



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΓΙΑ ΟΙΚΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ



ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΜΑΡΙΑΝΘΗ ΟΛΓΑ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων:
Βασίλειος Τσιχριντζής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2014



NATIONAL AND TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
LABORATORY OF RECLAMATION WORKS AND
WATER RESOURCES MANAGEMENT

SIZING OF RAINWATER HARVESTING TANKS FOR DOMESTIC USE



ATHANASIOU MARIANTHI OLGA
DIPLOMA THESIS

Supervisor:
Vassilios Tsihrintzis
Professor N.T.U.A

Athens, October 2014

Copyright © Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1. Ανάγκη Συλλογής Νερού Βροχής.....	6
1.2. Λόγοι Συλλογής Βρόχινου Νερού.....	7
1.3. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.....	8
1.4. Ιστορική Αναδρομή.....	10
1.5. Σκοπός της Διπλωματικής.....	11
2. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ.....	13
2.1. Μέθοδοι Διαστασιολόγησης.....	13
2.1.1. Αυστραλία.....	14
2.1.2. Ηνωμένο Βασίλειο.....	15
2.1.3. Γερμανία.....	17
2.1.4. Βιρτζίνια (ΗΠΑ).....	17
2.2. Ποιότητα Νερού.....	19
2.2.1. Κίνδυνοι.....	19
2.2.2. Πρόληψη και επιδιορθωτικά μέτρα.....	23
2.2.3. Νομοθεσία για την ποιότητα του νερού.....	26
2.3. Χρήσεις Βρόχινου Νερού.....	27
2.4. Τεχνικά Στοιχεία.....	29
2.4.1. Υδραυλικά.....	30
2.4.2. Δεξαμενές.....	30
2.4.3. Στέγη απορροής.....	33
2.4.4. Σύστημα μεταφοράς.....	34
2.4.5. Φίλτρα.....	34
3. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ.....	36
3.1. Θεωρητική Μέθοδος Διαστασιολόγησης.....	36
3.2. Στοιχεία – Δεδομένα.....	38
3.2.1. Δεδομένα Μυτιλήνης.....	39
3.2.2. Δεδομένα Βύρωνα.....	39
3.2.3. Δεδομένα Ηγουμενίτσας.....	39
3.2.4. Δεδομένα Αγίου Θωμά Κρήτης.....	40
3.2.5. Δεδομένα Ωραιόκαστρου Θεσσαλονίκης.....	40
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	41
4.1. Μυτιλήνη.....	41
4.2. Βύρωνας.....	47
4.3. Ηγουμενίτσα.....	52
4.4. Άγιος Θωμάς Κρήτη.....	57
4.5. Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης.....	62
4.6. Σύγκριση Αποτελεσμάτων.....	67
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	73

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συλλογή των όμβριων υδάτων είναι ένας οικονομικός τρόπος παροχής νερού για χρήση σε εσωτερικούς χώρους. Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση δύο μεθόδων για τη διαστασιολόγηση δεξαμενής συλλογής όμβριων υδάτων με βάση την τοπική καθημερινή καταγραφή των βροχοπτώσεων, το μέγεθος της οικογένειας που εξυπηρετείται, την επιφάνεια της στέγης συλλογής, το είδος του υλικού της στέγης, τις χρήσεις του νερού στο σπίτι και άλλους παράγοντες.

Χρησιμοποιήθηκαν τα βροχομετρικά δεδομένα 20 έως 40 χρόνων για πέντε περιοχές της Ελλάδας (Μυτιλήνη, Βύρωνα Αττικής, Ηγουμενίτσα, Άγιος Θωμάς Κρήτης και Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης). Θεωρήθηκε ότι το νερό θα χρησιμοποιείται για περιορισμένη καθημερινή χρήση, καλύπτοντας ένα ποσοστό των αναγκών χρήσης νερού.

Έγινε επεξεργασία αυτών των δεδομένων μέσω του προγράμματος Microsoft Excel και για τις δύο μεθόδους και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων τους. Με την πρώτη μέθοδο, σχεδιάστηκε Διάγραμμα διαφορών μεταξύ συνολικών όγκων εισροών και εκροών από τη δεξαμενή για κάθε περιοχή. Ενώ με τη δεύτερη μέθοδο, σχεδιάστηκαν διαγράμματα υπολογισμένου όγκου αποθήκευσης δεξαμενής, όγκου νερού υπερχείλισης και όγκου νερού από δημόσιο δίκτυο παροχής για κάθε περιοχή. Επίσης, προέκυψαν διαγράμματα ποσοστού εμφάνισης άνομβρων ημερών και διαγράμματα μεγέθους οροφής συναρτήσει κατοίκων και ποσοστού χρήσης.

Τέλος, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων για τις περιοχές αυτές. Η πρώτη μέθοδος έβγαλε μεγαλύτερα αποτελέσματα από τη δεύτερη μέθοδο. Και οι δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες και την οικονομική ευχέρεια του χρήστη.

ABSTRACT

Rainwater harvesting is an economical way to supply water for domestic use. The purpose of this thesis is to present two methods for sizing a rainwater harvesting tank based on the local daily rainfall record, the size of the family served, the roof collection area, the type of the roof, the water uses in the house and other factors.

Twenty to forty years of daily rainfall data from five regions of Greece (i.e. Mytilene, Byron Attica, Igoumenitsa, Saint Thomas Crete and Oraioakastro Thessaloniki) were used. It was assumed that the water was used for limited daily use, covering a percentage of the needs of water use.

The data was processed using the Microsoft Excel program for both methods and their results were compared. According to the first method, charts were designed showing the differences between cumulative volumes of input and output from the tank for each region. According to the second method, there were charts developed displaying the computed storage volume in the tank, the overflow volume and the volume of water from the public water supply for each area. Also, charts were developed showing the cumulative number of occurrences and relative percentage as function of day with no rainfall, as well as charts presenting the required roof area for a certain percentage p of the household water as function of the number of persons served.

Finally, the results of the two methods for these areas were compared. The first method resulted in higher required tank sizes than the second method. Both methods can be used depending on the needs and finances of the user.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό νερό για οικιακή χρήση. Σε πολλά μέρη του κόσμου, το τρεχούμενο νερό είτε απουσιάζει, είτε είναι αναξιόπιστο ή υπερβολικά δαπανηρό. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του 21^{ου} αιώνα είναι να ξεπεραστεί η αυξανόμενη έλλειψη νερού. Η συλλογή των όμβριων υδάτων ανέκτησε τη σημασία της ως μια πολύτιμη εναλλακτική λύση ή συμπλήρωμα των υδάτινων πόρων, μαζί με περισσότερες συμβατικές τεχνολογίες ύδρευσης. Πραγματικές ή πιθανές ελλείψεις νερού μπορούν να εξαλειφθούν αν η συλλογή των όμβριων υδάτων ασκηθεί ευρύτερα.

1.1. Ανάγκη Συλλογής Νερού Βροχής

Λόγω της ρύπανσης τόσο των υπογείων όσο και των επιφανειακών υδάτων, και της συνολικής αύξησης της ζήτησης για τους υδατικούς πόρους λόγω της πληθυσμιακής αύξησης, πολλές κοινότητες σε όλο τον κόσμο πλησιάζουν τα όρια των παραδοσιακών τρόπων συλλογής των υδατικών πόρων. Ως εκ τούτου, στρέφονται σε εναλλακτικούς ή «νέους» πόρους, όπως η συλλογή όμβριων υδάτων. Η συλλογή των όμβριων υδάτων ανέκτησε την σημασία του ως αξιόλογη εναλλακτική ή συμπληρωματική λύση των υδατικών πόρων. Η αξιοποίηση του νερού της βροχής είναι τώρα μια επιλογή μαζί με πιο «συμβατικές» τεχνολογίες ύδρευσης, ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές, αλλά όλο και περισσότερο και σε αστικές περιοχές. Η συλλογή όμβριων υδάτων έχει αποδειχθεί μεγάλης σημασίας για άνυδρες και ημι-άνυδρες χώρες ή περιοχές, ηφαιστειογενή νησιά και απομακρυσμένους και διάσπαρτους οικισμούς (Mays, 2007).

Έχει χρησιμοποιηθεί για πολύ καιρό και παραδείγματα βρίσκονται σε όλους τους μεγάλους πολιτισμούς. Η τεχνολογία μπορεί να είναι πολύ απλή ή πολύ περίπλοκη ανάλογα με τις ιδιαίτερες τοπικές συνθήκες. Παραδοσιακά, στην Ουγκάντα το νερό της βροχής συλλέγεται από τα δέντρα, χρησιμοποιώντας φύλλα μπανάνας ή μίσχους ως υδρορρόες. Μέχρι και 200 L μπορούν να συλλεχθούν από ένα μεγάλο δέντρο σε μία καταιγίδα (Mays, 2007) . Με την

αύξηση της διαθεσιμότητας των κυματοειδών σιδερένιων στεγών σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες, οι άνθρωποι τοποθετούν συχνά ένα μικρό δοχείο κάτω από τις μαρκίζες για την συλλογή του νερού της βροχής. Εκτός από μικρά δοχεία, μεγαλύτερες υπόγειες και επιφανειακές δεξαμενές χρησιμοποιούνται για την συλλογή μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού.

Πολλά άτομα και ομάδες έχουν αναλάβει την πρωτοβουλία και αναπτύσσουν μια ευρεία ποικιλία διαφορετικών συστημάτων σε όλο τον κόσμο για την συλλογή του νερού της βροχής.

1.2. Λόγοι Συλλογής Βρόχινου Νερού

Οι λόγοι συλλογής και χρήσης του νερού της βροχής για οικιακή χρήση είναι πολλοί και ποικίλοι:

- *Η αύξηση των αναγκών νερού/ζήτησης*
Η αυξημένη ανάγκη για νερό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των υπογείων υδάτων και την εξάντληση των αποθεμάτων. Πολλά συστήματα σωληνώσεων ύδρευσης αποτυγχάνουν. Η χρήση του βρόχινου νερού είναι μια χρήσιμη εναλλακτική λύση.
- *Μεταβολές στην διαθεσιμότητα του νερού*
Η διαθεσιμότητα του νερού από τις πηγές, όπως λίμνες, ποτάμια και ρηχά υπόγεια ύδατα, μπορεί να εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις. Η συλλογή και αποθήκευση του βρόχινου νερού μπορεί να παρέχει νερό για οικιακή χρήση σε περιόδους ανομβρίας. Το νερό της βροχής μπορεί επίσης να παρέχει μια λύση, όταν η ποιότητα του νερού σε ποτάμια και άλλους επιφανειακούς υδάτινους πόρους είναι χαμηλή ή μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της εποχής των βροχών.
- *Πλεονέκτημα συλλογής και αποθήκευσης κοντά στον τόπο της χρήσης*
Οι παραδοσιακές πηγές βρίσκονται σε κάποια απόσταση από την κοινότητα. Η συλλογή και αποθήκευση νερού κοντά στα νοικοκυριά βελτιώνει την προσβασιμότητα των αποθεμάτων νερού και έχει θετική επίπτωση στην υγεία. Μπορεί επίσης να ενισχύσει την αίσθηση της ιδιοκτησίας.

- *Ποιότητα πόσιμου νερού*

Η παροχή του νερού μπορεί να κινδυνεύει από μόλυνση είτε βιομηχανικών ή ανθρώπινων αποβλήτων ή με την διείσδυση μετάλλων όπως το αρσενικό, το αλάτι ή το φθόριο. Αντίθετα το νερό της βροχής είναι γενικά καλής ποιότητας.

1.3. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Για την χρησιμοποίηση των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων για οικιακή παροχή, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη τόσο τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα και να συγκρίνονται με άλλες διαθέσιμες επιλογές. Η συλλογή βρόχινου νερού είναι μια δημοφιλής επιλογή των νοικοκυριών καθώς η πηγή του νερού είναι κοντά και απαιτεί ελάχιστη ενέργεια για την συλλογή. Ένα πλεονέκτημα των οικιακών συστημάτων είναι ότι οι ίδιοι οι χρήστες διατηρούν τον έλεγχο των συστημάτων τους. Δεδομένου ότι σχεδόν όλα τα υλικά κατασκευής της σκεπής είναι αποδεκτά για συλλογή νερού για οικιακή χρήση, πολλά συστήματα έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε όλο τον κόσμο.

