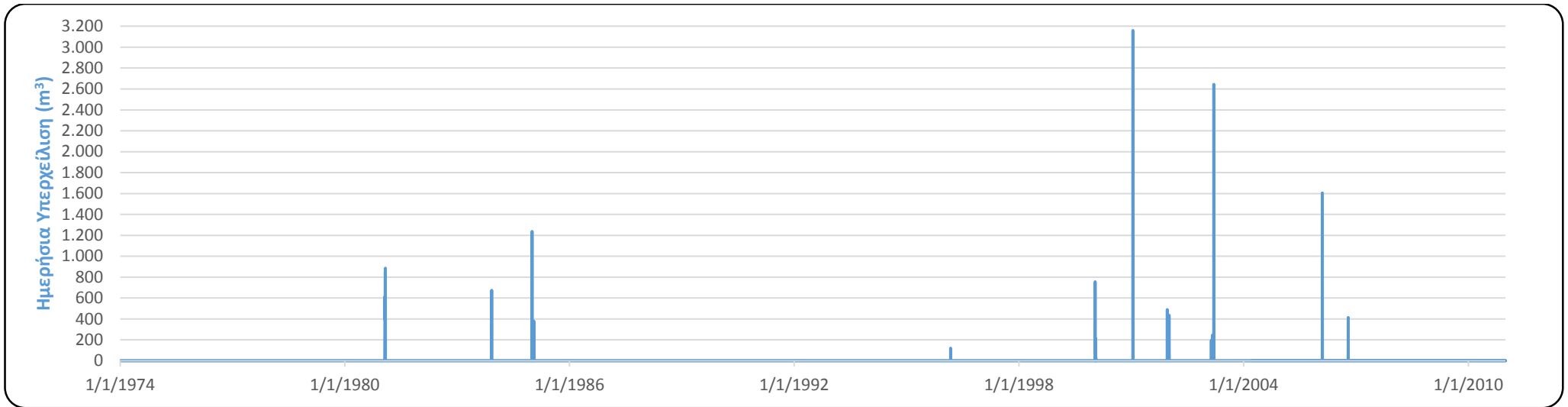
Πίνακας 4.2 : Αποτελέσματα μοντέλου για  $Q_{H2}=150 \text{ m}^3$

Συνολική εισροή ( $\text{m}^3$ )	642.611,62
Συνολική απόληψη ( $\text{m}^3$ )	2.026.363,55
Συνολική υπερχειλίση ( $\text{m}^3$ )	18.627,8
Συνολική έλλειψη ( $\text{m}^3$ )	1.400.634,2
Τελικό απόθεμα δεξαμενών ( $\text{m}^3$ )	254,5
Ημέρες υπερχειλίσης	29
Ημέρες έλλειψης	9.203
Ποσοστό ημερών υπερχειλίσης (%)	0,21
Ποσοστό ημερών έλλειψης (%)	68,1

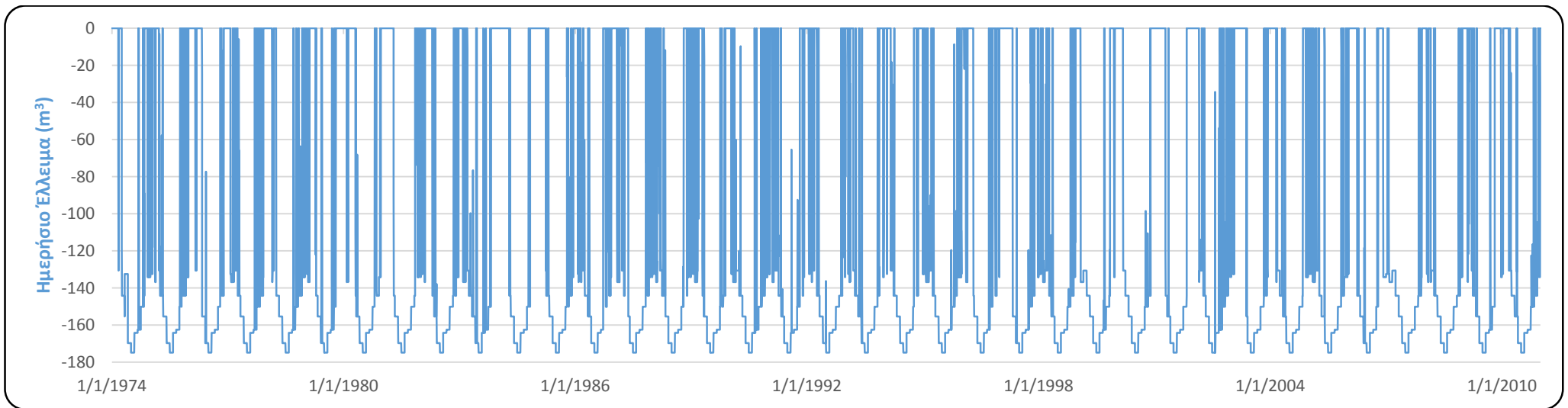


Σχήμα 4.6 : Ημερήσιες τιμές αποθέματος δεξαμενής για  $Q_{H2}=150 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)

Κεφάλαιο 4 : Διερεύνηση Της Λειτουργίας Του Υδροσυστήματος



Σχήμα 4.7 : Ημερήσιες τιμές όγκου υπερχείλισης δεξαμενής για  $Q_{H2}=150 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)



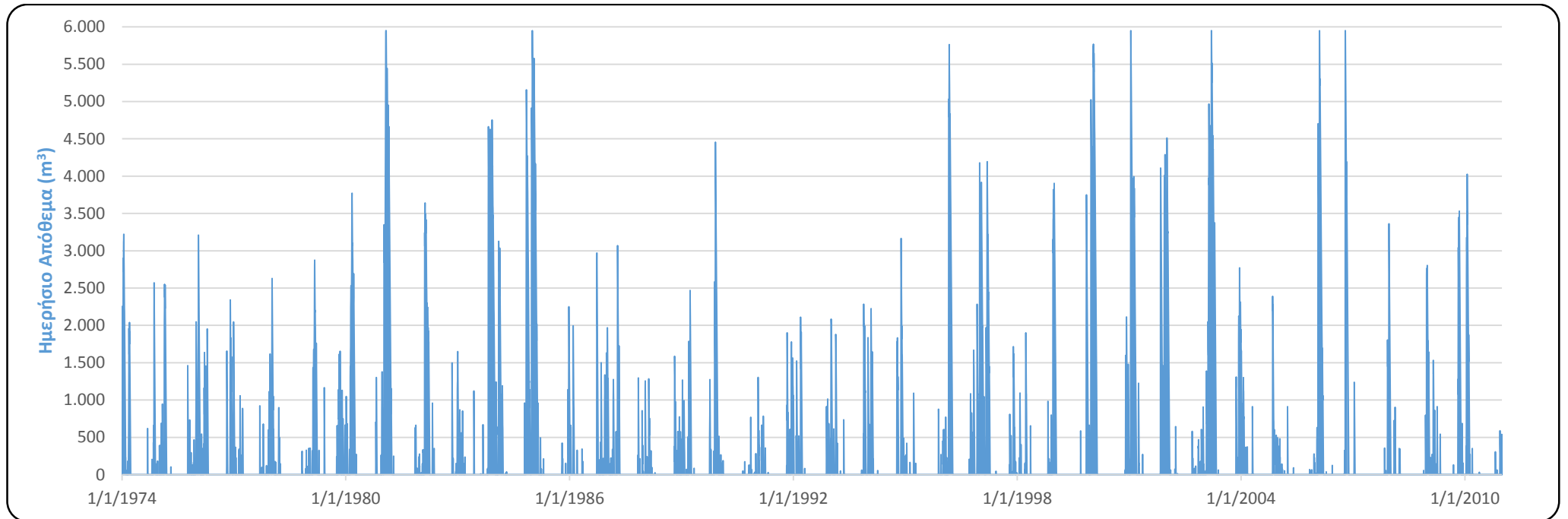
Σχήμα 4.8 : Ημερήσιες τιμές όγκου έλλειψης δεξαμενής για  $Q_{H2}=150 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)

• **Μέση Ημερήσια Κατανάλωση  $Q_{H3}=200 \text{ m}^3$**

Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.3, για την συγκεκριμένη τιμή κατανάλωσης, η συνολική απόληψη είναι  $\sum Q_{\alpha}=2.701.818,07 \text{ m}^3$ , η συνολική έλλειψη φθάνει στα  $\sum V_{\epsilon}=2.065.837,3 \text{ m}^3$ , ενώ η συνολική υπερχείλιση στα  $\sum V_{\text{υπ}}=8.555,3 \text{ m}^3$ . Παρατηρούμε ότι το σύστημα των δεξαμενών αστοχεί να καλύψει την ζήτηση του νερού σε ποσοστό 76,59% (10.351 ημέρες), ενώ η υπερχείλιση γίνεται σε ποσοστό 0,08% (11 ημέρες). Η αστοχία συμβαίνει σχεδόν όλες τις ημέρες (Σχήμα 4.11), κυρίως τα διαστήματα όπου η βροχόπτωση κυμαίνεται σε μηδενικές τιμές, με αποτέλεσμα η εισροή του νερού στις δεξαμενές να είναι επίσης μηδενική. Αυτό φαίνεται και στο Σχήμα 4.9, όπου το απόθεμα των δεξαμενών πέφτει στο μηδέν κατά την διάρκεια των άνομβρων ημερών, ενώ κατά την των υγρών το απόθεμα αυξάνεται κατακόρυφα, φθάνοντας πολλές φορές στην αρχική τιμή ( $V_{\delta}=5.950 \text{ m}^3$ ), ενώ την ξεπερνάει για 11 ημέρες (Σχήμα 4.10) και οι δεξαμενές του συστήματος υπερχειλίζουν.