Ωστόσο υπάρχουν και μερικά μειονεκτήματα. Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι κανείς δεν μπορεί να είναι σίγουρος για το πόση βροχή θα πέσει. Άλλα μειονεκτήματα, όπως το σχετικά υψηλό κόστος επένδυσης και συντήρησης, μπορούν να ξεπεραστούν σε μεγάλο βαθμό μέσα από κατάλληλο σχεδιασμό και με την όσο το δυνατόν χρήση τοπικών υλικών για να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα. Η συμμετοχή του ιδιωτικού τομέα και των τοπικών αρχών μπορεί να διευκολύνει την αναβάθμιση των συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<u>Απλή κατασκευή</u> : Η κατασκευή τέτοιων συστημάτων είναι απλή και οι άνθρωποι μπορούν να εκπαιδευτούν για να τα φτιάξουν οι ίδιοι.	<u>Υψηλό επενδυτικό κόστος</u> : Το κόστος των συστημάτων δημιουργείται κατά την διάρκεια της αρχικής τους κατασκευής.
<u>Εύκολη συντήρηση</u> : Η λειτουργία και η συντήρηση ενός συστήματος συλλογής ελέγχεται αποκλειστικά από την δεξαμενή του ιδιοκτήτη.	<u>Χρήση και συντήρηση</u> : Η σωστή λειτουργία και η τακτική συντήρηση είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που συχνά παραβλέπεται. Η τακτική επιθεώρηση, ο καθαρισμός, καθώς και οι περιστασιακές επισκευές είναι απαραίτητα για την επιτυχία του συστήματος.
<u>Σχετικά καλή ποιότητα νερού</u> : Το νερό της βροχής είναι καλύτερο από αυτό άλλων διαθέσιμων παραδοσιακών πηγών.	<u>Η ποιότητα του νερού είναι ευάλωτη</u> : Η ποιότητα του νερού μπορεί να επηρεαστεί από την ρύπανση του αέρα, περιτώματα πουλιών ή ζώων, βρωμιά και οργανική ύλη.
<u>Μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις</u> : Το βρόχινο νερό είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και δεν γίνεται καμιά ζημία στο περιβάλλον.	<u>Η παροχή είναι ευαίσθητη στις ξηρασίες</u> : Περιστατικό μακράς ξηρασίας μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα ύδρευσης.
<u>Ευκολία σε επίπεδο νοικοκυριού</u> : Παρέχει το νερό που απαιτείται για κατανάλωση	<u>Περιορισμένη παροχή</u> : Η παροχή εξαρτάται από το ποσοστό των βροχοπτώσεων και το μέγεθος της δεξαμενής
<u>Δεν επηρεάζεται από την τοπική γεωλογία ή τοπογραφία</u>	
<u>Ευελιξία και προσαρμοστικότητα των συστημάτων</u> ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και τους προϋπολογισμούς, συμπεριλαμβανομένων την αυξανόμενη διαθεσιμότητα δεξαμενών χαμηλού κόστους.	

1.4. Ιστορική Αναδρομή

Οι δεξαμενές νερού χρονολογούνται ιστορικά τα τελευταία 5500 χρόνια της ανθρώπινης ιστορίας. Οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις του εικοστού αιώνα απαξίωσαν τις παλαιότερες τεχνολογίες συλλογής νερού, οι οποίες θεωρήθηκαν να είναι πολύ πίσω από τις σημερινές, ακόμη και αν υπάρχουν ορισμένα ανεπίλυτα προβλήματα που σχετίζονται με τα συστήματα ύδρευσης, ειδικά τις δεξαμενές (Angelakis, 2013). Στον αναπτυσσόμενο κόσμο τέτοια προβλήματα έχουν ενταθεί σε πρωτοφανή βαθμό. Κατά τους ιστορικούς χρόνους, οι δεξαμενές έγιναν το βασικό χαρακτηριστικό μιας καλά σχεδιασμένης πόλης. Η αύξηση του αριθμού των ανθρώπων κατά την διάρκεια της ρωμαϊκής εποχής οδήγησε σε αύξηση του μεγέθους και του συνδυασμού των δεξαμενών με εντυπωσιακές κατασκευές μεταφοράς νερού. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου, οι τεχνολογίες του νερού αναδείχθηκαν ως ένα βαθμό και επανεμφανίστηκαν αργότερα κατά την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης.

Από την στιγμή των πρώιμων πολιτισμών, οι κάτοικοι σε άνυδρες και ημι-άνυδρες περιοχές έχουν στηριχθεί στην συγκομιδή βρόχινου νερού και την αποθήκευσή του σε δεξαμενές. Πιστεύεται ότι αυτά τα πρώτα συστήματα χρησιμοποιήθηκαν στην περιοχή της Μεσογείου για την συλλογή νερού από λόφους, ανοικτές αυλές και στέγες κυρίως για οικιακή χρήση (Angelakis, 2013). Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης του νερού της βροχής έχουν κατασκευαστεί σε ολόκληρη την περιοχή γύρω από την Μεσόγειο και την Εγγύς Ανατολή από την Τρίτη χιλιετία π.Χ. Οι δεξαμενές χρησιμοποιήθηκαν επίσης και για την αποθήκευση νερού υδραγωγείου για τις εποχιακές μεταβολές. Οι δεξαμενές στην αρχαιότητα ήταν κατασκευές που αποτελούνταν από ακανόνιστου σχήματος οπές και ήταν φτιαγμένες από άμμο ή χαλαρά πετρώματα. Στην συνέχεια επενδύονταν με γύψο (στόκο) για προστασία από την υγρασία, όπως στην Κρήτη από τους Μινωίτες (Mays, 2007).

Κατά την ρωμαϊκή περίοδο, γινόταν εκτεταμένη χρήση των δεξαμενών. Η Πομπηία είχε ένα εκτεταμένο σύστημα διανομής νερού, συμπεριλαμβανομένων των νερών υδραγωγείου και πηγαδιών. Οι στέγες των

σπιτιών συγκέντρωναν το βρόχινο νερό που έρεε μέσα από κεραμικούς σωλήνες σε δεξαμενές όπου αποθηκευόταν το νερό για οικιακή χρήση. Οι συνήθειες και τα κοινωνικά έθιμα των αρχαίων Ρωμαίων, μαζί με τις ανάγκες της αυξανόμενης δεξιοτεχνίας, οδήγησαν σε αυξημένη ζήτηση για νερό, είτε για το μπάνιο και το καζανάκι της τουαλέτας είτε για τα διάφορα εργαστήρια-συνεργεία. Οι ανάγκες αυτές οδήγησαν στην κατασκευή δεξαμενών σε μέρη όπως η Αμοργός (Antoniou, 2010).

Η εκτεταμένη χρήση των οικιακών δεξαμενών ήταν χαρακτηριστική κατά την τελευταία περίοδο της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας, αφού το κράτος δεν μπορούσε να αντέξει οικονομικά την κατασκευή των απαραίτητων δημόσιων δεξαμενών, αλλά και λόγω του περιορισμένου χώρου των τακτικά οχυρωμένων πόλεων. Κατά την Οθωμανική περίοδο, σε περιοχές όπου η Έλληνες κάτοικοι και οι προϋπάρχουσες παραδόσεις ήταν ισχυρές, κατασκευάστηκαν αρκετές δεξαμενές. Παράλληλα όμως, ο ρόλος των δεξαμενών στην Κωνσταντινούπολη μειώθηκε λόγω των κεντρικών συστημάτων νερού, αλλά συνεχίστηκε σε απομακρυσμένες περιοχές που δεν εξυπηρετούντο από τα συστήματα νερού.

Κατά την διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, δεξαμενές διανομής αντιπροσώπευαν τις τεχνολογικές προσπάθειες για την πλήρωση των αναδυόμενων αναγκών ύδρευσης, σε συνδυασμό με την επέκταση των δικτύων γλυκού νερού. Αρκετές δεξαμενές κατασκευάστηκαν σε λοφώδη σημεία των πόλεων για να εξασφαλίσουν όχι μόνο την απαραίτητη ποσότητα νερού αλλά επίσης και την πίεση της βρύσης. Η σταδιακή εφαρμογή από οπλισμένο σκυρόδεμα στην κατασκευή δεξαμενών παρέσχε την πλέον κατάλληλη τεχνική σχεδόν σε όλο τον κόσμο για την ίδρυση μιας διεθνούς προσέγγισης σε αυτό το πεδίο.

1.5. Σκοπός της Διπλωματικής

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση δύο μεθόδων για τη διαστασιολόγηση δεξαμενής συλλογής όμβριων υδάτων με βάση την τοπική καθημερινή καταγραφή των βροχοπτώσεων, το μέγεθος της οικογένειας που εξυπηρετείται, την επιφάνεια της στέγης συλλογής, το είδος της οροφής, τις χρήσεις του νερού στο σπίτι και άλλους παράγοντες.

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται αναφορά στην ανάγκη και στους λόγους συλλογής βρόχινου νερού, καθώς και σε μια σύντομη ιστορική αναδρομή.

Στο Κεφάλαιο 2 αναφέρονται οι διάφοροι μέθοδοι διαστασιολόγησης δεξαμενών σε τέσσερις χώρες, οι κίνδυνοι σχετικά με την ποιότητα του νερού καθώς και τα τεχνικά στοιχεία που αποτελούν ολόκληρο το σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων.

Στο Κεφάλαιο 3 παρατίθενται οι μέθοδοι υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις περιοχές.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται παράθεση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων για κάθε περιοχή και γίνεται και σύγκριση αυτών.

Στο Κεφάλαιο 5 αναπτύσσονται τα συμπεράσματα σχετικά με τις δύο μεθόδους και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

2. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Πολλές χώρες έχουν επιδοτήσει την εγκατάσταση δεξαμενών όμβριων υδάτων και, σε πολλές πόλεις, αυτή η εγκατάσταση έχει γίνει μια υποχρεωτική απαίτηση για κάθε καινούριο κτήριο. Πολλές από αυτές τις πόλεις έχουν βρει ότι οι δεξαμενές αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα σημαντικές μειώσεις στην ποσότητα του νερού που παρέχεται μέσω του αστικού συστήματος ύδρευσης (Hamdan, 2009). Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζονται επιλεγμένες περιπτώσεις κρατών που χρησιμοποιούν αυτό το σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, καθώς και τα απαραίτητα τεχνικά στοιχεία κατασκευής τους.

2.1. Μέθοδοι Διαστασιολόγησης

Οι διαθέσιμες μέθοδοι για διαστασιολόγηση μιας δεξαμενής συλλογής βρόχινου νερού για μια οικογένεια διαφέρουν σε πολυπλοκότητα. Η πιο απλή μέθοδος είναι να υπολογιστεί η μεγαλύτερη απαίτηση αποθήκευσης με βάση την ημερήσια τιμή κατανάλωσης των νοικοκυριών και την μέση διάρκεια της μεγαλύτερης άνομβρης περιόδου του χρόνου. Αυτή η μέθοδος υποθέτει ότι οι βροχοπτώσεις και η επιφάνεια των στεγών έχουν ως αποτέλεσμα τέτοια απορροή αρκετή για να γεμίσει την δεξαμενή. Η μέθοδος εξετάζει μόνο την πλευρά της ζήτησης και είναι χρήσιμη για την απόκτηση πρόχειρων εκτιμήσεων του μεγέθους της δεξαμενής.

Μια άλλη πιο σύνθετη μέθοδος κάνει χρήση των μέσων μηνιαίων συνολικών βροχοπτώσεων και τα μέσα μηνιαία ποσοστά κατανάλωσης νερού. Θεωρείται ότι χρησιμοποιείται όλη η απορροή της στέγης. Δημιουργείται ένα γράφημα της αθροιστικής συλλογής νερού και της αθροιστικής ζήτησης και από αυτό μπορούν να υπολογιστούν οι απαιτήσεις της αποθήκευσης που ικανοποιούν τον ρυθμό κατανάλωσης του νοικοκυριού. Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για την εύρεση του μεγέθους της δεξαμενής που απαιτείται για να διατηρηθεί το ποσοστό κατανάλωσης νερού ίσο με το μέγιστο νερό που συλλέχθηκε για συγκεκριμένη επιφάνεια στέγης και βροχοπτώσεις. Λαμβάνει υπόψη την συσσωρευμένη εισροή και εκροή από την δεξαμενή και η χωρητικότητα της δεξαμενής υπολογίζεται ως η μεγαλύτερη περίσσεια νερού πέρα από την

κατανάλωση. Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί γραφικά μέσω διαγραμμάτων ή με την χρήση πινάκων (World Bank, 1986).