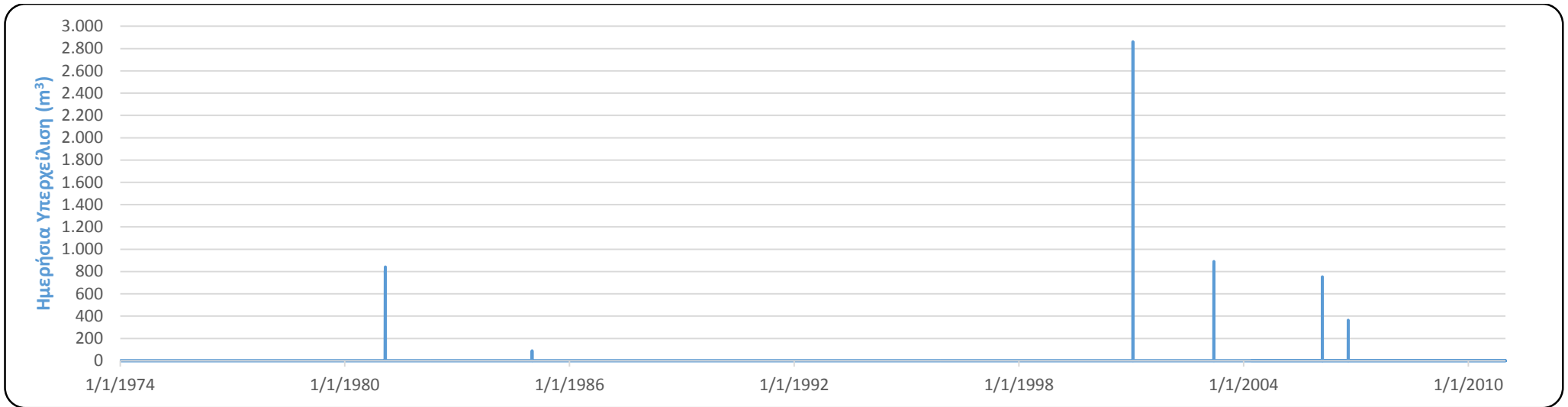
Πίνακας 4.3 : Αποτελέσματα μοντέλου για  $Q_{H3}=200 \text{ m}^3$

Συνολική εισροή ( $\text{m}^3$ )	642.611,62
Συνολική απόληψη ( $\text{m}^3$ )	2.701.818,07
Συνολική υπερχείλιση ( $\text{m}^3$ )	8.555,3
Συνολική έλλειψη ( $\text{m}^3$ )	2.065.837,3
Τελικό απόθεμα δεξαμενών ( $\text{m}^3$ )	75,5
Ημέρες υπερχείλισης	11
Ημέρες έλλειψης	10.351
Ποσοστό ημερών υπερχείλισης (%)	0,08
Ποσοστό ημερών έλλειψης (%)	76,59

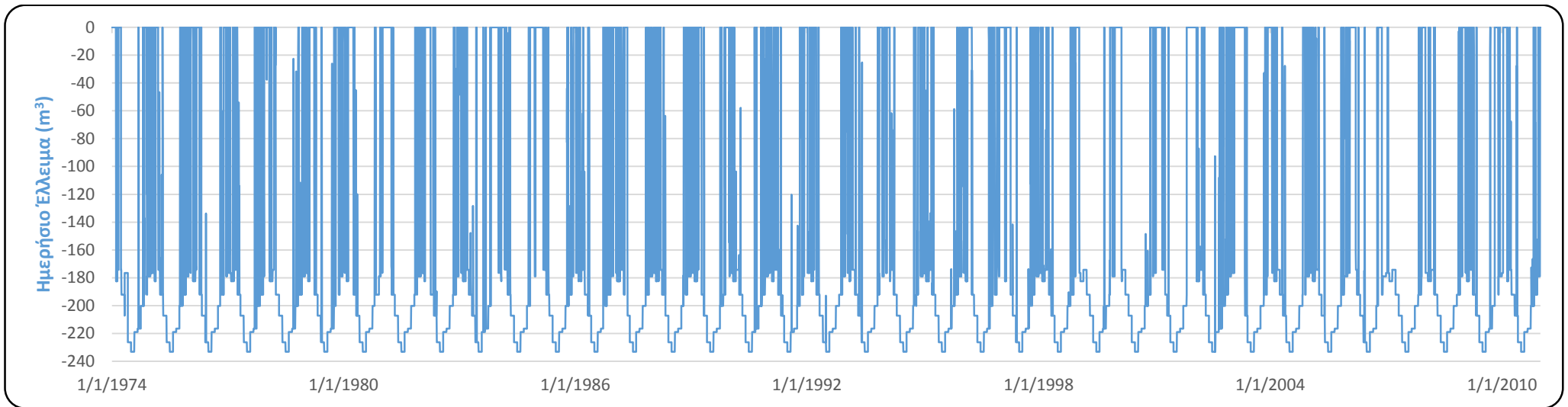


Σχήμα 4.9 : Ημερήσιες τιμές αποθέματος δεξαμενής για  $Q_{H3}=200 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)

Κεφάλαιο 4 : Διερεύνηση Της Λειτουργίας Του Υδροσυστήματος



Σχήμα 4.10 : Ημερήσιες τιμές όγκου υπερχείλισης δεξαμενής για  $Q_{H3}=200 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)



Σχήμα 4.11 : Ημερήσιες τιμές όγκου έλλειψης δεξαμενής για  $Q_{H3}=200 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι με τις παραπάνω τιμές κατανάλωσης, οι δεξαμενές αστοχούν περισσότερες από τις μισές ημέρες του δείγματος, με σκοπό να μην καλύπτονται οι ανάγκες των κατοίκων, τόσο σε ατομικό, όσο και σε συλλογικό επίπεδο (λουτρά). Κάτι τέτοιο, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ημερήσια κατανάλωση ήταν μικρότερη.

Κατά τους Αγγελάκης *et al.* (2012), οι ιδιωτικές κατοικίες είχαν αυτόνομους τρόπους συλλογής και αποθήκευσης νερού, έτσι η κύρια δημόσια χρήση του νερού των δεξαμενών ήταν η τροφοδότηση των λουτρών. Σύμφωνα με τους Νινιού-Κινδελή & Χριστοδουλάκο (2004), για λόγους υγιεινής, τα νερά στις θέρμες και τα λουτρά ανακυκλώνονταν τουλάχιστον μια φορά την ημέρα. Υπολογίστηκε δε, ότι για να γεμίσουν, ήθελαν μια ποσότητα νερού γύρω στα  $4 \text{ m}^3$  ( $4+4=8 \text{ m}^3$ ) ημερησίως, δηλαδή  $16 \text{ m}^3$  και για τα δύο λουτρικά συστήματα. Τέλος, είναι σχεδόν βέβαιο πως το νερό από την αποστράγγιση των λουτρών, χρησιμοποιούνταν για την άρδευση των γεωργικών εκτάσεων.

Οπότε, στην συνέχεια θα τρέξουμε το μοντέλο με τέσσερις επιπλέον ημερήσιες καταναλώσεις ( $Q_{H4}=20 \text{ m}^3$ ,  $Q_{H5}=25 \text{ m}^3$ ,  $Q_{H6}=30 \text{ m}^3$ ,  $Q_{H7}=50 \text{ m}^3$ ), αισθητά μικρότερες απ' ότι πριν, για να δούμε εάν το σύστημα αστοχεί. Αξίζει να αναφερθεί, πως οι παραπάνω ημερήσιες καταναλώσεις δεν θα πολλαπλασιαστούν με τους μηνιαίους συντελεστές κατανάλωσης, όπως με τις προηγούμενες, αλλά θα εισαχθούν ως σταθερές ημερήσιες τιμές απόληψης στο μοντέλο.

- **Μέση Ημερήσια Κατανάλωση  $Q_{H4}=20 \text{ m}^3$**

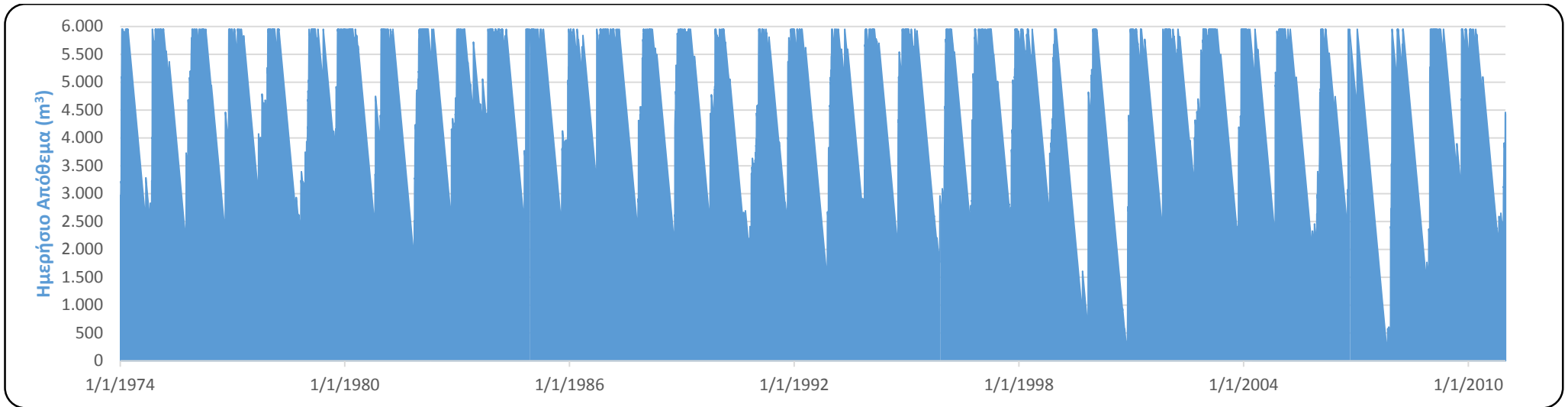
Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.5, για την συγκεκριμένη τιμή κατανάλωσης, η συνολική απόληψη είναι  $\sum Q_{\alpha}=270.280 \text{ m}^3$ , η συνολική έλλειψη  $\sum V_{\epsilon}=0 \text{ m}^3$ , ενώ η συνολική υπερχείλιση  $\sum V_{\text{υπ}}=369.912,50 \text{ m}^3$ . Παρατηρούμε ότι το σύστημα των δεξαμενών δεν αστοχεί καμία μέρα στο να καλύψει την ζήτηση του νερού (0,00%), ενώ η υπερχείλιση γίνεται σε ποσοστό 6,22% (841 ημέρες). Έτσι, το απόθεμα της δεξαμενής, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.12, βρίσκεται συνολικά πάνω από το μηδέν, ενώ τις ημέρες με μεγάλη βροχόπτωση όπου η εισροή νερού αυξάνεται, φθάνει στην αρχική τιμή ( $V_{\delta}=5.950 \text{ m}^3$ ), ενώ την ξεπερνάει για 841 ημέρες (Σχήμα 4.13) και οι δεξαμενές του συστήματος υπερχειλίζουν.

Πίνακας 4.4 : Αποτελέσματα μοντέλου για  $Q_{H4}=20 \text{ m}^3$

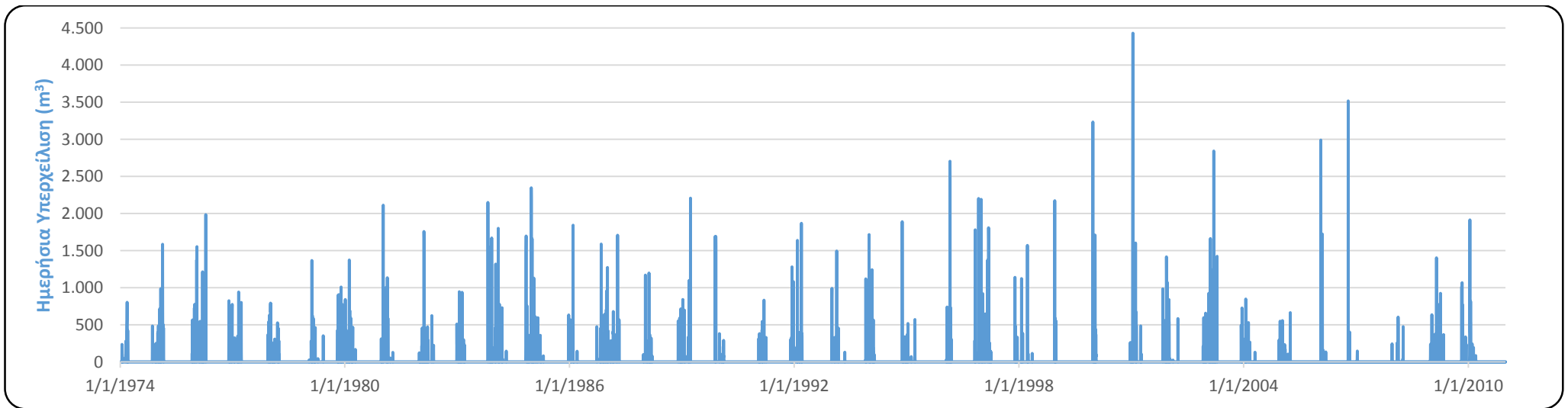
Συνολική εισροή ( $\text{m}^3$ )	642.611,62
Συνολική απόληψη ( $\text{m}^3$ )	270.280
Συνολική υπερχείλιση ( $\text{m}^3$ )	369.912,50
Συνολική έλλειψη ( $\text{m}^3$ )	0,0
Τελικό απόθεμα δεξαμενών ( $\text{m}^3$ )	4.419,10
Ημέρες υπερχείλισης	841
Ημέρες έλλειψης	0
Ποσοστό ημερών υπερχείλισης (%)	6,22
Ποσοστό ημερών έλλειψης (%)	0,00



Κεφάλαιο 4 : Διερεύνηση Της Λειτουργίας Του Υδροσυστήματος



Σχήμα 4.12 : Ημερήσιες τιμές αποθέματος δεξαμενής για  $Q_{H4}=20 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)



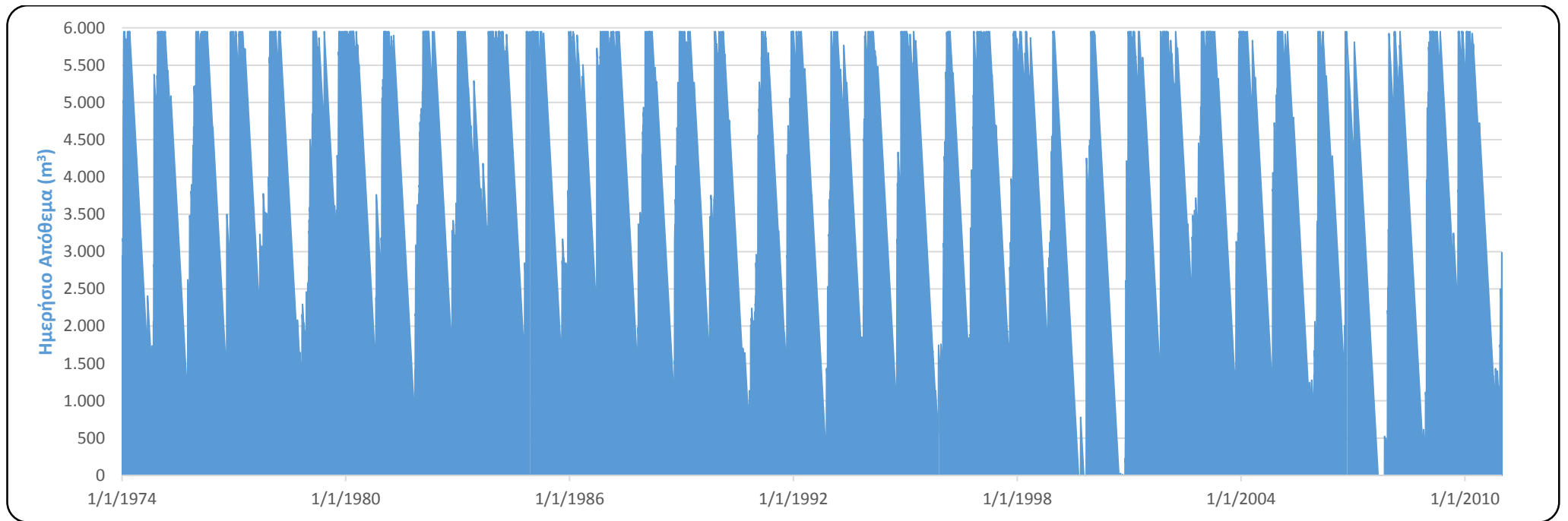
Σχήμα 4.13 : Ημερήσιες τιμές όγκου υπερχείλισης δεξαμενής για  $Q_{H4}=20 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)

- **Μέση Ημερήσια Κατανάλωση  $Q_{H5}=25 \text{ m}^3$**

Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.6, για την συγκεκριμένη τιμή κατανάλωσης, η συνολική απόληψη είναι  $\sum Q_{\alpha} = 337.850 \text{ m}^3$ , η συνολική έλλειψη  $\sum V_{\epsilon} = 3.965,10 \text{ m}^3$ , ενώ η συνολική υπερχειλίση  $\sum V_{\text{υπ}} = 307.786,90 \text{ m}^3$ . Παρατηρούμε ότι το σύστημα των δεξαμενών αστοχεί να καλύψει την ζήτηση του νερού σε ποσοστό μόλις 1,20% (162 ημέρες), ενώ η υπερχειλίση γίνεται σε ποσοστό 5,01% (677 ημέρες). Η αστοχία συμβαίνει κυρίως τους μήνες από Αύγουστο έως Νοέμβριο τα έτη 1999, 2000 και 2007 (Σχήμα 4.16), όπου η ετήσια βροχόπτωση ήταν μικρή, με αποτέλεσμα η εισροή του νερού στις δεξαμενές να είναι επίσης μικρή. Αυτό φαίνεται και στο Σχήμα 4.14, όπου το απόθεμα των δεξαμενών κατά τους παραπάνω μήνες πέφτει στο μηδέν κατακόρυφα, ενώ κατά την διάρκεια των υπολοίπων ημερών το απόθεμα αυξάνεται, φθάνοντας πολλές φορές στην αρχική τιμή ( $V_{\delta}=5.950 \text{ m}^3$ ), ενώ την ξεπερνάει για 677 ημέρες (Σχήμα 4.15) και οι δεξαμενές του συστήματος υπερχειλίζουν.

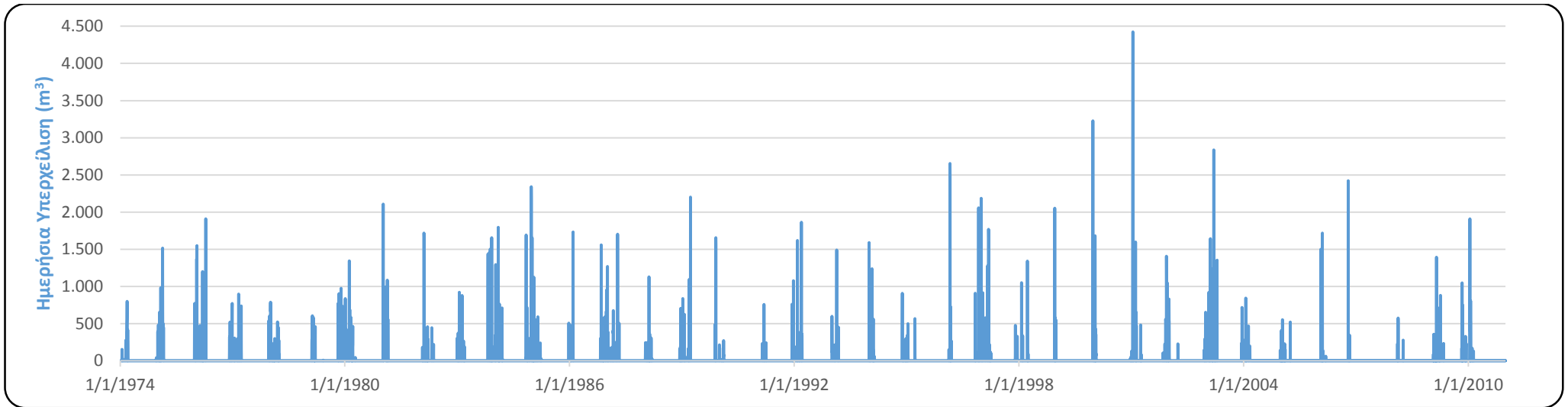
Πίνακας 4.5 : Αποτελέσματα μοντέλου για  $Q_{H5}=25 \text{ m}^3$

Συνολική εισροή ( $\text{m}^3$ )	642.611,62
Συνολική απόληψη ( $\text{m}^3$ )	337.850
Συνολική υπερχειλίση ( $\text{m}^3$ )	307.786,80
Συνολική έλλειψη ( $\text{m}^3$ )	3.965,10
Τελικό απόθεμα δεξαμενών ( $\text{m}^3$ )	2.939,90
Ημέρες υπερχειλίσης	677
Ημέρες έλλειψης	162
Ποσοστό ημερών υπερχειλίσης (%)	5,01
Ποσοστό ημερών έλλειψης (%)	1,20



Σχήμα 4.14 : Ημερήσιες τιμές αποθέματος δεξαμενής για  $Q_{H5}=25 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)

Κεφάλαιο 4 : Διερεύνηση Της Λειτουργίας Του Υδροσυστήματος



Σχήμα 4.15 : Ημερήσιες τιμές όγκου υπερχείλισης δεξαμενής για  $Q_{H5}=25 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)



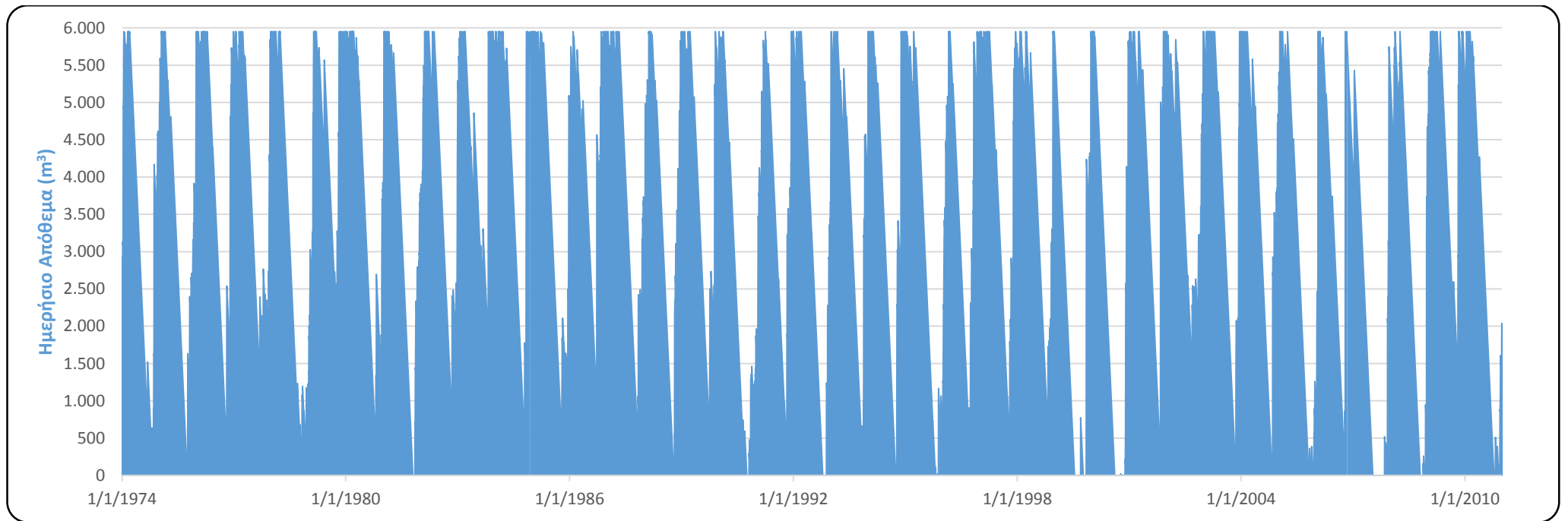
Σχήμα 4.16 : Ημερήσιες τιμές όγκου έλλειψης δεξαμενής για  $Q_{H5}=25 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)