2.1.1. Αυστραλία

Η Αυστραλία έχει γενικά ένα ζεστό και ξηρό κλίμα και το φρέσκο νερό είναι ένα περιορισμένο και πολύτιμο είδος. Η ζωή σε αυτές τις περιοχές εξαρτάται από την χρήση των τοπικών πηγών νερού, όπως το νερό της βροχής που συλλέγεται σε δεξαμενές. Ακόμη και σε περιοχές που συνδέονται με δίκτυο ύδρευσης, πολλά νοικοκυριά συλλέγουν το βρόχινο νερό σε οικιακές δεξαμενές για την αύξηση της παροχής ή για να παρέχεται μια εναλλακτική και ανανεώσιμη πηγή νερού.

Η μέθοδος διαστασιολόγησης που χρησιμοποιείται στην Αυστραλία απαιτεί τον υπολογισμό της μέγιστης ποσότητας βρόχινου νερού που μπορεί να συλλεχθεί μέσω της εξίσωσης:

$$\text{Run-off (L)} = C \times (R - B) \times A \quad (1)$$

όπου

C: η αποδοτικότητα της συλλογής και κυμαίνεται από 0.8 – 0.85 (δηλαδή 80 – 85% αποτελεσματικότητα) (Martin, 1980).

B: η απώλεια που σχετίζεται με την απορρόφηση και την διαβροχή των επιφανειών και συνήθως χρησιμοποιείται η τιμή 2 mm για κάθε μήνα (24 mm τον χρόνο) (Martin, 1980).

Η βροχόπτωση R πρέπει να εκφράζεται σε mm και η επιφάνεια της στέγης A σε τετραγωνικά μέτρα (m²).

Η απλούστερη μέθοδος για τον υπολογισμό του μεγέθους της δεξαμενής που θα παρέχει νερό για έναν ολόκληρο χρόνο, είναι να χρησιμοποιηθεί η μηνιαία βροχόπτωση και να θεωρηθεί ότι στην αρχή των βροχερών περιόδων η δεξαμενή είναι άδεια. Η ακόλουθη φόρμουλα χρησιμοποιείται για κάθε μήνα:

$$V_t = V_{t-1} + (\text{Run-off} - \text{Demand}) \quad (2)$$

Όπου V_t : ο θεωρητικός όγκος νερού που απομένει στην δεξαμενή στο τέλος του μήνα

V_{t-1} : ο όγκος του νερού που απομένει στην δεξαμενή από τον προηγούμενο μήνα.

Run-off πρέπει να υπολογίζεται όπως αναφέρθηκε παραπάνω ($A = 0.8$, $B = 2\text{mm}$).

Ξεκινώντας με άδεια την δεξαμενή, τότε $V_{t-1} = 0$. Αν, μετά από κάθε μήνα, ο θεωρητικός όγκος V_t υπερβαίνει τον όγκο της δεξαμενής, τότε το νερό θα υπερχειλίσει. Αν η V_t είναι αρνητική, τότε η ζήτηση υπερβαίνει το διαθέσιμο νερό. Θεωρώντας ότι η υπολογισμένη ετήσια απορροή υπερβαίνει την ετήσια ζήτηση νερού, η V_t θα είναι αρνητική μόνο εάν οι περιοδικές υπερχειλίσεις μειώσουν την ποσότητα του νερού που συλλέγεται για να είναι μικρότερη από την ζήτηση.

Οι υπολογισμοί θα πρέπει να επαναλαμβάνονται χρησιμοποιώντας διάφορα μεγέθη δεξαμενής μέχρι $V_t \geq 0$ στο τέλος κάθε μήνα. Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του V_t σε ολόκληρο το έτος, τόσο μεγαλύτερη είναι η εξασφάλιση κάλυψης της ζήτησης του νερού, όταν οι βροχοπτώσεις είναι κάτω του μέσου όρου ή όταν οι άνομβρες περίοδοι διαρκούν περισσότερο από το κανονικό. Όσο μεγαλύτερη είναι η εξασφάλιση, τόσο μεγαλύτερο το μέγεθος και το κόστος της δεξαμενής (Australian Government, 2004).

2.1.2. Ηνωμένο Βασίλειο

Στο Ηνωμένο Βασίλειο χρησιμοποιούνται η προσέγγιση από την πλευρά της ζήτησης και της προσφοράς (Fewkes et al., 2000). Με την πρώτη προσέγγιση θεωρείται ότι η απαίτηση αποθήκευσης είναι ίση με την μέγιστη ζήτηση που πρέπει να παρέχεται από την δεξαμενή. Αυτό υπολογίζεται προσδιορίζοντας την ημερήσια ζήτηση σε νερό και πολλαπλασιάζοντας με τον αριθμό των ημερών μιας μέσης μεγαλύτερης περιόδου άνομβρίας. Επίσης, θεωρείται ότι η οροφή είναι αρκετά μεγάλη για την συλλογή της απαραίτητης ποσότητας βροχής (Fewkes et al., 2000). Η μέθοδος απαιτεί τον υπολογισμό του δείκτη των εισροών από τον τύπο $A^*(\bar{P})/D$, όπου A είναι η επιφάνεια συλλογής, \bar{P} είναι η μέση ετήσια βροχόπτωση και D είναι η μέση ετήσια ζήτηση. Αυτός ο δείκτης στην συνέχεια χρησιμοποιείται μαζί με ένα επιθυμητό επίπεδο

απόδοσης για να διευκρινιστεί η ημερήσια αποθήκευση που θα έπρεπε να παρέχεται μέσω ενός συνόλου σχεδιαστικών καμπυλών.

Αυτές οι καμπύλες δείχνουν την περίοδο συλλογής συναρτήσει της ογκομετρικής αξιοπιστίας για διαφορετικές τιμές του δείκτη εισροών. Η μέθοδος χρησιμοποιεί μια ενιαία καμπύλη για έναν δεδομένο δείκτη εισροών, καθώς διαπιστώθηκε ότι στο Ηνωμένο Βασίλειο υπάρχει πολύ μικρή διαφορά από την μία τοποθεσία στην άλλη (Fewkes et al., 2000).

Η δεύτερη προσέγγιση από την πλευρά της προσφοράς χρησιμοποιείται γενικά για περιοχές που έχουν μεγάλη περίοδο ανομβρίας. Το απαιτούμενο μέγεθος της δεξαμενής θεωρείται ότι είναι αρκετά μεγάλο να συλλέξει την μέγιστη ποσότητα βροχής κατά την υγρή περίοδο. Αυτή η θεώρηση οδηγεί στην υπερ-μεγέθυνση της δεξαμενής, με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός περιττού ακριβού σχεδιασμού (Rees et al., 2002). Αυτή η μέθοδος δεν εξετάζει την επίδραση της ζήτησης στο απαιτούμενο μέγεθος της δεξαμενής και επομένως δεν είναι συγκρίσιμο με μια διαδικασία εισαγωγής δεδομένων, όπως προσομοιώνοντας την συμπεριφορά της δεξαμενής.

Η Υπηρεσία Περιβάλλοντος του Ηνωμένου Βασιλείου (UK Environment Agency) προτείνει μια μέθοδο, η οποία θα συνδυάζει και τις δύο μεθόδους προσέγγισης. Αυτή η μέθοδος προσδιορίζει το απαιτούμενο μέγεθος της δεξαμενής είτε ως ποσοστό του \bar{P} που ορίζεται από τον χρήστη (5% προτείνεται για το Ηνωμένο Βασίλειο), είτε από την μέση ετήσια ζήτηση, όποιο από τα δύο είναι μικρότερο (Ward et al., 2010). Οι Ward et al. (2010) δηλώνουν ότι το μέγεθος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$S = P \times A \times C \times F \times R \quad (3)$$

Όπου: P = ποσοστό ορισμένο από τον χρήστη
 A = επιφάνεια οροφής (m^2)
 C = συντελεστής απορροής
 F = αποτελεσματικότητα του φίλτρου του συστήματος
 R = ετήσια βροχόπτωση (το οποίο θα αντικατασταθεί από την ετήσια ζήτηση (D), αν $D < R$) (mm)

2.1.3. Γερμανία

Για τον σχεδιασμό ενός συστήματος όμβριων υδάτων στην Γερμανία, τα βροχομετρικά δεδομένα απαιτείται να είναι κατά προτίμηση για μια ελάχιστη περίοδο 10 ετών. Όσο πιο αξιόπιστα και συγκεκριμένα είναι τα δεδομένα για την περιοχή, τόσο καλύτερος θα είναι και ο σχεδιασμός. Τα δεδομένα για μια συγκεκριμένη περιοχή μπορούν να δοθούν από μετεωρολογικούς σταθμούς, γεωργικά και υδρολογικά ερευνητικά κέντρα και αεροδρόμια.

Μια απλή μέθοδος προσδιορισμού του απαιτούμενου όγκου αποθήκευσης και, κατά συνέπεια του μεγέθους της δεξαμενής αποθήκευσης, παρουσιάζεται παρακάτω:

Με εκτιμώμενη κατανάλωση νερού 20 L/cap*ημέρα, το οποίο είναι το ελάχιστο κοινά αποδεκτό, η ζήτηση του νερού θα είναι $20 \times N_{\text{cap}} \times 364$ L/έτος, όπου N_{cap} =αριθμός των ανθρώπων στο νοικοκυριό. Εάν υπάρχουν πέντε άτομα, τότε η ετήσια ζήτηση νερού είναι 36500 L ή περίπου 3000 L/μήνα. Για μια άνομβρη περίοδο τεσσάρων μηνών, η απαιτούμενη ελάχιστη χωρητικότητα της δεξαμενής θα είναι περίπου 12000 L.

Εφόσον η παροχή του βρόχινου νερού εξαρτάται από την ετήσια βροχόπτωση, την επιφάνεια της στέγης και τον συντελεστή απορροής, το ποσό των όμβριων υδάτων που μπορούν να συλλέγονται είναι:

$$R \text{ (mm/έτος)} \times A \text{ (m}^2\text{)} \times C \quad (4)$$

Για παράδειγμα: μια στέγη από λαμαρίνα 80 m² με 800 mm βροχής/έτος, θα αποδώσει $80 \times 800 \times 0,8 = 51200$ L/έτος (Gould and Nissen-Petersen, 1999).

2.1.4. Βιρτζίνια (ΗΠΑ)

Για την διαστασιολόγηση ενός συστήματος αποθήκευσης όμβριων υδάτων στην Βιρτζίνια των ΗΠΑ, πολλοί παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη: η ποσότητα της βροχής, η επιφάνεια της στέγης, ο διαθέσιμος χώρος στο οικοπέδο, η κατανάλωση (τα μέλη του νοικοκυριού και οι ανάγκες) και η προβλεπόμενη χρήση (πόσιμο, μη πόσιμο, άρδευση).

Ο μέσος άνθρωπος χρησιμοποιεί 183,27 L νερού την ημέρα για πόσιμη και μη πόσιμη χρήση. Αν το πόσιμο νερό είναι διαθέσιμο, προτείνεται το νερό της βροχής να χρησιμοποιείται αποκλειστικά για μη πόσιμη χρήση, το οποίο μπορεί να προσθέσει έως και 80% του νερού που χρησιμοποιείται μέσα και γύρω από ένα σπίτι ή επιχείρηση.

Οι ιδιοκτήτες του σπιτιού ή της επιχείρησης μπορούν να κάνουν τους υπολογισμούς για την ποσότητα νερού που θα αποθηκεύεται από την στέγη και για το μέγεθος της δεξαμενής που απαιτείται, σύμφωνα με τις βροχοπτώσεις και την επιφάνεια της στέγης.

Ένα χιλιοστό βροχής συλλέγει 0,09 L/m² της επιφάνειας της στέγης. Επομένως, 90 λίτρα συλλέγονται όταν ένα χιλιοστό βροχής πέφτει σε 1000 m² της επιφάνειας της στέγης. Η επόμενη εξίσωση υπολογίζει το ετήσιο ποσό βροχής που συλλέγεται, ανάλογα με την μέση βροχόπτωση, την επιφάνεια της στέγης και την αποτελεσματικότητα του συστήματος.

$$R \text{ (L/έτος)} = \bar{P} \times A \text{ (m}^2\text{)} \times 0,09 \text{ (μετατροπή)} \times \text{απόδοση συλλογής} \quad (5)$$

Για παράδειγμα: Θεωρώντας την μέση βροχόπτωση 1143 mm, την επιφάνεια της στέγης 2500 m² και 95% απόδοση:

$$1143 \times 2500 \times 0,09 \times 0,95 = 244316,25 \text{ L/έτος.}$$

Συγκρίνοντας αυτόν τον αριθμό με την χρήση νερού που κάνει το νοικοκυριό, θεωρώντας ότι χρησιμοποιούνται 183,27 L/ημέρα για ένα νοικοκυριό 4 ατόμων:

$$183,27 \times 4 \times 365 \text{ μέρες} = 267574,2 \text{ L/έτος.}$$

Επομένως, το νερό που συλλέχθηκε μπορεί να εφοδιάσει το 90% της ετήσιας ζήτησης νερού του νοικοκυριού. Αυτό μπορεί πιθανόν να καλύψει όλες τις ανάγκες νερού για μη-πόσιμη χρήση (LaBranche et al., 2007).

2.2. Ποιότητα Νερού

Η εκτίμηση του υγειονομικού κινδύνου των δεξαμενών βρόχινου νερού απαιτεί να εξεταστεί εάν υπάρχει κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία και εάν η δόση του επικίνδυνου υλικού είναι αρκετή για να προκαλέσει την ασθένεια. Τόσο η συγκέντρωση του κινδύνου όσο και ο βαθμός έκθεσης καθορίζουν και τη δόση (των επικίνδυνων χημικών ουσιών και παθογόνων μικροοργανισμών).

2.2.1. Κίνδυνοι

Η συλλογή και η αποθήκευση των όμβριων υδάτων εισάγει τη δυνατότητα για χημική, φυσική και μικροβιακή μόλυνση. Οι πιο συνήθεις κίνδυνοι σε πηγές νερού που προέρχονται από επιφανειακές λεκάνες απορροής παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένης και της στέγης, είναι παθογόνα μικρόβια προερχόμενα από περιπτώματα (εντερικά παθογόνα). Η χημική και φυσική ποιότητα του νερού της βροχής είναι σχετικά εύκολο να διατηρηθεί, αλλά η μικροβιακή ποιότητα είναι πιο δύσκολο να διαχειριστεί. Οι δεξαμενές όμβριων υδάτων μπορούν επίσης να αποδειχθούν επικίνδυνες για την υγεία παρέχοντας στα κουνούπια τόπο αναπαραγωγής.

Το βρόχινο νερό συλλέγεται και αποθηκεύεται σε δεξαμενές οικιακής χρήσης οι οποίες θα περιέχουν μια σειρά μικροοργανισμών από μία ή περισσότερες πηγές. Ενώ οι περισσότεροι μικροοργανισμοί θα είναι αβλαβείς, η ασφάλεια των όμβριων υδάτων θα εξαρτηθεί από τον αποκλεισμό ή την ελαχιστοποίηση της παρουσίας των εντερικών παθογόνων. Στα εντερικά παθογόνα περιλαμβάνονται τύποι βακτηρίων, ιών και πρωτόζωων. Αυτοί οι οργανισμοί δεν αναπτύσσονται και δεν επιβιώνουν επ' αόριστον σε υγρά περιβάλλοντα και εισάγονται στις παροχές πόσιμου νερού μέσω της μόλυνσης με περιττωματικό υλικό.

Οι περισσότερες οικιακές δεξαμενές όμβριων υδάτων είναι πάνω από το έδαφος και συλλέγουν την απορροή από τις στέγες μέσω των υδρορροών. Πιθανές πηγές των εντερικών παθογόνων είναι:

- Υλικά περιττωμάτων (κουτσουλίες) από πουλιά, σαύρες, ποντίκια, αρουραίους, κ.ά.

- Νεκρά ζώα και έντομα, είτε στις υδρορρόες είτε στην ίδια την δεξαμενή

Λιγότερο συχνά, το βρόχινο νερό συλλέγεται σε υπόγειες δεξαμενές. Εάν οι δεξαμενές αυτές δεν είναι πλήρως σφραγισμένες, τότε οι μικροοργανισμοί που σχετίζονται με τα ανθρώπινα και τα ζωικά περιπτώματα μπορούν επίσης να μολύνουν το αποθηκευμένο νερό της βροχής (Australian Government, 2004).

Η είσοδος μικρών ζώων και πουλιών σε δεξαμενές όμβριων υδάτων μπορεί να οδηγήσει σε άμεση μόλυνση από περιπτώματα, ακόμη και αν τα ζώα ξεφύγουν από την δεξαμενή. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα ζώα παγιδεύονται στις δεξαμενές και πνίγονται, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε πολύ υψηλά επίπεδα μόλυνσης. Στην περίπτωση των μεγαλύτερων ζώων όπως οι γάτες, θα υπάρχει σίγουρα μια χαρακτηριστική επίδραση στην γεύση και στην οσμή του νερού (Australian Government, 2004).

Οι δεξαμενές όμβριων υδάτων μπορούν να αποτελέσουν άριστες συνθήκες για την αναπαραγωγή κουνουπιών. Ιδιαίτερη ανησυχία προκαλούν τα είδη κουνουπιών που μπορεί να είναι φορείς του ιού του δάγκειου, τα οποία εμφανίζονται στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές του κόσμου. Οι δεξαμενές όμβριων υδάτων έχουν αναγνωριστεί ως πιθανοί τόποι αναπαραγωγής των φορέων του ιού του δάγκειου πυρετού και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) συνιστά όλες οι δεξαμενές να έχουν συσκευές για την αποτροπή των ενήλικων κουνουπιών να εισέλθουν (ΠΟΥ 1997).

Οι πηγές κινδύνων από χημικές ουσίες μπορούν να χωριστούν σε δύο τύπους:

- Εκείνες που προκύπτουν πέρα από τον έλεγχο του ιδιοκτήτη/κατοίκου, συμπεριλαμβανομένων της αστικής κυκλοφορίας, τις βιομηχανικές εκπομπές ρύπων και τις κακές γεωργικές πρακτικές (π.χ. το νέφος από τον ψεκασμό φυτοφαρμάκων). Στις αστικές περιοχές, η πιθανή ρύπανση από τον μόλυβδο έχει προσελκύσει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, λόγω της σχετικά κοινής χρήσης του, ενώ στις αγροτικές περιοχές, η ρύπανση από φυτοφάρμακα είναι το μείζον θέμα.
- Εκείνες που προκύπτουν από λόγους άμεσης γεινίασης με την δεξαμενή και μπορούν να ελεγχθούν από τον ιδιοκτήτη/κάτοικο. Οι

πηγές αυτές περιλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά της στέγης, τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή της οροφής, των υδρορροών, της δεξαμενής και των σωληνώσεων, κ.λ.π. (Australian Government, 2004)

Οι πυρκαγιές παράγουν μεγάλες ποσότητες καπνού, στάχτης και σκουπιδιών που μπορούν να εγκατασταθούν στην λεκάνη απορροή της στέγης. Επιπλέον, οι αφροί της πυρόσβεσης μπορούν να εναποτίθενται στις στέγες. Αυτά τα υλικά μπορούν να βρεθούν στην δεξαμενή είτε όταν το νερό εφαρμόζεται στην οροφή για την προστασία από πυρκαγιά, είτε όταν βρέχει μετά από μια δασική πυρκαγιά. Παρά το γεγονός ότι η παρουσία της τέφρας και των υπολειμμάτων της πυρκαγιάς στο νερό της βροχής δεν αποτελεί κίνδυνο για την υγεία, θα μπορούσε να επηρεάσει το χρώμα, την θολότητα και την γεύση. Οι συνιστώμενες συγκεντρώσεις από τους κοινώς χρησιμοποιούμενους πυροσβεστήρες δεν πρέπει να αποτελούν κίνδυνο για την υγεία, αλλά μπορεί να επηρεάσουν την γεύση του νερού, αν βρεθούν μέσα στην δεξαμενή (Australian Government, 2004).

Η χρήση φυτοφαρμάκων και πιθανής παρέκκλισής τους από τις γεωργικές περιοχές έχει αποτελέσει αντικείμενο αυξανόμενης συζήτησης, και ένα από τα ζητήματα που συνήθως θίγεται είναι η πιθανή ρύπανση των στεγών που χρησιμοποιούνται ως λεκάνες απορροής για δεξαμενές όμβριων υδάτων.

Επίσης, κατά γενικό κανόνα, οι λεκάνες απορροής της στεγών θα πρέπει να βρίσκονται μακριά από κλαδιά δέντρων και βλάστησης, και τα φίλτρα φύλλων προστατεύουν την είσοδο στις δεξαμενές όμβριων υδάτων. Αυτές οι πρακτικές θα ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο από τα φυτά (Australian Government, 2004).

Η απουσία διακριτών γεύσεων και οσμών είναι ένα χαρακτηριστικό καλής ποιότητας των όμβριων υδάτων, αλλά υπάρχει μια σειρά από παράγοντες ή/και προϋποθέσεις που μπορούν να προκαλέσουν επιδείνωση των χαρακτηριστικών αυτών κατά την συλλογή και την αποθήκευσή τους. Πέρα από τα νεκρά ζώα, οι κύριες πηγές γεύσεων και οσμών είναι:

- Ιζήματα και αποθέσεις στο κάτω μέρος των δεξαμενών ή των σωληνώσεων που μπορούν να κρατήσουν στάσιμο νερό
- Χώμα και σάπια βλάστηση που συσσωρεύονται στις υδρορρόες

- Ανάπτυξη φυκιών στις σωληνώσεις ή στις ανοικτές δεξαμενές
- Γύρη

Οσμές από ιζήματα και αποθέσεις είναι τα πιο συχνά αναφερόμενα. Ιζήματα μπορούν να συσσωρεύονται στον πυθμένα των δεξαμενών που δεν καθαρίζονται αρκετά συχνά. Σε ζεστές καιρικές συνθήκες, αναερόβιες συνθήκες μπορούν να αναπτυχθούν, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη μικροοργανισμών που παράγουν σουλφίδια, με μια διακριτή μυρωδιά αυγού.

Οι σωληνώσεις μπορούν επίσης να είναι πηγές περίεργων γεύσεων και οσμών, ιδίως όταν στάσιμο νερό εναπομένει σε αυτές. Σε τέτοια περιβάλλοντα, αναερόβια βλάστηση μπορεί να αναπτυχθεί, οδηγώντας στην παραγωγή σουλφιδίων (Australian Government, 2004).

Σάπια βλάστηση και χώμα που συσσωρεύονται στις υδρορρόες μπορούν επίσης να απελευθερώσουν γεύσεις και οσμές στο νερό, ιδιαίτερα αν οι υδρορρόες δεν διατηρούνται καθαροί και δεν στραγγίζονται πλήρως μεταξύ των γεγονότων βροχής.

Οι ανοικτές δεξαμενές είναι αρκετά ασυνήθιστες, αλλά η έκθεση των αποθηκευμένων όμβριων υδάτων στο φως θα οδηγήσει σε ανάπτυξη φυκιών. Τα περισσότερα φύκια δεν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου, αλλά η ανάπτυξή τους μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την γεύση, την οσμή και την εμφάνιση του νερού της βροχής. Σωληνώσεις που δεν είναι αδιαπέραστες από το φως μπορούν επίσης να αναπτύξουν άλγη (Australian Government, 2004).

Μερικά είδη γύρης δημιουργούν πολύ διακριτές γεύσεις και οσμές και αν επιτρέπεται η συσσώρευσή τους στις λεκάνες απορροής της στέγης ή στις υδρορρόες, μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα των αποθηκευμένων όμβριων υδάτων.

Οι τακτικές χημικές ή μικροβιολογικές δοκιμές των οικιακών δεξαμενών βρόχινου νερού δεν είναι απαραίτητες, αλλά το νερό της βροχής που χρησιμοποιείται για εμπορικούς σκοπούς ή για την κοινότητα απαιτεί δοκιμές για να εξακριβωθεί η καταλληλότητα για πόση. Ο μικροβιακός έλεγχος του νερού της βροχής των οικιακών δεξαμενών σπάνια είναι απαραίτητη και στις περισσότερες περιπτώσεις δεν συνιστάται. Οι δοκιμές για συγκεκριμένα παθογόνα είναι συχνά ακριβές και γίνεται μόνο ως μέρος μιας έρευνας. Αν

υπάρχουν σοβαρές ανησυχίες σχετικά με την ποιότητα των υδάτων, η χλωρίωση του νερού στην δεξαμενή θα μπορούσε να είναι μια κατάλληλη εναλλακτική λύση αντί των δοκιμών (Australian Government, 2004).

Οι χημικές δοκιμές θα πρέπει να απαιτούνται μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις, όπως σε συγκεκριμένους τομείς όπου υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με τις επιπτώσεις μεγάλων βιομηχανικών ή γεωργικών εκπομπών. Υπό τις συνθήκες αυτές οι χημικές ουσίες που προκαλούν ανησυχία πρέπει να προσδιοριστούν πριν από τον έλεγχο αλλιώς μεγάλη κόστη μπορεί να προκύψουν με περιορισμένη πιθανότητα επιτυχούς ανίχνευσής τους.