• **Μέση Ημερήσια Κατανάλωση  $Q_{H6}=30 \text{ m}^3$**

Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.7, για την συγκεκριμένη τιμή κατανάλωσης, η συνολική απόληψη είναι  $\sum Q_{\alpha} = 405.420 \text{ m}^3$ , η συνολική έλλειψη  $\sum V_{\epsilon} = 14.694,01 \text{ m}^3$ , ενώ η συνολική υπερχειλίση  $\sum V_{\text{υπ}} = 251.906,77 \text{ m}^3$ . Παρατηρούμε ότι το σύστημα των δεξαμενών αστοχεί να καλύψει την ζήτηση του νερού σε ποσοστό 3,74% (505 ημέρες), ενώ η υπερχειλίση γίνεται σε ποσοστό 4,06% (548 ημέρες). Η αστοχία συμβαίνει κυρίως κατά τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο (Σχήμα 4.19), ενώ τα έτη 1999, 2000 και 2007, όπου η ετήσια βροχόπτωση ήταν μικρή, συμβαίνει κατά το διάστημα από Ιούλιο έως Νοέμβριο. Αυτό φαίνεται και στο Σχήμα 4.17, όπου το απόθεμα των δεξαμενών κατά τα παραπάνω διαστήματα πέφτει στο μηδέν, ενώ κατά την διάρκεια των υπολοίπων ημερών το απόθεμα αυξάνεται, φθάνοντας πολλές φορές στην αρχική τιμή ( $V_{\delta}=5.950 \text{ m}^3$ ), ενώ την ξεπερνάει για 548 ημέρες (Σχήμα 4.18) και οι δεξαμενές του συστήματος υπερχειλίζουν.

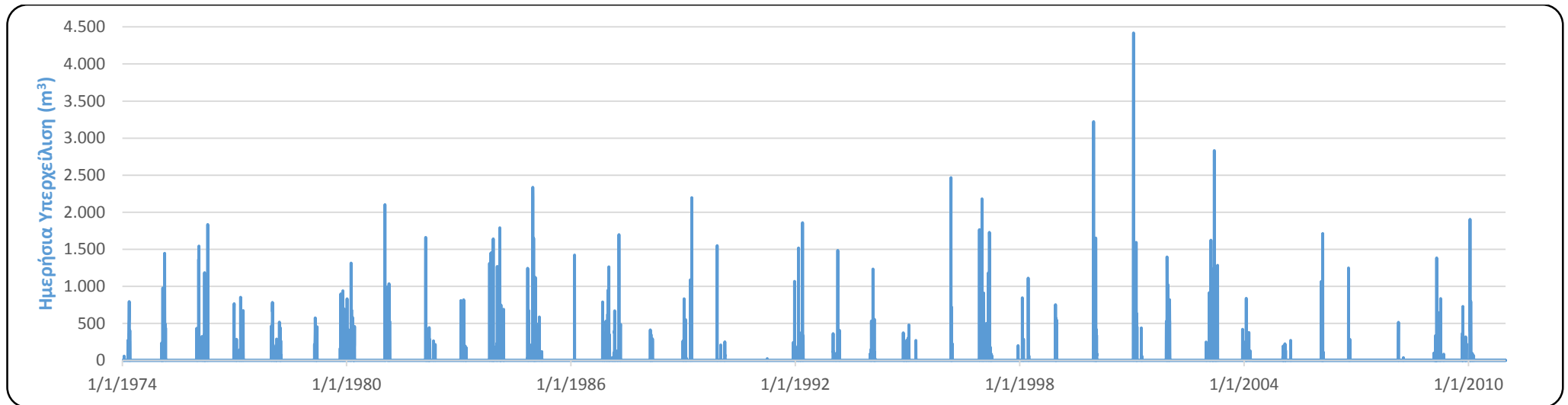
Πίνακας 4.6 : Αποτελέσματα μοντέλου για  $Q_{H6}=30 \text{ m}^3$

Συνολική εισροή ( $\text{m}^3$ )	642.611,62
Συνολική απόληψη ( $\text{m}^3$ )	405.420
Συνολική υπερχειλίση ( $\text{m}^3$ )	251.906,77
Συνολική έλλειψη ( $\text{m}^3$ )	14.694,01
Τελικό απόθεμα δεξαμενών ( $\text{m}^3$ )	1.978,9
Ημέρες υπερχειλίσης	548
Ημέρες έλλειψης	505
Ποσοστό ημερών υπερχειλίσης (%)	4,06
Ποσοστό ημερών έλλειψης (%)	3,74

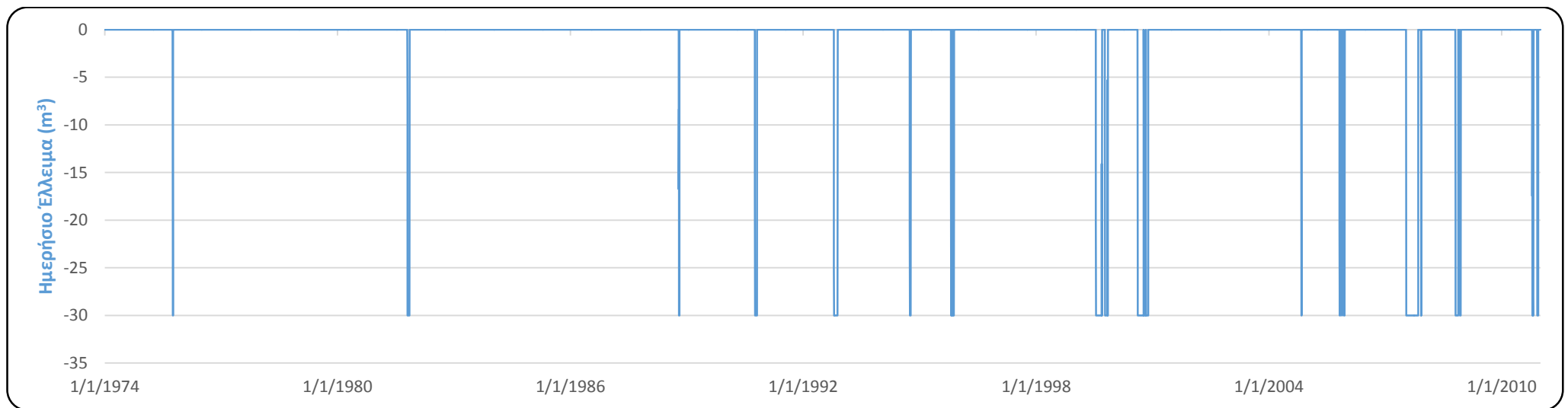


Σχήμα 4.17 : Ημερήσιες τιμές αποθέματος δεξαμενής για  $Q_{H6}=30 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)

## Κεφάλαιο 4 : Διερεύνηση Της Λειτουργίας Του Υδροσυστήματος



Σχήμα 4.18 : Ημερήσιες τιμές όγκου υπερχείλισης δεξαμενής για  $Q_{H6}=30 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)



Σχήμα 4.19 : Ημερήσιες τιμές όγκου έλλειψης δεξαμενής για  $Q_{H6}=30 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)

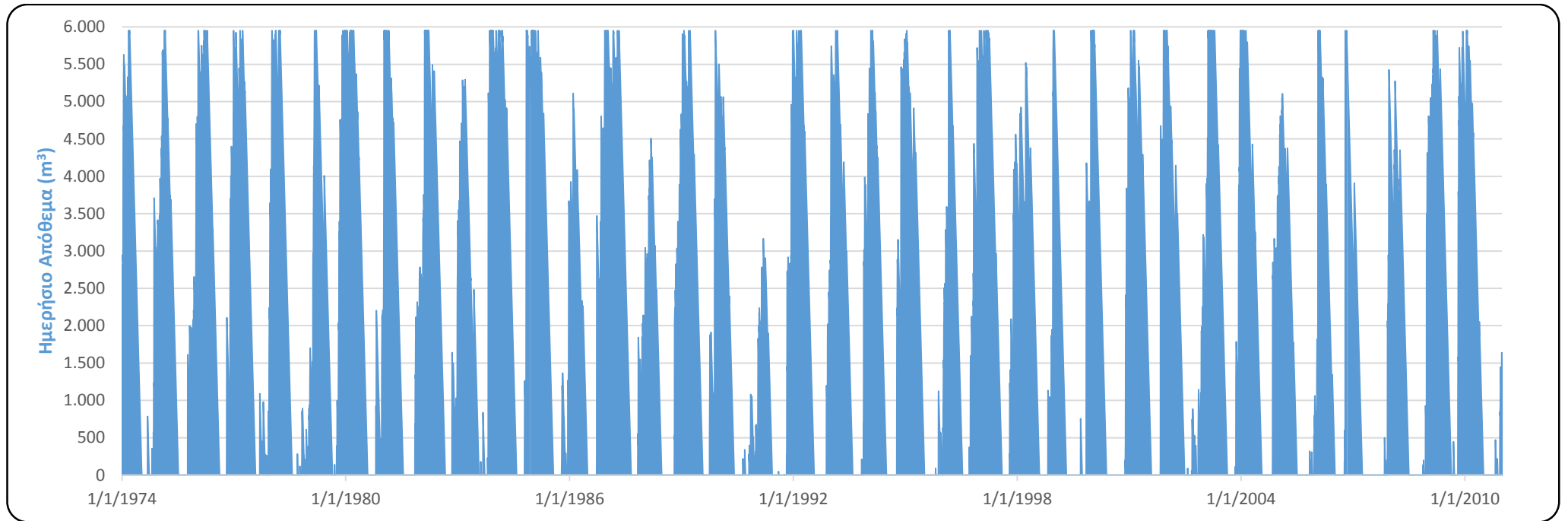


• **Μέση Ημερήσια Κατανάλωση  $Q_{H7}=50 \text{ m}^3$**

Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.7, για την συγκεκριμένη τιμή κατανάλωσης, η συνολική απόληψη είναι  $\sum Q_{\alpha}=675.700 \text{ m}^3$ , η συνολική έλλειψη  $\sum V_{\epsilon}=185.840,30 \text{ m}^3$ , ενώ η συνολική υπερχειλίση  $\sum V_{\text{υπ}}=153.213,10 \text{ m}^3$ . Παρατηρούμε ότι το σύστημα των δεξαμενών αστοχεί να καλύψει την ζήτηση του νερού σε ποσοστό 27,89% (3769 ημέρες), ενώ η υπερχειλίση γίνεται σε ποσοστό 2,32% (314 ημέρες). Η αστοχία συμβαίνει κυρίως κατά τους μήνες Ιούλιο μέχρι Οκτώβριο (Σχήμα 4.22), ενώ τα έτη 1999, 2000 και 2007, όπου η ετήσια βροχόπτωση ήταν μικρή, συμβαίνει κατά το διάστημα από Μάιο έως Νοέμβριο. Αυτό φαίνεται και στο Σχήμα 4.20, όπου το απόθεμα των δεξαμενών κατά τα παραπάνω διαστήματα πέφτει στο μηδέν, ενώ κατά την διάρκεια των υπολοίπων ημερών το απόθεμα αυξάνεται, φθάνοντας πολλές φορές στην αρχική τιμή ( $V_{\delta}=5.950 \text{ m}^3$ ), ενώ την ξεπερνάει για 314 ημέρες (Σχήμα 4.21) και οι δεξαμενές του συστήματος υπερχειλίζουν.

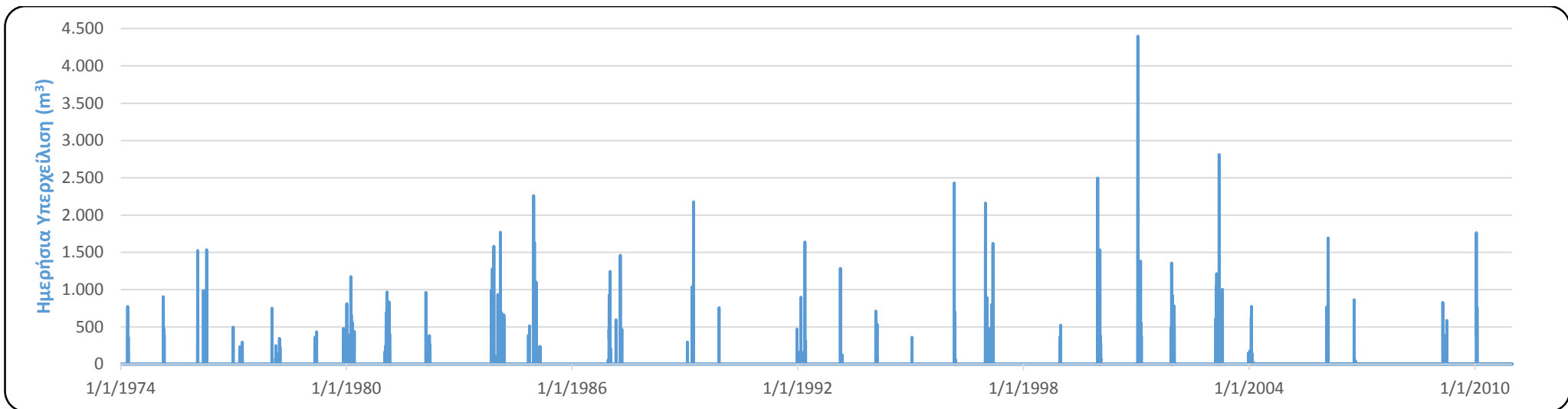
Πίνακας 4.7 : Αποτελέσματα μοντέλου για  $Q_{H7}=50 \text{ m}^3$

Συνολική εισροή ( $\text{m}^3$ )	642.611,62
Συνολική απόληψη ( $\text{m}^3$ )	675.700
Συνολική υπερχειλίση ( $\text{m}^3$ )	153.213,10
Συνολική έλλειψη ( $\text{m}^3$ )	185.840,30
Τελικό απόθεμα δεξαμενών ( $\text{m}^3$ )	1.538,9
Ημέρες υπερχειλίσης	314
Ημέρες έλλειψης	3769
Ποσοστό ημερών υπερχειλίσης (%)	2,32
Ποσοστό ημερών έλλειψης (%)	27,89

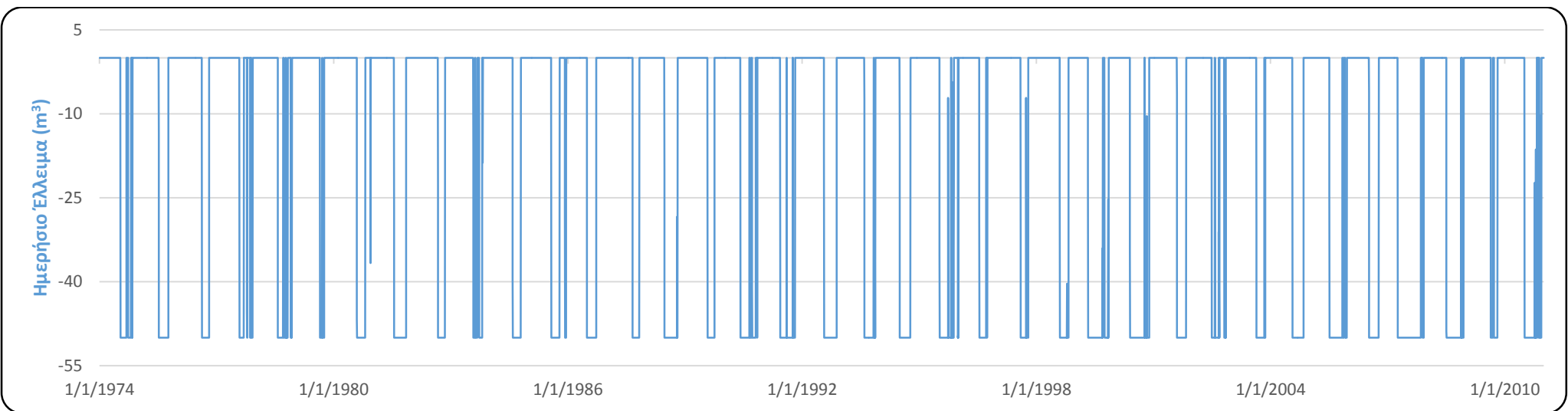


Σχήμα 4.20 : Ημερήσιες τιμές αποθέματος δεξαμενής για  $Q_{H7}=50 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)

Κεφάλαιο 4 : Διερεύνηση Της Λειτουργίας Του Υδροσυστήματος



Σχήμα 4.21 : Ημερήσιες τιμές όγκου υπερχείλισης δεξαμενής για  $Q_{H7}=50 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)



Σχήμα 4.22 : Ημερήσιες τιμές όγκου έλλειψης δεξαμενής για  $Q_{H7}=50 \text{ m}^3$  (1/1/1974 – 31/12-2010)



κεφάλαιο **5**

## ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 5.1 Σύνοψη

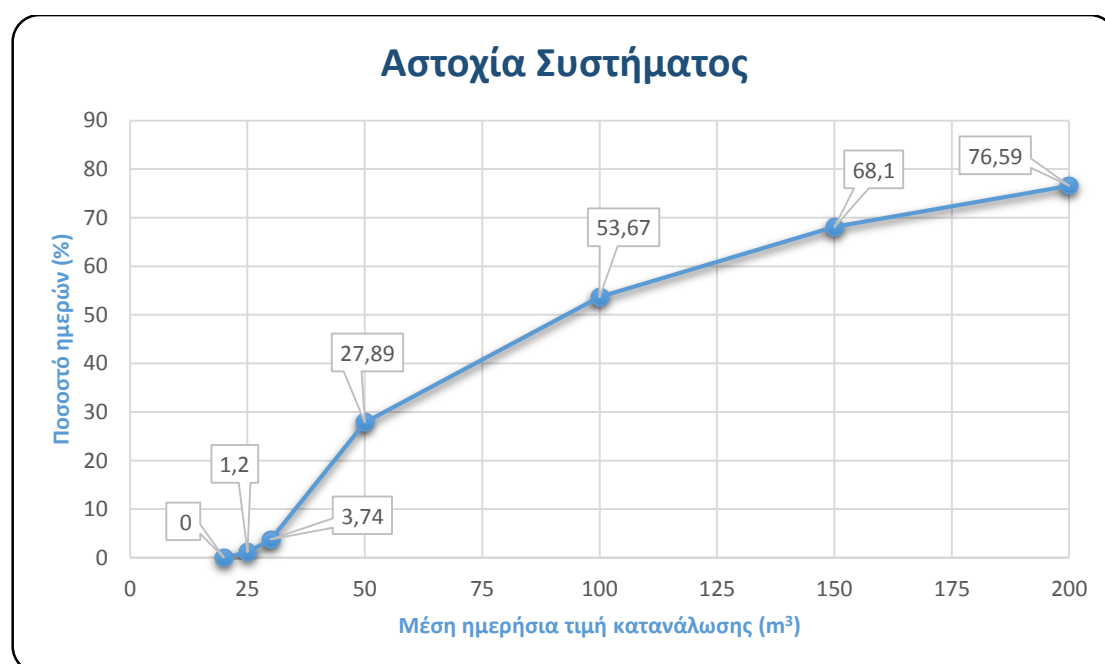
Με το πέρας των δοκιμών στη λειτουργία του μοντέλου, είμαστε σε θέση να συνοψίσουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Αναλυτικά:

- Το εξεταζόμενο σύστημα αποτελείται από δύο δεξαμενές, μία σχήματος Γ και όγκο  $V_{\Gamma}=3.050 \text{ m}^3$ , και μία δεύτερη χωρισμένη σε τρία κλίτη με όγκο  $V_{\Gamma}=2.900 \text{ m}^3$ . Οι δύο δεξαμενές επικοινωνούσαν μεταξύ τους με αγωγούς, οπότε στο μοντέλο που δημιουργήσαμε χρησιμοποιήσαμε τον συνολικό όγκο των δεξαμενών, ο οποίος είναι  $V_{\delta}=5.950 \text{ m}^3$ .
- Ο συνολικός όγκος εισροής νερού στο σύστημα των δεξαμενών είναι  $V_{\text{εισ}}=642.611 \text{ m}^3$  που αντιστοιχεί περίπου σε 24 lt/ημέρα/κάτοικο. Έτσι, ο μέσος ετήσιος όγκος εισροής νερού στις δεξαμενές από την λεκάνη απορροής τους είναι  $17.850 \text{ m}^3$  περίπου.
- Η μέση ετήσια δυνητική απόληψη των 2.000 κατοίκων της περιοχής, παρουσιάζεται στον πίνακα 5.1 για κάθε μέση ημερήσια τιμή κατανάλωσης. Οι τιμές προέκυψαν από τον συνολικό όγκο της απόληψης, διαιρούμενο με τα 36 χρόνια του δείγματος. Στον ίδιο πίνακα, παρουσιάζονται οι ημερήσιες απολήψεις των λουτρών και της πόλης, όπως επίσης και η μέση ημερήσια κατανάλωση των κατοίκων, όπως αυτή προκύπτει από τα αποτελέσματα του ισοζυγίου.