Σε περίπτωση ανάγκης διεξαγωγής δοκιμών και αναλύσεων, θα πρέπει να γίνει προσφυγή σε τοπικές υγειονομικές αρχές. Όταν ο έλεγχος εκτελείται, τα αποτελέσματα θα πρέπει να συγκρίνονται με τις τιμές που περιέχονται από τις κατευθυντήριες γραμμές της Ελληνικής Κυβέρνησης σχετικά με το πόσιμο νερό (Australian Government, 2004).

2.2.2. Πρόληψη και επιδιορθωτικά μέτρα

Οι υγειονομικοί και αισθητικοί κίνδυνοι σχετικά με το βρόχινο νερό που συλλέγεται στις δεξαμενές μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με λογικές διαδικασίες προληπτικής διαχείρισης. Οι πιθανές εξαιρέσεις είναι οι επιπτώσεις των αστικών και βιομηχανικών εκπομπών σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Μερικά από τα προληπτικά μέτρα σχετίζονται με τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση, ενώ άλλοι συνδέονται με την συνεχή συντήρηση. Τα καλά σχεδιασμένα συστήματα απαιτούν λιγότερη συντήρηση.

Τα προληπτικά μέτρα για την μείωση της μόλυνσης από δυνητικά επιβλαβείς μικροοργανισμούς στηρίζεται στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των απορριμάτων. Αυτά πρέπει να περιλαμβάνουν:

- Οι λεκάνες απορροής της στέγης να είναι μακριά από προεξέχοντα κλαδιά, καθώς αυτά αποτελούν σημεία πρόσβασης για τα πουλιά και τα μικρά ζώα, όπως οι γάτες.
- Να εμποδίζεται η πρόσβαση μικρών ζώων και πουλιών στις δεξαμενές με έλεγχο όλων των εισόδων της δεξαμενής και των υπερχειλιστών,

κρατώντας κλειστές τις εισόδους πρόσβασης και την διατήρηση της ακεραιότητας της στέγης της δεξαμενής.

- Να αποφεύγεται η είσοδος της επιφανειακής απορροής από περιοχές πέρα της λεκάνης απορροής της στέγης για δεξαμενές που βρίσκονται κάτω από το έδαφος. Οι στέγες πρέπει να είναι ασφαλείς και οι πλευρές και το κάτω μέρος των δεξαμενών θα πρέπει να σφραγίζονται για να αποφεύγεται η διείσδυση.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι απολυμάνσεως του νερού της βροχής. Οι Αυστραλοί χρησιμοποιούν τις μεθόδους της χλωρίωσης, της υπεριώδους ακτινοβολίας και του βρασμού (Australian Government, 2004). Στην Αμερική, στην Βιρτζίνια συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι της χλωρίωσης, της υπεριώδους ακτινοβολίας, της αντίστροφης όσμωσης και της οζόνωσης. Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης αφαιρεί τις περισσότερες προσμίξεις αλλά είναι ακριβή διαδικασία, σπαταλάει νερό και είναι πιθανόν να φράξει η δεξαμενή.

Η οζόνωση δεν αφήνει μυρωδιές ή περίεργες γεύσεις και δεν απαιτεί την χρήση χημικών αλλά είναι επίσης ακριβή μέθοδος και απαιτεί ηλεκτρισμό (LaBranche et al., 2007).

Η τακτική χλωρίωση του νερού της βροχής στις οικιακές δεξαμενές δεν θεωρείται απαραίτητη στις περισσότερες περιπτώσεις και γενικά συνίσταται μόνο ως διορθωτικό μέτρο. Η αποτελεσματικότητα του χλωρίου είναι βραχύβια και θα δράσει μόνο στο νερό της δεξαμενής κατά την στιγμή της χορήγησης. Η πρώτη ποσότητα νερού μετά την χλωρίωση θα πρέπει πιθανώς να απολυμαίνεται. Το χλώριο δεν θα κάνει το νερό ακατάλληλο για πόση, αλλά θα του δώσει μια ξεχωριστή γεύση και οσμή η οποία θα διαλυθεί σε 10 έως 14 ημέρες (ανάλογα με την θερμοκρασία). Βράζοντας το νερό θα αφαιρεθεί το μεγαλύτερο μέρος της γεύσης και της οσμής που συνδέεται με την χλωρίωση.

Η υπεριώδης (UV) ακτινοβολία φωτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή συνεχούς διασφάλισης της ποιότητας του νερού. Τα συστήματα υπεριώδους φωτός απαιτούν σχετικά χαμηλό κόστος συντήρησης και έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν συνεπάγεται την προσθήκη χημικών ουσιών. Το υπεριώδες φως μπορεί να εγκατασταθεί στις σωληνώσεις παροχής νερού από την δεξαμενή στην κατοικία ή επιλεκτικά σε βρύσες που

χρησιμοποιούνται για την παροχή νερού για πόση και παρασκευή τροφίμων. Εάν χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος, είναι σημαντικό να εγκατασταθεί ένα σύστημα με αισθητήρα που υποδεικνύει πότε η συσκευή είναι σε λειτουργία. Οι λάμπες υπεριώδους φωτός έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής και οι περισσότερες πρέπει να αντικατασταθούν μετά από 9 έως 12 μήνες.

Ο βρασμός μπορεί να απολυμάνει το νερό της βροχής. Δεν χρειάζεται να διατηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα (αυτόματοι βραστήρες είναι κατάλληλοι για τον σκοπό αυτό). Το βραστό νερό θα σκοτώσει όλα τα επιβλαβή βακτήρια, ιούς ή πρωτόζωα. Το νερό μπορεί στην συνέχεια να ψύχεται και να αποθηκεύεται σε καθαρό δοχείο. Ενώ το βρόχινο νερό θεωρητικά είναι ασφαλές για τους περισσότερους ανθρώπους να το πιουν, μερικές φορές η μικροβιακή ποιότητα δεν μπορεί να είναι τόσο καλή όπως με την παροχή νερού μέσω δικτύου ύδρευσης. Άνθρωποι με χαμηλό ανοσοποιητικό σύστημα, όπως μικρά παιδιά ή ηλικιωμένοι, ασθενείς με καρκίνο, άτομα με διαβήτη, μεταμοσχευμένοι ή θετικοί στον ιό HIV, θα πρέπει να βράσουν το νερό πριν την κατανάλωση.

Αν μια δεξαμενή νερού έχει μολυνθεί από νεκρό ζώο, όπως πουλί ή τρωκτικό, συνιστάται η δεξαμενή να αποστραγγιστεί και να καθαρίζεται το ταχύτερο δυνατό. Αν το ζώο είναι μεγάλο, όπως μια γάτα, οι επιπτώσεις στην οσμή και την γεύση θα είναι ισχυρή και διακριτή. Αν δεν είναι δυνατόν να στραγγιχτεί και να καθαριστεί η δεξαμενή αμέσως, πρέπει να αφαιρείται όσο το δυνατόν περισσότερο από το πτώμα του ζώου και στην συνέχεια να γίνεται χλωρίωση της δεξαμενής. Το σημείο εισόδου του ζώου θα πρέπει να εντοπιστεί και να σφραγιστεί.

Αν βρεθούν έντομα ή κουνούπια σε δεξαμενές όμβριων υδάτων, το σημείο εισόδου θα πρέπει να επισκευαστεί και να σφραγιστεί. Οι υδρορρόες θα πρέπει να ελέγχονται για να διασφαλιστεί ότι δεν περιέχουν νερό και να καθαρίζονται, αν είναι απαραίτητο. Η κοινώς αναγνωρισμένη θεραπεία για την εξόντωση προνύμφων κουνουπιών είναι η προσθήκη χημικών ουσιών στις δεξαμενές, κάτι που αναιρεί ένα από τα πλεονεκτήματα της συλλογής όμβριων υδάτων.

Η τέφρα και τα υπολείμματά της που εναποτίθενται στην στέγη θα πρέπει να αφαιρεθεί και δεν θα πρέπει να συλλέγεται η πρώτη δόση του νερού μετά από μια δασική πυρκαγιά. Αν έχει βρεθεί σε δεξαμενή σε επαρκείς ποσότητες για

να επηρεάσουν τη γεύση ή την εμφάνιση του νερού, η δεξαμενή θα πρέπει να αποστραγγίζεται και να καθαρίζεται, ή, εναλλακτικά, το νερό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μη πόσιμους σκοπούς (Australian Government, 2004).

2.2.3. Νομοθεσία για την ποιότητα του νερού

Η προστασία της ποιότητας των υδατικών πόρων της Ευρώπης αποτελεί βασική προτεραιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) από τότε που άρχισε να εκδίδει νομοθετικές πράξεις στον τομέα της προστασίας του περιβάλλοντος. Οι πρώτες οδηγίες, οι οποίες εγκρίθηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 1970, θέσπισαν σειρά από πρότυπα ποιότητας που στόχευαν στην προστασία της υγείας των ανθρώπων και του περιβάλλοντος διαβίωσής τους, συμπεριλαμβανομένων των επιφανειακών υδάτων που χρησιμοποιούνται για πόσιμο νερό, των υδάτων κολύμβησης, των υδάτων αλιείας, των υδάτων οστρακοκαλλιεργειών, των υπόγειων υδάτων και των υδάτων για ανθρώπινη κατανάλωση.

Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία, το υπάρχον Θεσμικό Πλαίσιο για την ποιότητα του πόσιμου νερού περιλαμβάνει τις ακόλουθες διατάξεις:

- ✓ Την ΚΥΑ Υ2/2600/2001 (ΦΕΚ 892/Β'/11-07-2001) «Περί ποιότητας νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» σε εναρμόνιση οδηγίας 98/83/ΕΚ η οποία είναι αναθεώρηση της 80/778/ΕΟΚ σχετικά με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του πόσιμου νερού, τη συχνότητα των δειγματοληψιών και τις υποχρεώσεις των υπευθύνων.
- ✓ Την Γ3α/761/68 Υγ. Διάταξη, όπως έχει τροποποιηθεί (ΦΕΚ 189/68 Β, 988/74 Β) που περιλαμβάνει συμπληρωματικές διατάξεις για τους υπεύθυνους ύδρευσης του νερού, καθώς και τις υποχρεώσεις τους.
- ✓ Την ΥΜ/5673/57 (ΦΕΚ 5/58 Β) Υγ. Διαταξη, που αναφέρεται στις μεθόδους απολύμανσης του νερού ύδρευσης.
- ✓ Την Ε1β/221/65 (ΦΕΚ 138/τ.β/24-2-65) Υγ. Διάταξη, στην οποία προβλέπονται αποστάσεις ασφαλείας των πηγών υδροληψίας από χώρους διάθεσης λυμάτων. Υπενθυμίζεται επίσης ότι η παράγραφος 1.1 του άρθρου 4 της Ε1β/221/65 Υγειονομικής Διάταξης έχει καταργηθεί, καθόσον ισχύουν τα προβλεπόμενα στην 46399/1352/86 (ΦΕΚ 438Β) Κοινή Υπουργική Απόφαση, με την οποία καθορίζονται

τρεις κατηγορίες επιφανειακών νερών, που προορίζονται για πόση (A1,A2,A3) και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους σε συνδυασμό με την αντίστοιχη απαιτούμενη ελάχιστη επεξεργασία.

- ✓ Τα άρθρα 8 έως 17 του Υγειονομικού Κανονισμού, που αναφέρονται σε μέτρα προστασίας πηγών υδροληψίας και συστημάτων ύδρευσης.

Σύμφωνα με την ΚΥΑ Υ2/2600/2001 προσδιορίζονται στους πίνακες των παραρτημάτων οι παράμετροι και οι παραμετρικές τιμές που πρέπει να τηρούνται για την διασφάλιση της ποιότητας του νερού που προσδιορίζεται για πόση. Επίσης προσδιορίζονται οι αρμόδιες υπηρεσίες σχετικά με τον έλεγχο του νερού καθώς και οι έλεγχοι/συντηρήσεις που απαιτούνται.