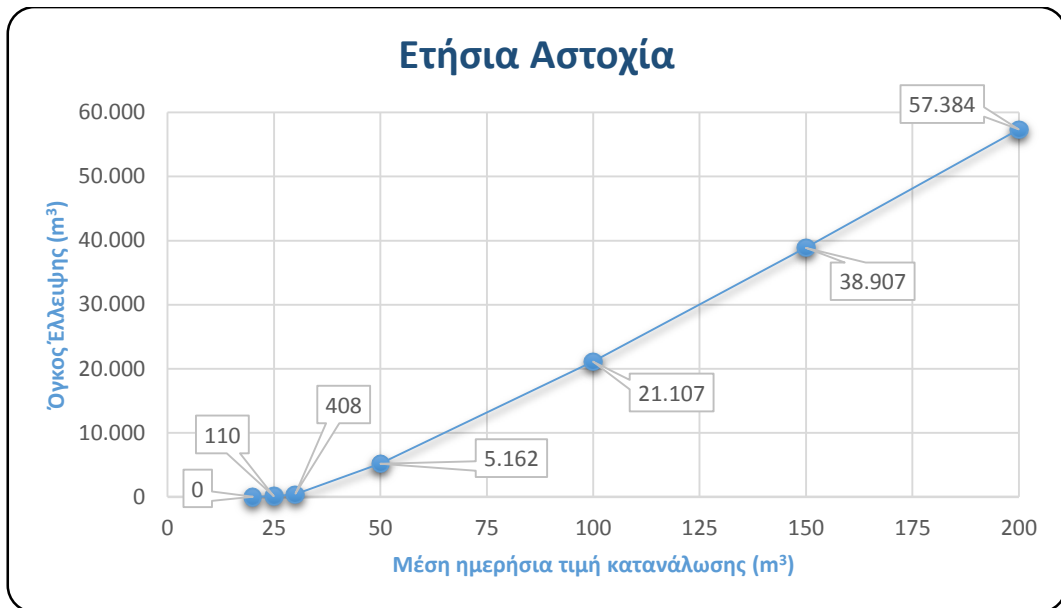
Πίνακας 5.1 : Συνοπτική παρουσίαση λειτουργίας του συστήματος των δεξαμενών

Μέση Ημερήσια Απόληψη (m <sup>3</sup> )	Μέση Ετήσια Δυνητική Απόληψη (m <sup>3</sup> )	Ημερήσια Απόληψη Λουτρών (m <sup>3</sup> )	Ημερήσια Απόληψη Πόλης (m <sup>3</sup> )	Μέση Ημερήσια Κατανάλωση (l/d/κάτοικο)
20	7.507	16	4	2
25	9.384	16	9	4,5
30	11.261	16	14	7
50	18.769	16	34	17
100	37.525	16	84	42
150	56.287	16	134	67
200	75.050	16	184	92

- Παρατηρούμε ότι τα πιθανά ποσοστά αστοχίας του συστήματος των δεξαμενών (Σχήμα 5.1) για τις τιμές της ημερήσιας κατανάλωσης από 20 έως 50 m<sup>3</sup>, κυμαίνονται σε ικανοποιητικά επίπεδα (έως 27,89% των συνολικών ημερών), ενώ για τις τιμές από 100 έως 200 m<sup>3</sup>, τα ποσοστά ανεβαίνουν κατακόρυφα και φτάνουν έως το 76,59% του συνόλου των ημερών, κάτι το οποίο φαίνεται πως είναι αδύνατο οι δεξαμενές να καλύψουν ικανοποιητικά τις ανάγκες των λουτρών και των κατοίκων. Επίσης, στο Σχήμα 5.2, παρουσιάζονται οι ετήσιες τιμές του όγκου νερού για τον οποίο αστοχούν οι δεξαμενές.

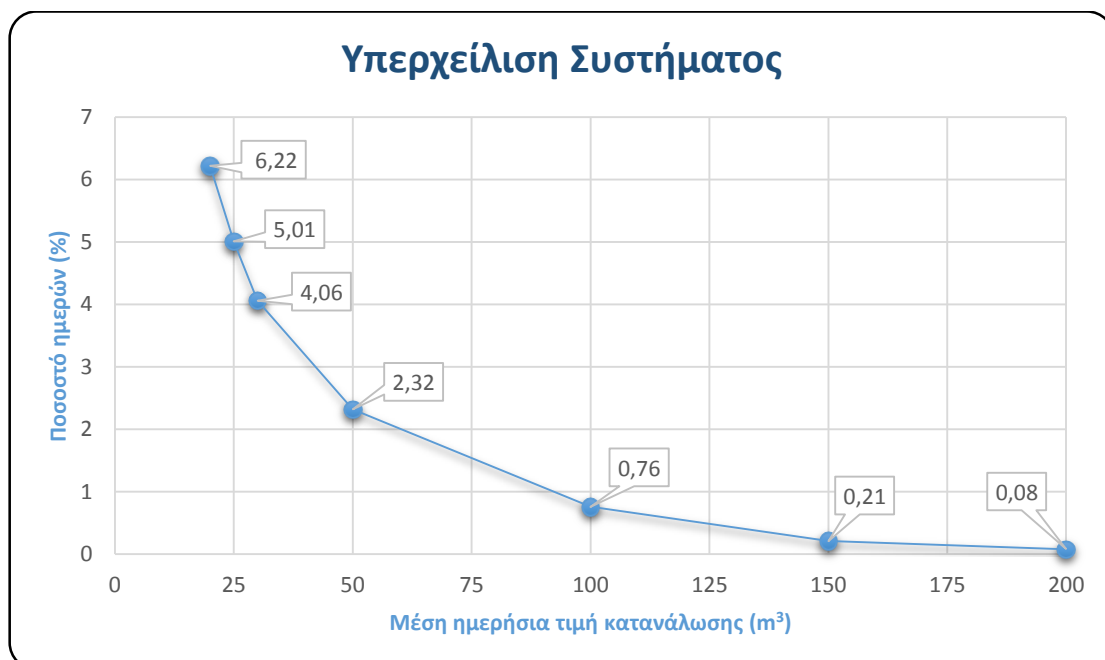


Σχήμα 5.1 : Ποσοστό ημερών έλλειψης για τις εξεταζόμενες τιμές της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης



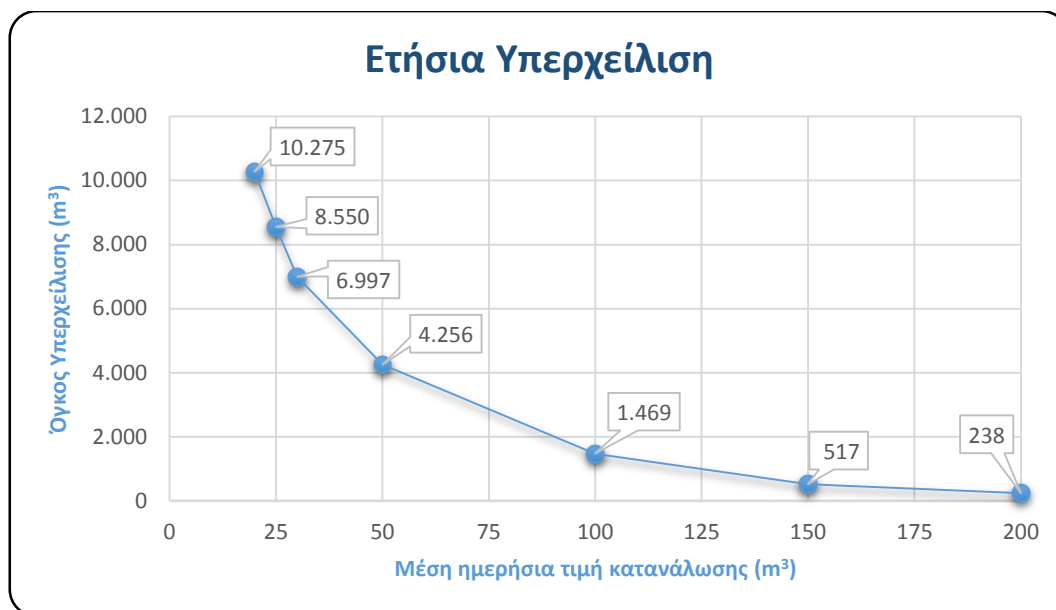
Σχήμα 5.2 : Ετήσιες τιμές αστοχίας των δεξαμενών για τις εξεταζόμενες τιμές της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης

- Από την άλλη, τα ποσοστά υπερχειλίσης των δεξαμενών μειώνονται όσο αυξάνεται η ημερήσια κατανάλωση (Σχήμα 5.3). Παρατηρούμε ότι για κατανάλωση από 20 έως 50 m<sup>3</sup>, τα ποσοστά φθάνουν από 6,22 έως 2,32% του συνόλου των ημερών, ενώ για 100 έως 200 m<sup>3</sup>, φθάνουν από 0,76 έως 0,08%. Τέλος, στο σχήμα 5.4, παρουσιάζονται οι ετήσιες τιμές του όγκου του νερού που υπερχειλίζει από τις δεξαμενές.



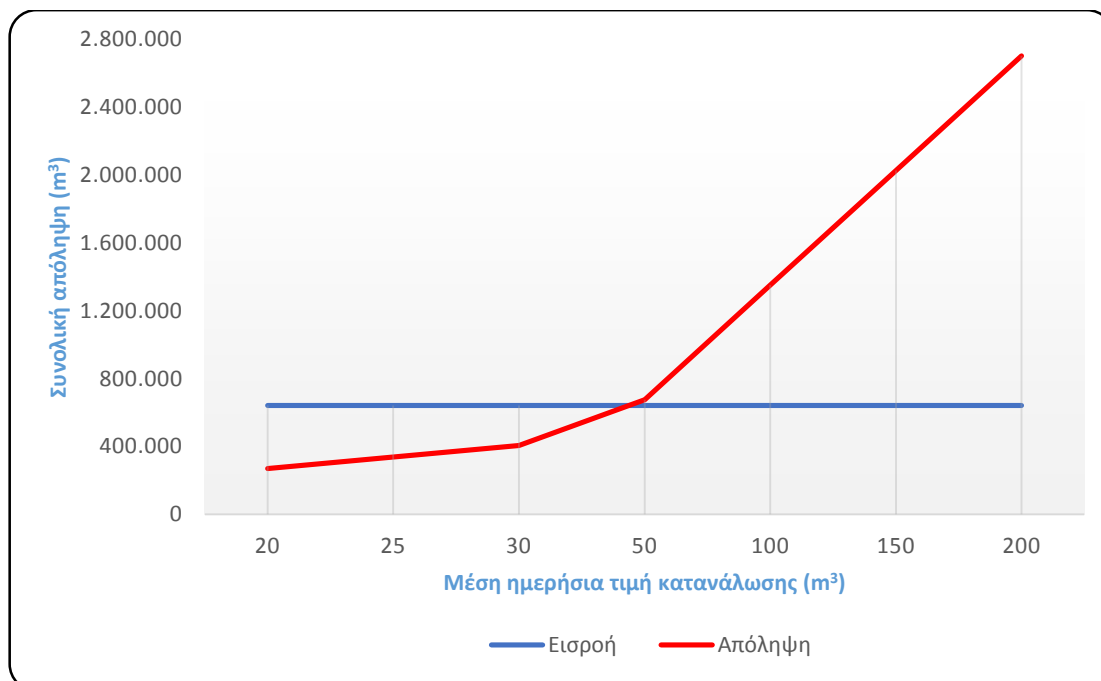
Σχήμα 5.3 : Ποσοστό ημερών υπερχειλίσης για τις εξεταζόμενες τιμές της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης





Σχήμα 5.4 : Ετήσιες τιμές όγκου υπερχείλισης των δεξαμενών για τις εξεταζόμενες τιμές της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης

- Με την ημερήσια κατανάλωση των 50 m<sup>3</sup>, παρατηρούμε στο Σχήμα 5.5 ότι η συνολική απόληψη του συστήματος είναι περίπου ίση με την συνολική εισροή νερού στις δεξαμενές ( $V_{\text{εισ}}=642.611 \text{ m}^3$ ,  $V_{\alpha}=675.600 \text{ m}^3$ , δηλαδή  $V_{\alpha} \approx V_{\text{εισ}}$ ). Έτσι, έως τα 50 m<sup>3</sup>, το σύστημα των δεξαμενών βρίσκεται σε ισορροπία, ενώ τα ποσοστά αστοχίας και υπερχείλισης κυμαίνονται σε λογικά νούμερα.



Σχήμα 5.5 : Συνολικές τιμές απόληξης και εισροής για τις εξεταζόμενες τιμές της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης

## 5.2 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν, παρουσιάζονται ως εξής:

- Αρχικά, το εν λόγω σύστημα των δεξαμενών μαζί με τα λουτρά, αποτελεί ένα εκπληκτικό αρχιτεκτονικό και κατασκευαστικό συγκρότημα της Ρωμαϊκής εποχής. Εντυπωσιάζει το γεγονός ότι παρόλο που οι δεξαμενές εξυπηρετούσαν τα λουτρά της πόλης, η αρχιτεκτονική τους μοιάζει να είναι περισσότερο προσεγμένη απ' ότι σε ένα κεντρικό δημόσιο κτίριο. Εξάλλου, οι Ρωμαίοι φημίζονται για την έμφαση που έδιναν στους τόπους όπου χαλάρωναν και ξεκουράζονταν οι Αυτοκράτορες του και γενικά τα υψηλά ιστάμενα πρόσωπα. Δεξαμενές μεγάλες σε χωρητικότητα, λαξευμένες πάνω σε βράχους, με θολωτές οροφές, τοιχώματα και δάπεδα κατασκευασμένα με υδραυλικά κονιάματα, και λουτρά κατασκευασμένα με ελάχιστη τεχνογνωσία και εργαλεία περιορισμένα για την εποχή. Απόρροια αυτών, είναι τα Ρωμαϊκά έργα να μείνουν αναλλοίωτα στον χρόνο και αντικείμενα θαυμασμού χιλιάδες χρόνια μετά, καθώς επίσης να προκαλούν το αίσθημα ανταγωνισμού και εξέλιξης των ιδεών των σύγχρονων μηχανικών και γενικά της μηχανικής ως επιστήμη.
- Το μέγεθος των δεξαμενών είναι αναμφίβολα μεγάλο ακόμα και για τα σημερινά δεδομένα. Η μεγάλη χωρητικότητα αποδεικνύει ότι οι κάτοικοι της εποχής εκείνης δεν τις χρησιμοποιούσαν μόνο για τα λουτρά, αλλά και για να αποθηκεύσουν μεγάλες ποσότητες νερού για τις περιόδους ανομβρίας.
- Επιπροσθέτως, παρατηρώντας την καλή κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι δεξαμενές, αν εξαιρέσουμε βέβαια την απουσία του θόλου στην δεξαμενή σχήματος Γ, βγαίνει το συμπέρασμα ότι αρκετές χιλιάδες χρόνια μετά το νερό μπορεί πολύ εύκολα να συλλεχθεί και να αποθηκευτεί μέσα τους. Έτσι, το σύστημα των δεξαμενών μπορεί πάλι να τεθεί σε λειτουργία, χωρίς όμως να υπάρχει αυτή η σιγουριά για την λειτουργία των λουτρών, τα οποία ενδεχομένως να χρειαστούν ανακατασκευή.
- Τέλος, όσο αναφορά την λειτουργία τους, μέσα από την αναπαράσταση βγαίνει το συμπέρασμα ότι οι δεξαμενές δεν μπορούν να δώσουν ημερήσια πάνω από 50 m<sup>3</sup> νερό, καθώς πάνω από αυτή την τιμή η αστοχία τους φθάνει σε μεγάλα ποσοστά. Από αυτά, τα 16 m<sup>3</sup> αντιστοιχούν στην λειτουργία των λουτρών και τα υπόλοιπα στις προσωπικές ανάγκες των κατοίκων, υπολογίζοντας περίπου σε 24 lt/ημέρα/κάτοικο.



## Βιβλιογραφικές αναφορές

---

- [1] Εμμανουήλ Μ., Παναγιωτίδης Χ., *Γεωφυσική Διασκόπηση Στο Χώρο Της Αρχαίας Απτέρας Με Σκοπό Τον Προσδιορισμό Θαμμένων Υδρομαστευτικών Συστημάτων*, Πτυχιακή Εργασία, Τ.Ε.Ι Κρήτης, Χανιά 2012
- [2] Ιεροδιακόνου Κ., *Αριθμητική Διερεύνηση Συμπεριφοράς Λίθων Εμποτισμένων Με Στερεωτικές Ρητίνες*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2009
- [3] Κεχαγιά Α., *Θέματα Αποκατάστασης Και Διατήρησης Παραδοσιακών Συστημάτων Συλλογής Υδάτων – Εφαρμογή Σε Ομβροδεξαμενές Από Ξερολίθια*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2012
- [4] Μπαρτζώκας Χ., *Ενεργειακά Βιώσιμες Κοινότητες: Η Περίπτωση Της Πρώην Επαρχίας Αποκορώνου Χανίων*, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2009
- [5] Νεστορίδη Ε., *Αδριάνειο Υδραγωγείο: Δεσμοί Από Το Παρελθόν Στο Μέλλον Και Επαναπροσδιορισμός Του Χρηστικού Του Ρόλου*, Παρουσίαση ΕΥΔΑΠ, Αθήνα 2012
- [6] Νινιού-Κινδελή Β., Χριστοδουλάκος Γ., *Ρωμαϊκή Απτέρα. Μία πρώτη προσέγγιση*, Διεθνές Συνέδριο: Creta Romana e Protobizantina, Ηράκλειο, Ελλάδα, Bottega d'Erasmus, Padova, Ιταλία, 2004
- [7] Περιφέρεια Κρήτης, *Μελέτη για την αναθεώρηση - επικαιροποίηση του Περιφερειακού Σχεδιασμού Διαχείρισης Στερεών Απόβλητων (ΠΕΣΣΔΑ) Περιφέρειας Κρήτης*, 2012
- [8] Υπουργείο Πολιτισμού - ΚΕ΄ Εφορεία Προϊστορικών Και Κλασικών Αρχαιοτήτων, *Απτέρα*, Σούδα 2008
- [9] Angelakis A., Mays L., Koutsoyiannis D., Mamasis N., *Evolution of Water Supply Through the Millennia*, IWA Publishing, London 2012
- [10] Bailey D., Eleftheria M., *Απτέρα: Πέτρινοι μάρτυρες της Ιστορίας της Κρήτης*, Kreta Umwelt Info, Ενημερωτικό φυλλάδιο αρ. 366, 12/G, 2012
- [11] Barsukov P., Soupios P., Gorokhovich Y., *Application of Special SPM Loop in Archaeological Prospection*, The 20<sup>th</sup> International Geophysical Congress & Exhibition of Turkey, 2013

- [12] Corrigan W., *Sanitation Under The Ancient Minoan Civilization*, Men & Books, July 1932
- [13] Freitas D., Morais M., Cabral J., Rosado J., Melo G., Silva H., Pedro A., Selva V., *Water Quality of Cisterns and Underground Dams in Semiarid Regions: Case Study of Afogados da Ingazeira, Pernambuco – Northeast Brazil*, Internation Water Association, 2011
- [14] Gorokhovich Y., Alexopoulos A., Gikas V., Gikas P. and Anelakis N.: *Water Supply and Use in the Roman City of Aptera, Crete, Hellas: The Mystery of the Ancient Water System*, IWA Specialized Conference on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations, Turkey 2012
- [15] Mays L., Antoniou G. and Angelakis A., *History of Water Cisterns: Legacies and Lessons*, *Water*, 5 (4), 1916-1940, 2013
- [16] Rutherford R., *Water Harvesting: An Overview*, paper, February 2007

# ***Παράρτημα***





Όλες οι φωτογραφίες που δημοσιεύονται στο παρακάτω παράρτημα, αποτελούν προσωπικές λήψεις από την επίσκεψη που έγινε στον χώρο της Αρχαίας Απτέρας τον Οκτώβριο του 2013.