2.3. Χρήσεις Βρόχινου Νερού

Το βρόχινο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μη πόσιμους και για πόσιμους σκοπούς. Πολλά νοικοκυριά ή επιχειρήσεις χρησιμοποιούν πόσιμο νερό για μη πόσιμες ανάγκες. Η πλειοψηφία των αναγκών είναι μη πόσιμες. Οι μη πόσιμες ανάγκες είναι:

- Πύργοι ψύξης
- Καταστολή πυρκαγιάς
- Οικιακός καθαρισμός
- Βιομηχανικές ανάγκες
- Αρδευτικοί λόγοι
- Πλύσιμο ρούχων
- Γέμισμα πισίνας
- Τουαλέτα
- Πλύσιμο οχήματος

Οι πόσιμες ανάγκες απαιτούν:

- Πόση/κατανάλωση
- Μαγειρική
- Μπάνιο
- Πλύσιμο πιάτων

Τα οικιακά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν για πόσιμες και μη πόσιμες ανάγκες. Προτείνεται ότι αν το πόσιμο νερό είναι διαθέσιμο, το βρόχινο νερό

να χρησιμοποιείται αποκλειστικά για μη πόσιμες ανάγκες, όπως καζανάκι τουαλέτας, πλύσιμο ρούχων και αρδευτικούς λόγους. Το υδραυλικό σύστημα για πόσιμο και για μη πόσιμο νερό θα πρέπει να είναι ξεχωριστά.

Η συλλογή των όμβριων υδάτων μπορεί να χρησιμεύσει ως μια εναλλακτική πηγή νερού για τις αγροτικές κατοικίες όπου το δημοτικό νερό δεν είναι διαθέσιμο και η γεώτρηση δεν είναι εφικτή. Το νερό της βροχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμπλήρωμα στις δημοτικές παροχές νερού για τη μείωση της ζήτησης για τις εν λόγω προμήθειες με σκοπό να εξυπηρετήσει τις ανάγκες μη πόσιμου νερού μέσα και γύρω από την οικία.

Τα εμπορικά (ή μεγάλα οικιακά) συστήματα συλλογής βρόχινου νερού μπορούν επίσης να παρέχουν νερό τόσο για πόσιμες όσο και για μη πόσιμες ανάγκες. Βέβαια οι ανάγκες για ένα εμπορικό κτήριο είναι διαφορετικές από αυτές μίας κατοικίας. Πολλά εμπορικά ή μεγάλα κτήρια κατοικιών προτιμούν την χρήση του βρόχινου νερού για το καζανάκι της τουαλέτας, ειδικά σε κτήρια με υψηλή επισκεψιμότητα πελατών. Το νερό της βροχής είναι επίσης χρήσιμο και για σκοπούς καθαρισμού, καθώς απαιτείται λιγότερη χρήση απορρυπαντικού.

Η συλλογή όμβριων υδάτων είναι επίσης ιδανική για την αγροτική ζωή, δηλαδή προσφέροντας πόσιμο νερό στα ζώα και στην άρδευση, καθώς δεν περιέχει αλάτι, συλλέγεται εύκολα και μειώνει την εξάντληση των υπόγειων υδάτων και την άντληση από τα τοπικά ρεύματα. Αν το νερό της βροχής συλλεχθεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το πότισμα των ζώων, το πλύσιμο των εγκαταστάσεων και των ζώων. Τέλος, μπορεί να μειωθεί η ποσότητα των λυμάτων που δημιουργούνται, καθώς και η ζήτηση σε φρεάτια και άλλα μέσα προμήθειας νερού.

Επίσης προσφέρονται εναλλακτικές λύσεις στις δημοτικές παροχές νερού για την καταστολή πυρκαγιάς. Το νερό της βροχής μπορεί να κατευθύνεται προς το εσωτερικό σύστημα ψεκαστήρων και να χρησιμοποιηθεί για την κατάσβεση πυρκαγιάς σε κτήριο.

Μια άλλη εναλλακτική λύση είναι η συλλογή του βρόχινου νερού για πυροσβεστικούς κρουσμούς. Αυτό αποτρέπει την εξάρτηση από το πόσιμο νερό για την κατάσβεση πυρκαγιάς και μπορεί να μειώσει το κόστος της σύνδεσης, ιδίως σε περιοχές έξω από το κύριο δίκτυο διανομής νερού (LaBranche et al., 2007).

Τα συστήματα συλλογής βρόχινου νερού μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με την αξιοπιστία τους, έχοντας τέσσερις τύπους χρήσης:

- Περιστασιακά – το νερό αποθηκεύεται μόνο για λίγες μέρες σε ένα μικρό δοχείο. Αυτό είναι κατάλληλο όταν υπάρχει ένα ενιαίο μοτίβο βροχής με πολύ λίγες ημέρες χωρίς βροχή και όταν μια αξιόπιστη εναλλακτική πηγή νερού είναι διαθέσιμη.
- Διακεκομμένα – σε περιπτώσεις με μια μακράς διάρκειας βρόχινη περίοδο όπου όλες οι απαιτήσεις σε νερό καλύπτονται από τα όμβρια ύδατα. Κατά την διάρκεια άνομβρης περιόδου το νερό συλλέγεται από άλλες πηγές.
- Μερικά – το βρόχινο νερό χρησιμοποιείται όλο τον χρόνο, αλλά η συλλογή δεν αρκεί για όλες τις οικιακές ανάγκες. Για παράδειγμα το νερό της βροχής χρησιμοποιείται για πόση και μαγείρεμα, ενώ για άλλες οικιακές χρήσεις (π.χ. μπάνιο και πλύσιμο πιάτων) χρησιμοποιούνται άλλες πηγές.
- Πλήρη – στο σύνολο του έτους, όλο το νερό για οικιακή χρήση προέρχεται από το νερό της βροχής. Σε τέτοιες περιπτώσεις, συνήθως δεν υπάρχει εναλλακτική πηγή νερού και θα πρέπει να γίνει σωστή διαχείριση του διαθέσιμου νερού, με αρκετό απόθεμα για την άνομβρη περίοδο.

Το είδος χρήσης θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από πολλές μεταβλητές, συμπεριλαμβανομένης της ποσότητας των βροχοπτώσεων και το μοτίβο, την διαθέσιμη λεκάνη απορροής και την χωρητικότητα αποθήκευσης, την ημερήσια τιμή κατανάλωσης, τον αριθμό των χρηστών, το κόστος και τις προσιτές τιμές, καθώς και την παρουσία των εναλλακτικών πηγών νερού (Gould and Nissen-Petersen, 1999).

2.4. Τεχνικά Στοιχεία

Ακολουθώντας τα γερμανικά πρότυπα για τον σχεδιασμό συλλογής βρόχινου νερού, αυτή η ενότητα περιγράφει λεπτομερώς τις διάφορες συνιστώσες που είναι αναγκαίες για τη συλλογή βρόχινου νερού.

2.4.1. Υδραυλικά

Κατά την χρήση τόσο των όμβριων υδάτων όσο και των δημόσιων παροχών νερού, μπορεί να υπάρχουν φορές που το βρόχινο νερό στην δεξαμενή έχει εξαντληθεί και, ως εκ τούτου, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το τοπικό δίκτυο παροχής νερού για χρήση και για μη πόσιμες ανάγκες. Για να εξασφαλιστεί η αποφυγή διασταύρωσης των συστημάτων, πρέπει να εγκατασταθούν ξεχωριστά υδραυλικά συστήματα τόσο για το πόσιμο όσο και για το μη πόσιμο νερό. Οι σωλήνες για το πόσιμο και το μη πόσιμο νερό μπορούν να διαχωριστούν με διαφορετικό χρώμα και όλα τα υδραυλικά μη πόσιμου νερού θα πρέπει να επισημαίνονται ως τέτοια (LaBranche et al., 2007).

2.4.2. Δεξαμενές

Οι δεξαμενές είναι το πιο ακριβό εξάρτημα του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων. Ωστόσο αποτελούν και το πιο σημαντικό μέρος του συστήματος, καθώς η παροχή του νερού εξαρτάται από μια πλήρως λειτουργική δεξαμενή. Τα διαφορετικά υλικά κατασκευής της δεξαμενής διαφέρουν ανάλογα με την τοπική διαθεσιμότητα και το κλίμα.



Εικόνα 2.1. Υπόγεια δεξαμενή.

Οι δεξαμενές μπορούν να τοποθετηθούν είτε πάνω είτε κάτω από το έδαφος. Η τοποθεσία της δεξαμενής εξαρτάται από την αισθητική, το κλίμα και τις συνθήκες του εδάφους. Μερικοί προτιμούν να μην είναι ορατή η δεξαμενή αποθήκευσης και την βάζουν υπογείως. Ωστόσο η τοποθέτηση δεξαμενών υπογείως έχει μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης και μπορεί να μην είναι εφικτή σε περιοχές με βραχώδες έδαφος. Όταν οι δεξαμενές εγκαθίστανται κάτω από το έδαφος, το νερό διατηρείται σε μια δροσερή θερμοκρασία και δεν είναι προσπελάσιμο από το φως, μειώνοντας έτσι τις πιθανότητες βακτηριακής ανάπτυξης. Επίσης, κάποιες δεξαμενές δεν είναι κατάλληλες για ορισμένες κλιματικές ζώνες. Για παράδειγμα δεξαμενές από ξύλο δεν συνιστώνται για τις καυτές και ξηρές περιοχές.

Ο Πίνακας 2 περιγράφει διαθέσιμα υλικά δεξαμενής και αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους (Texas Water Development Board, 2005, Pushard, 2007).

Πίνακας 2: Σύγκριση Υλικών Δεξαμενής

Υλικό Δεξαμενής	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πλαστικό		
<i>Υαλοβάμβακας</i>	Εμπορικώς διαθέσιμο Μεταβάλλεται εύκολα και μετακινείται Ελάχιστη συντήρηση ελαφρύ	Πρέπει να τοποθετείται σε λείες, στερεές και επίπεδες βάσεις
<i>Πολυαιθυλένιο</i>	Εμπορικώς διαθέσιμο Μεταβάλλεται και μετακινείται εύκολα, οικονομικό, διαθέσιμο σε ποικίλα μεγέθη Εγκατάσταση πάνω ή κάτω από το έδαφος Ελάχιστη συντήρηση	Διασπώμενο από την υπεριώδη (UV) ακτινοβολία Πρέπει να είναι βαμμένο ή φιμέ
<i>Κάδος (20-50 λίτρων)</i>	Εμπορικώς διαθέσιμο Οικονομικό	Πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο τα καινούρια Μικρές δυνατότητες αποθήκευσης

Μέταλλο		
<i>Γαλβανισμένος χάλυβας</i>	Εμπορικώς διαθέσιμος Μεταβάλλεται και μετακινείται εύκολα Διαθέσιμος σε ποικίλα μεγέθη Τοποθετε ταινία εσωτερικά για πρόληψη από την διάβρωση	Ενδεχόμενη διάβρωση και σκουριά Πρέπει να είναι επενδεδυμένος για πόσιμη χρήση Μόνο πάνω από το έδαφος
<i>Χαλύβδινα βαρέλια (55 λίτρων)</i>	Εμπορικώς διαθέσιμα Μεταβάλλονται και μετακινούνται εύκολα	Έλεγχος πριν από την χρήση για τοξικές ουσίες Επιρρεπή στην διάβρωση και την σκουριά Μικρές δυνατότητες αποθήκευσης
Σκυρόδεμα		
<i>Μπετόν Αρμέ</i>	Ανθεκτικό και δύσκολο στην μεταφορά Εγκατάσταση κάτω ή πάνω από το έδαφος	Δυνατότητα να ραγίσει και να γίνει διαρροή Ουδετεροποιεί την όξινη βροχή
<i>Πέτρα, μπλοκ σκυροδέματος</i>	Ανθεκτικό και δυσκίνητο Διατηρείται δροσερό το νερό σε θερμά κλίματα	Δύσκολο να διατηρηθεί Ακριβή κατασκευή
Ξύλο		
<i>Ερυθρά ξυλεία, κέδρος, κυπαρίσσι, πεύκο</i>	Ελκυστικό, ανθεκτικό Περιέχει φυσικό συντηρητικό Μπορεί να αποσυναρμολογηθεί για να μετακινηθεί Διαθέσιμο σε ποικίλα μεγέθη	Ακριβό Κατασκευάζεται από ειδικευμένους τεχνικούς Όχι για χρήση σε θερμά και ξηρά μέρη Μόνο πάνω από το έδαφος

Όποιο υλικό χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να συνάδει και να τηρεί τους κανόνες νομοθεσίας περί υγιεινής, ιδιαίτερα στην περίπτωση της πόσης.

2.4.3. Στέγη απορροής

Η λεκάνη απορροής ενός συστήματος συλλογής νερού είναι η επιφάνεια που δέχεται τις βροχοπτώσεις άμεσα και αποστραγγίζει το νερό στο σύστημα. Οι στέγες μπορούν να κατασκευαστούν από μια ποικιλία υλικών όπως το τσιμέντο ή τα κεραμίδια τερακότα, το γαλβανισμένο σίδηρο, ο αμίαντος, ο υαλοβάμβακας ή ο σχιστόλιθος. Όλα αυτά θα πρέπει να είναι κατάλληλα για την συλλογή των όμβριων υδάτων.

Ο μόλυβδος θεωρείται ως μια πιθανή πηγή ρύπανσης των συλλεγόμενων όμβριων υδάτων, αλλά υπάρχουν λίγα στοιχεία που να το υποστηρίζουν. Η απόπλυση του μολύβδου στις στέγες απορροής μπορεί να είναι πρόβλημα που προέρχεται από κακοσυντηρημένες στέγες και υδρορρόες. Οι συγκεντρώσεις μολύβδου που συνδέονται με την χρήση γαλβανισμένου σιδήρου στην οροφή ήταν εμφανείς σε δύο έρευνες (Victorian Department of Natural Resources and Environment, 1997, Fuller et al., 1981).

Σχετικά με τις μπογιές στις στέγες, πριν από την αγορά υλικών ή χρωμάτων, πρέπει να τηρούνται οι συστάσεις του κατασκευαστή στις ετικέτες και στα φυλλάδια. Οι τρεις τύποι των χρωμάτων και των επιχρισμάτων είναι:

- Βαφές με βάση τον μόλυβδο – οι συγκεντρώσεις του μολύβδου στα χρώματα έχουν μειωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, αλλά θα πρέπει ακόμα να ληφθεί μέριμνα ώστε να διασφαλιστεί ότι τα χρώματα που χρησιμοποιούνται είναι κατάλληλα για χρήση σε συνδυασμό με την συλλογή του βρόχινου νερού για ανθρώπινη κατανάλωση.
- Ακρυλικό χρώμα – θα εκλύσει διαλυμένες χημικές ενώσεις κατά την πρώτη χρήση μετά την βαφή και αυτό το νερό δεν θα πρέπει να συλλέγεται.
- Υλικά με βάση την πίσσα – γενικά δεν συνιστώνται, καθώς μπορεί να εκλυθούν επικίνδυνες ουσίες ή να προκληθούν διαφορές στην γεύση (Australian Government, 2004).

2.4.4. Σύστημα μεταφοράς

Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει υδρορρόες, σωληνώσεις και σωλήνες επιστροφής και είναι υπεύθυνο για την μεταφορά των όμβριων υδάτων από την στέγη στο φίλτρο πριν φτάσουν στην δεξαμενή αποθήκευσης.

Οι υδρορρόες μετακινούν τα όμβρια ύδατα από την επιφάνεια της στέγης στις σωληνώσεις. Ως εκ τούτου, είναι αναπόσπαστο μέρος του συστήματος για την μεταφορά του νερού αποδοτικά και αποτελεσματικά. Δεν απαιτούνται ειδικά σχεδιασμένα συστήματα για την συλλογή βρόχινου νερού. Θα πρέπει να έχουν κλίση για να διασφαλιστεί ότι όλο το νερό τρέχει έξω και η υδρορρόη αφήνεται να στεγνώσει μεταξύ των γεγονότων βροχόπτωσης για την πρόληψη της αναπαραγωγής κουνουπιών και βακτηριακής ανάπτυξης.

Το σύστημα θα πρέπει να παραμένει καθαρό από σκουπίδια συνέχεια ώστε να εξασφαλίζεται ότι το νερό κινείται ελεύθερα από την επιφάνεια της στέγης στην δεξαμενή. Η εγκατάσταση κλειστών υδρορροών ή η προσθήκη προφυλακτήρων στις υπάρχουσες υδρορρόες είναι ιδανικό για να αποτρέψει τα σκουπίδια να συσσωρευτούν και να φράξουν την πορεία του νερού (LaBranche et al., 2007).

2.4.5. Φίλτρα

Στόχος του φίλτρου είναι όχι μόνο η εξάλειψη των μολυσματικών παραγόντων, αλλά επίσης και η παροχή οξυγόνου στο νερό κατά την διάρκεια του φιλτραρίσματος. Ένα προηγμένο φίλτρο δεν περιορίζει την διάμετρο της υδρορρόης και τοποθετείται είτε κάθετα συνδεδεμένο με το σύστημα της υδρορρόης είτε οριζόντια συνδεδεμένο με την σωλήνωση.

Τα σύγχρονα φίλτρα απαιτούν εξαιρετικά μικρή συντήρηση και μπορεί να συλλεχθεί αποτελεσματικά το 90% του διηθημένου νερού. Για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητά του, το φίλτρο πρέπει να συνδυάζεται με την κατάλληλη επιφάνεια στέγης. Επίσης, χρησιμοποιώντας φίλτρα υψηλής ποιότητας διασφαλίζεται ότι το νερό φιλτράρεται, οξυγονώνεται και οδηγείται στην δεξαμενή αποθήκευσης επαρκώς.

Ακόμα και σε γεγονότα υψηλών βροχοπτώσεων, τα φίλτρα θα πρέπει να είναι αποτελεσματικά κατά το φιλτράρισμα του νερού και να διοχετεύεται όσο το

δυνατόν περισσότερο νερό στην δεξαμενή. Ως εκ τούτου, τα φίλτρα θα πρέπει να είναι αυτοκαθαριζόμενα και να στεγνώνουν γρήγορα μεταξύ των επεισοδίων βροχής.

Ο ανοξείδωτος χάλυβας θεωρείται το καλύτερο υλικό για το φίλτρο, διότι μπορεί να αντέξει όλες τις καιρικές συνθήκες, ακόμα και τον σχηματισμό πάγου και τον παγετό, είναι αυτοκαθαριζόμενο και στεγνώνει μόνο του, διατηρεί το σχήμα του και δεν σκουριάζει, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα μόλυνσης. Καλής ποιότητας φίλτρα χρειάζονται επιθεώρηση μόνο δύο έως τέσσερις φορές το χρόνο και διαρκούν όσο η διάρκεια ζωής του κτηρίου (LaBranche, Wack, Sojka, Crawford, Crawford, DVM and Cabell Brand, 2007).



Εικόνα 2.2. Φίλτρο σωληνώσεως (LaBranche et al., 2007)

3. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναπτυχθούν οι μέθοδοι διαστασιολόγησης δεξαμενής καθώς και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για πέντε περιοχές της Ελλάδας (Ξάνθη, Βύρωνας, Ηγουμενίτσα, Άγιος Θωμάς Κρήτης, Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης).

3.1. Θεωρητική Μέθοδος Διαστασιολόγησης

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι δύο. Η πρώτη είναι παρόμοια με την μέθοδο Rippl (ή μέθοδος ελλείμματος ή mass diagram analysis) (Tsihrintzis V. et al., 2013). Με βάση τα δεδομένα, η μέση ετήσια βροχόπτωση \bar{P} [mm] μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$\bar{P} = \frac{365}{N} \cdot \sum_{t=1}^N P_t \quad (6)$$

όπου P_t [mm] είναι το μετρούμενο ύψος βροχής κάθε μέρας (χρόνος t [d]) και N είναι ο συνολικός αριθμός δεδομένων βροχής. Το ημερήσιο ύψος απορροής R_t [mm] σε χρόνο t [d] μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον συντελεστή απορροής C της περιοχής συλλογής της βροχής, δηλαδή τη στέγη ($C=0.9$):

$$R_t = C P_t \quad (7)$$

Η συνολική απορροή ΣR_t [mm] σε χρόνο t υπολογίζεται ως εξής:

$$\Sigma R_t = \Sigma R_{t-1} + R_t \quad (8)$$

Και ο αντίστοιχος αθροιστικός όγκος απορροής σε χρόνο t , ο οποίος είναι ο αθροιστικός όγκος εισροής ΣI_t [m^3] στην δεξαμενή αποθήκευσης:

$$\Sigma I_t = 10^{-3} \Sigma R_t A \quad (9)$$

όπου A είναι η επιφάνεια συλλογής της βροχής [m^2].

Η ζήτηση του νερού D_t στην οικία σε χρόνο t εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων που εξυπηρετούνται N_{cap} , την ημερήσια χρήση νερού ανά άτομο q (στην Ελλάδα, $q=150$ έως 180 L/άτομο/ημέρα) και το ποσοστό p της συνολικής χρήσης που θα χρησιμοποιηθεί από τη συλλεγμένη βροχόπτωση. Η μέγιστη τιμή της παραμέτρου p , μεταξύ άλλων παραγόντων, εξαρτάται κυρίως από τη μέση ετήσια βροχόπτωση, το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής και τον αριθμό των ατόμων που ικανοποιούνται, δηλαδή μια

δεξαμενή μπορεί να μην είναι ικανή να ικανοποιήσει την ολική ετήσια ζήτηση σε νερό, αλλά μπορεί να υπάρξει ένα άνω όριο στην ποσότητα ετήσιας ζήτησης νερού που μπορεί να ικανοποιηθεί, σύμφωνα με αυτές τις τρεις κύριες παραμέτρους. Αν το νερό της βροχής χρησιμοποιηθεί για μη πόσιμες χρήσεις, η μέγιστη τιμή p θα είναι μεταξύ 40% και 55%, εξαιρώντας το πότισμα κήπου. Επομένως:

$$D_t = N_{cap} q (p/100) \quad (10)$$

Η συνολική εκροή από την δεξαμενή αποθήκευσης σε χρόνο t θα είναι:

$$\Sigma O_t = \Sigma O_{t-1} + D_t \quad (11)$$

Μέσω του διαγράμματος της διαφοράς $\Delta = \Sigma I_t - \Sigma O_t$ σε σχέση με τον χρόνο (τροποποιημένο διάγραμμα Rippl), το απαιτούμενο μέγεθος της δεξαμενής αποθήκευσης όλου του νερού, χωρίς απώλειες ή υπερχειλίσεις, μπορεί να υπολογιστεί ως η μέγιστη διαφορά μεταξύ του τοπικού μεγίστου και του τοπικού ελαχίστου που ακολουθεί το μέγιστο:

$$V_{tank,max} = \max(\Sigma I_t - \Sigma O_t) - \min(\Sigma I_{t+n} - \Sigma O_{t+n}) \quad (12)$$

με $n > 0$.

Η προηγούμενη μέθοδος, η οποία αποθηκεύει όλη την απορροή χωρίς απώλειες ή υπερχειλίσεις, μπορεί να καταλήξει σε πολύ μεγάλη δεξαμενή, το οποίο μπορεί να προκαλέσει δύο πιθανά προβλήματα:

1. Δεν είναι εύκολη η εγκατάσταση, εξαιτίας του μεγέθους και κοστίζει
2. Υπάρχει αυξημένη πιθανότητα ανάπτυξης βακτηρίων κατά την διάρκεια του χρόνου.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη μέθοδος (Tsihrintzis V. et al., 2013).

Η ημερήσια διαφορά μεταξύ των εισροών (απορροή) και των εκροών (ζήτηση) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις της πρώτης μεθόδου ακολούθως:

$$\Delta S_t = C P_t A - N_{cap} q (p/100) \quad (13)$$

Επομένως, ο όγκος του νερού σε μια μέρα t που μπορεί να αποθηκευτεί στην δεξαμενή ανεξάρτητα από το μέγεθος της δεξαμενής υπολογίζεται ως εξής:

$$S_t = S_{t-1} + \Delta S_t \quad (14)$$

Ο υπολογισμός γίνεται με επαναλήψεις και ξεκινάει με μια αρχική τιμή S_0 σε χρόνο $t=0$ (δηλαδή αρχικά αποθηκευμένο νερό στην δεξαμενή). Αυτή μπορεί να είναι οποιαδήποτε τιμή, είτε να είναι μηδενική, το οποίο δηλώνει ότι η δεξαμενή αρχικά είναι άδεια, ή εναλλακτικά, η δεξαμενή να θεωρηθεί πλήρης

(δηλαδή $S_0=V_{\text{tank}}$) ή σχεδόν πλήρης. Για να ληφθεί υπόψη το μέγεθος της δεξαμενής κατά τον υπολογισμό της ποσότητας αποθηκευμένου νερού στην δεξαμενή κάθε ημέρα t , η ακόλουθη διαδικασία-αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί επαναληπτικά:

$$\text{if } [S_{t-1} + \Delta S_t > 0] \text{ then } [S_t = S_{t-1} + \Delta S_t] \text{ else } [S_t = 0] \quad (15)$$

Αν V_{tank} είναι η χωρητικότητα της δεξαμενής, ο πραγματικά διαθέσιμος όγκος αποθηκευμένου νερού $S_{t,\text{tank}}$ στην δεξαμενή την ημέρα t προκύπτει από τα ακόλουθα:

$$\text{if } [S_t \geq V_{\text{tank}}] \text{ then } [S_{t,\text{tank}} = V_{\text{tank}}] \text{ else } [S_{t,\text{tank}} = S_t] \quad (16)$$

Ο όγκος του νερού O_t που υπερχειλίζει από την δεξαμενή όταν αυτή είναι γεμάτη μπορεί να υπολογιστεί από τον ακόλουθο αλγόριθμο:

$$\text{if } [S_t \geq V_{\text{tank}}] \text{ then } [O_t = S_t - V_{\text{tank}}] \text{ else } [O_t = 0] \quad (17)$$

Το νερό T_t που χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί από το δημόσιο δίκτυο παροχής νερού για να ικανοποιήσει τις ανάγκες που διαφορετικά θα ικανοποιούνταν από τη δεξαμενή εάν περιείχε αρκετό όγκο νερού, μπορεί να υπολογιστεί ως εξής (δεν περιέχεται το ποσοστό 100-ρ της ζήτησης που πάντα ικανοποιείται από την δημόσια παροχή νερού):

$$\text{if } [S_{t,\text{tank}} > D_t] \text{ then } [T_t = 0] \text{ else } [T_t = D_t - S_{t,\text{tank}}] \quad (18)$$

Αυτή και η προηγούμενη μέθοδος μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα σε ένα λογιστικό φύλλο εργασιών (π.χ. Excel), υποθέτοντας ότι τα δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης (τουλάχιστον 10 ετών) θα είναι διαθέσιμα για την περιοχή στην οποία βρίσκεται η δεξαμενή (Tsihrintzis V. et al., 2013).