*Εικόνα 1 : Μεγάλο σκέλος δεξαμενής σχήματος Γ*



*Εικόνα 2 : Μικρό σκέλος δεξαμενής σχήματος Γ*





*Εικόνα 3 : Ενδιάμεσος πεσσός που βοηθούσε στην στήριξη της οροφής της δεξαμενής σχήματος Γ*



*Εικόνα 4 : Απομείναντα κομμάτια της οροφής της δεξαμενής σχήματος Γ*





*Εικόνα 5 : Τμήμα της αυθεντικής τοιχοποιίας της δεξαμενής σχήματος Γ*



*Εικόνα 6 : Συμπλήρωση τοιχοποιίας της δεξαμενής σχήματος Γ*



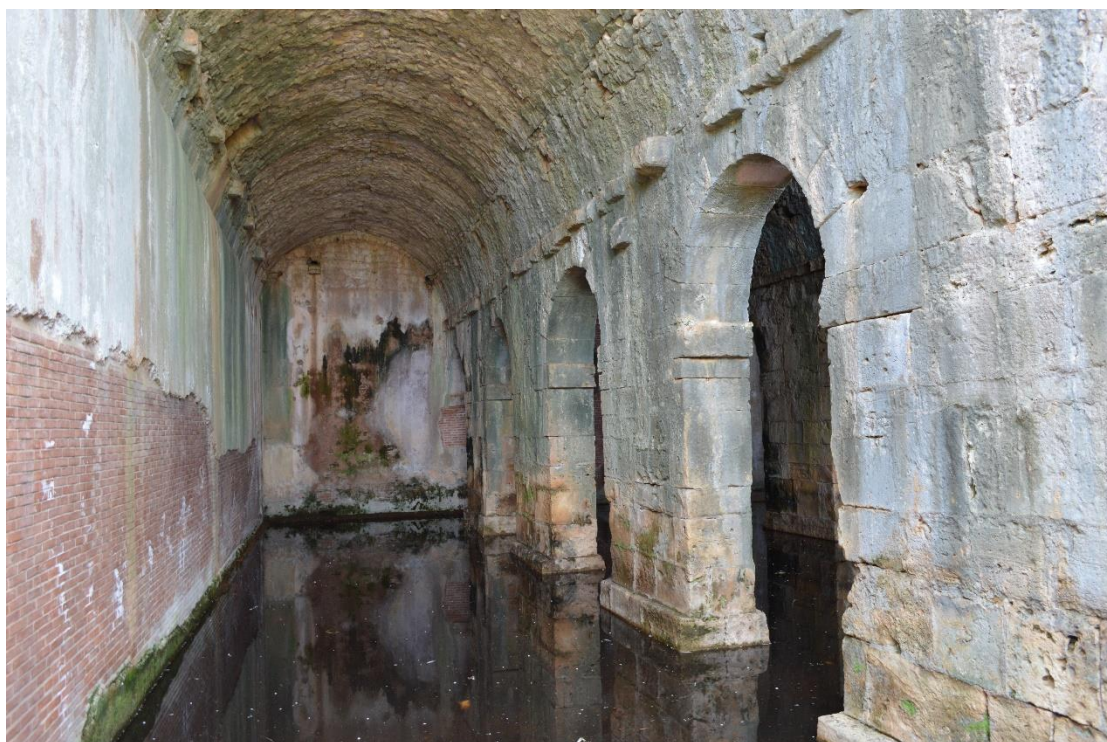


*Εικόνα 7 : Εξωτερική άποψη τρίκλιτης δεξαμενής*

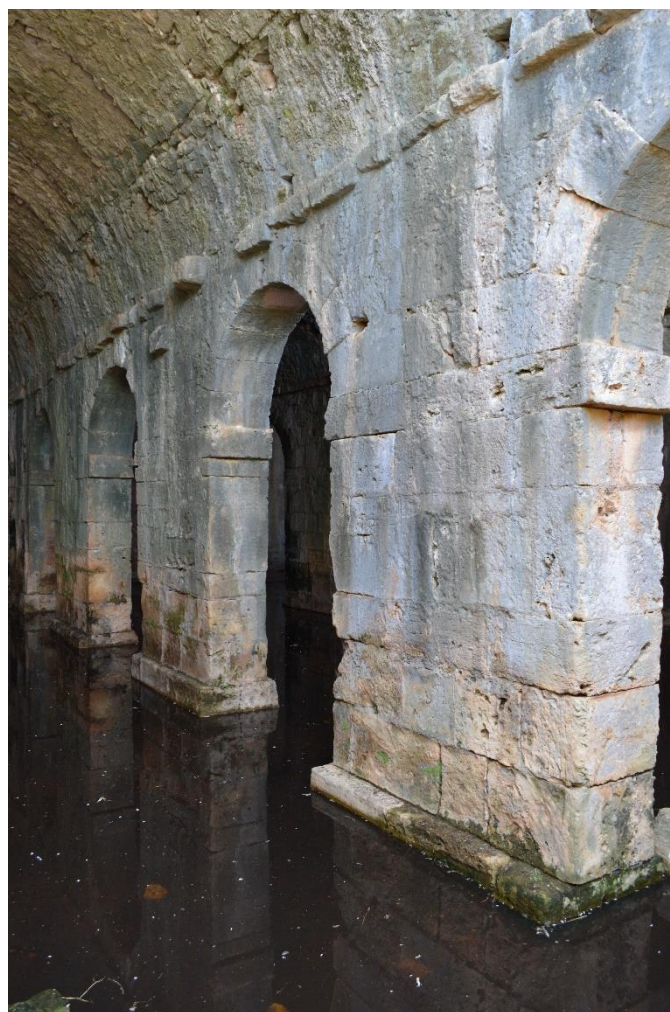


*Εικόνα 8 : Άποψη εισόδου της τρίκλιτης δεξαμενής*





Εικόνα 9 : Εσωτερική άποψη τρίκλιτης δεξαμενής

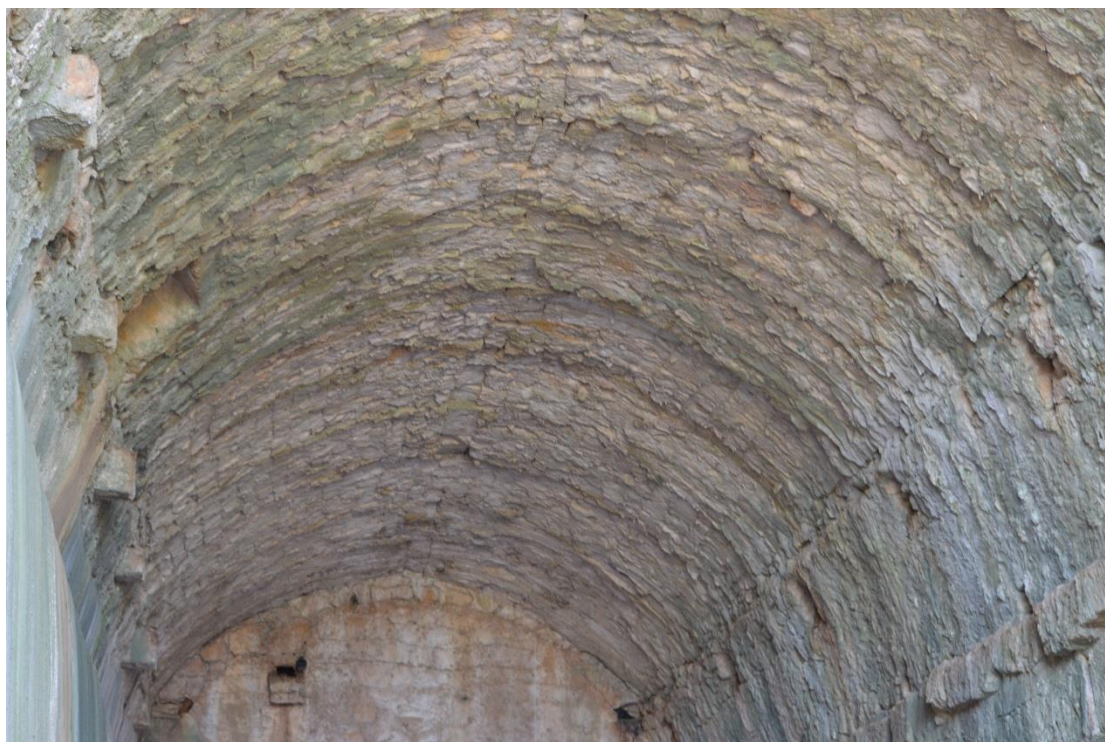


Εικόνα 10 : Οι πεσσοί που χωρίζουν σε κλίτη την δεξαμενή





*Εικόνα 11 : Άποψη του δαπέδου της τρίκλιτης δεξαμενής*



*Εικόνα 12 : Η θολωτή οροφή της τρίκλιτης δεξαμενής*



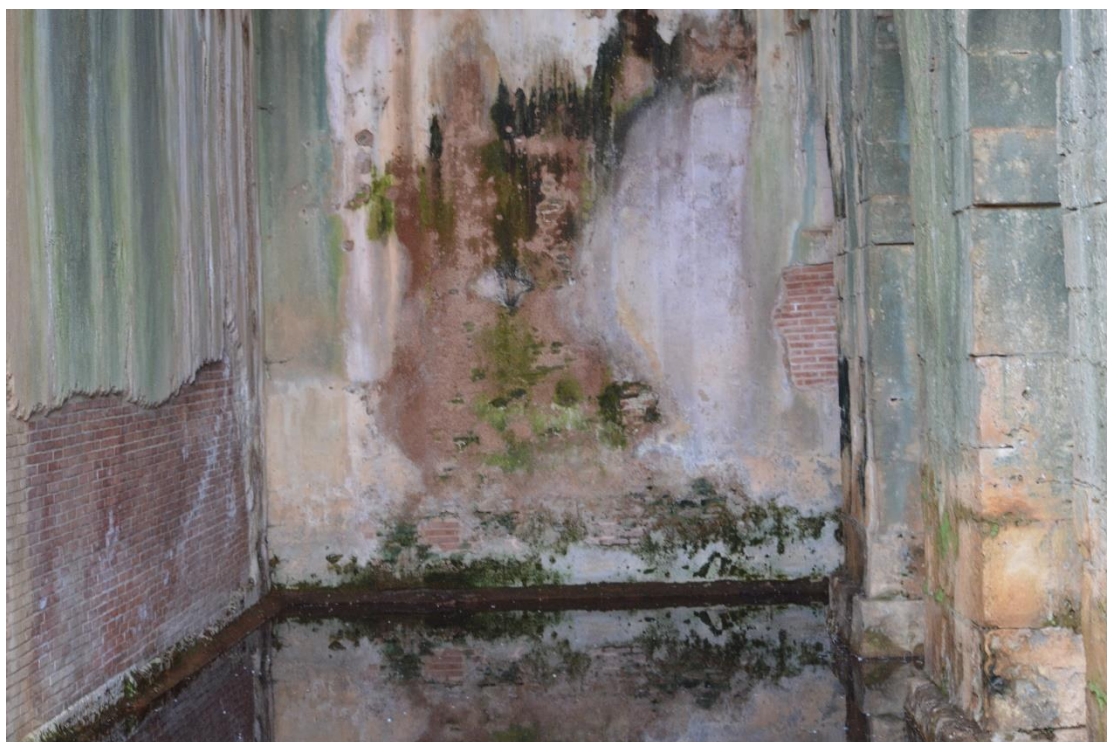


*Εικόνα 13 : Τρύπες στην οροφή της τρίκλιτης δεξαμενής για την εισροή του νερού*



*Εικόνα 14 : Τοιχοποιία της ανατολικής πλευράς της τρίκλιτης δεξαμενής*





Εικόνα 15 : Τοιχοποιία της νότιας πλευράς της τρίκλιτης δεξαμενής



Εικόνα 16 : Τοιχοποιία της δυτικής πλευράς της τρίκλιτης δεξαμενής





*Εικόνα 17 : Λεπτομέρεια επιπρόσθετης τοιχοποιίας τρίκλιτης δεξαμενής*



*Εικόνα 18 : Λεπτομέρεια πεσσού τρίκλιτης δεξαμενής*