3.2. Στοιχεία – Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα βροχομετρικά στοιχεία για πέντε περιοχές της Ελλάδας: Μυτιλήνη, Βύρωνας, Ηγουμενίτσα, Άγιος Θωμάς Κρήτης και Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης. Τα δεδομένα καταγράφονταν από ειδικούς σταθμούς ανά 24 λεπτά (1440 δευτερόλεπτα) και στο τέλος αθροίστηκαν έχοντας το συνολικό ύψος βροχής της κάθε ημέρας. Οι ημερομηνίες στις οποίες δεν υπάρχει καταγραφή δεδομένων θεωρήθηκαν με καθόλου βροχή (δηλαδή 0) και επισημαίνονται με γαλάζιο χρώμα. Όλη η επεξεργασία έγινε σε φύλλα εργασιών Microsoft Excel.

3.2.1. Δεδομένα Μυτιλήνης

Η πόλη της Μυτιλήνης είναι η πρωτεύουσα του νησιού Λέσβος, καθώς και του ομώνυμου Νομού Λέσβου, κτισμένη στο νοτιοανατολικό άκρο του νησιού. Υπάγεται διοικητικά στην Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου και στο Νομό Λέσβου. Ο πληθυσμός της σύμφωνα με την καταγραφή του 2011 είναι 27.871 κάτοικοι (ΕΛ.ΣΤΑΤ.). Το κλίμα της είναι ήπιο μεσογειακό, με μεγάλη ηλιοφάνεια όλη τη διάρκεια του έτους.

Τα διαθέσιμα βροχομετρικά δεδομένα ήταν από 1^η Ιουνίου 1957 μέχρι 30^η Ιανουαρίου 1997, δηλαδή 40 χρόνια.

3.2.2. Δεδομένα Βύρωνα

Ο Βύρωνας είναι προάστιο στα βορειοανατολικά του Νομού Αττικής. Η περιοχή του Βύρωνα αρχικά αποτελούσε κοινότητα και το 1934 έγινε δήμος.

Η συνολική έκταση του δήμου είναι 9.000 στρέμματα ενώ έχει πληθυσμό 61.308 κατοίκων σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (ΕΛ.ΣΤΑΤ.). Υπάγεται διοικητικά στην Περιφέρεια Αττικής και το κλίμα είναι εύκρατο, μεσογειακό και γενικά ήπιο το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου.

Τα διαθέσιμα βροχομετρικά δεδομένα ήταν από 1^η Δεκεμβρίου 1961 έως και 28^η Φεβρουαρίου 1997, δηλαδή συνολικά 35 χρόνια. Οι ημερομηνίες που δεν υπήρχαν δεδομένα και κατ' επέκταση θεωρήθηκαν μηδέν είναι: 1/7/1971-31/7/1971, 1/6/1972-30/6/1972, 1/4/1979-30/4/1979, 29/2/1988, 1/9/1992-30/9/1992 και 1/1/1994-31/1/1994.

3.2.3. Δεδομένα Ηγουμενίτσας

Η Ηγουμενίτσα είναι η πρωτεύουσα του Νομού Θεσπρωτίας και ανήκει στην Διοικητική Περιφέρεια Ηπείρου. Είναι ο πρώτος σε κίνηση λιμένας της δυτικής Ελλάδας και ο δεύτερος σε επιβατική κίνηση μετά τον Πειραιά πανελλαδικά (σύμφωνα με τα στοιχεία της Ένωσης Λιμένων Ελλάδος). Έχει κλίμα μεσογειακό και βαθμιαία στο εσωτερικό ηπειρωτικό. Ο πληθυσμός της Ηγουμενίτσας είναι 9.145 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (ΕΛ.ΣΤΑΤ.).

Τα διαθέσιμα βροχομετρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν από 1^η Απριλίου 1951 έως και 31^η Αυγούστου 1997 (45 χρόνια). Η ημερομηνία που θεωρήθηκε μηδέν λόγω έλλειψης στοιχείων είναι 31/12/1972.

3.2.4. Δεδομένα Αγίου Θωμά Κρήτης

Ο Άγιος Θωμάς είναι χωριό του Νομού Ηρακλείου στην επαρχία Μονοφατίου στο Δήμο Αγίας Βαρβάρας με 665 κατοίκους με την απογραφή του 2011 (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) και ομώνυμο δημοτικό διαμέρισμα. Έχει υψόμετρο 530 μέτρα και το κλίμα του είναι δροσερό.

Τα διαθέσιμα βροχομετρικά δεδομένα ήταν από 1^η Ιανουαρίου 1954 έως και 31^η Μαρτίου 1997 (43 χρόνια).

3.2.5. Δεδομένα Ωραιόκαστρου Θεσσαλονίκης

Το Ωραιόκαστρο είναι πόλη του νομού Θεσσαλονίκης, που αποτελεί Δημοτική Κοινότητα του ευρύτερου Δήμου Ωραιοκάστρου, κτισμένο στους πρόποδες του Σιβρίου. Το Ωραιόκαστρο βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του νομού, βορειοανατολικά του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Βρίσκεται 11 χλμ. Βόρεια της Θεσσαλονίκης. Έχει συνολικό πληθυσμό 20.852 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (ΕΛ.ΣΤΑΤ.). Το κλίμα είναι μεσογειακό αλλά εμπεριέχει και ηπειρωτικά χαρακτηριστικά.

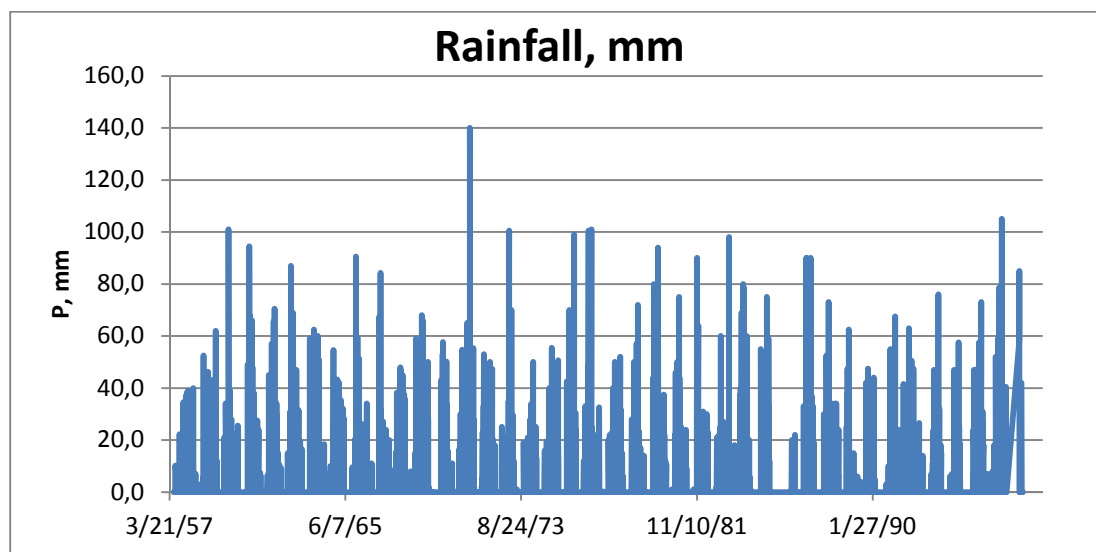
Τα διαθέσιμα βροχομετρικά δεδομένα ήταν από 1^η Απριλίου 1975 μέχρι και 31^η Ιουλίου 1997, δηλαδή 22 χρόνια. Οι ημερομηνίες που λείπουν δεδομένα είναι: 13/9/1977, 1/11/1986-15/11/1986 και 1/4/1994-30/4/1994.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων για κάθε περιοχή, καθώς και η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των περιοχών ανάλογα με τον αριθμό των κατοίκων στην οικία. Όλα τα επιπλέον Διαγράμματα για την περίπτωση των 1 και 5 ατόμων παραθέτονται στο Παράρτημα στο τέλος του τεύχους.

4.1. Μυτιλήνη

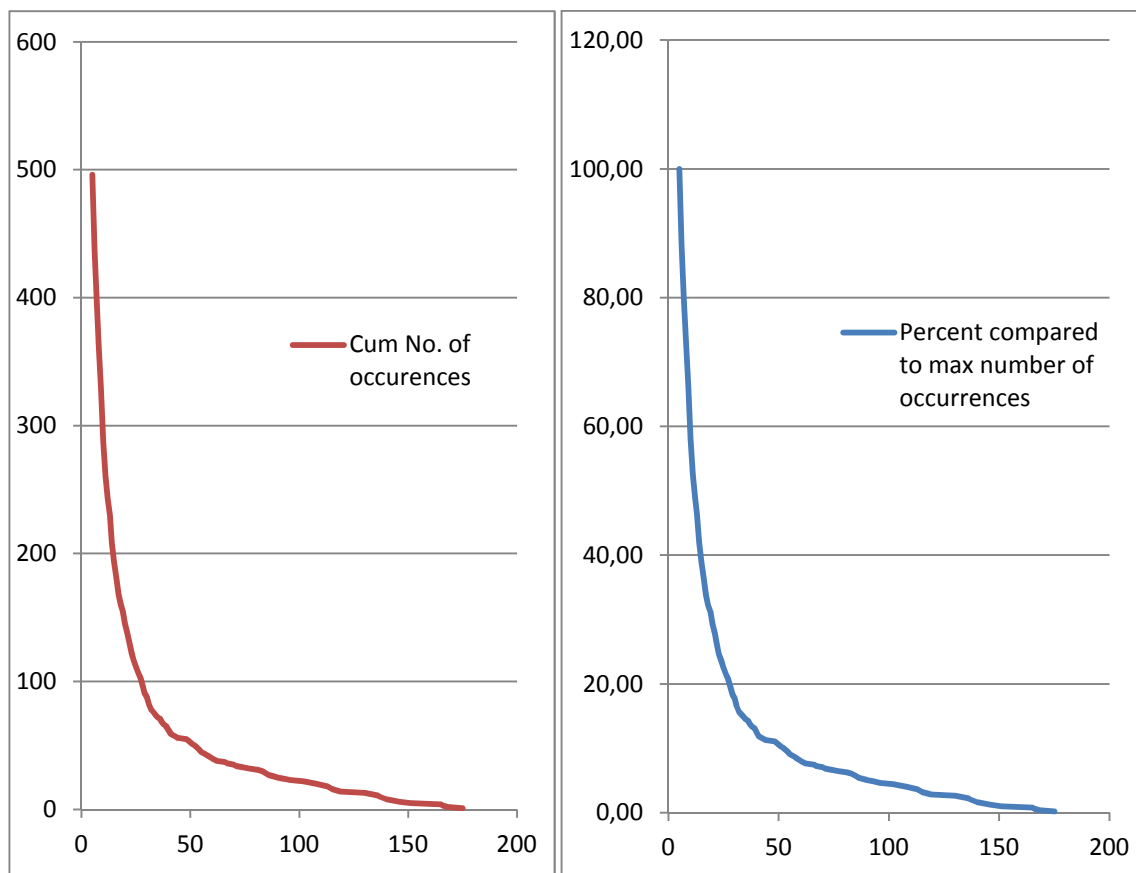
Το Διάγραμμα 1 παρουσιάζει το ημερήσιο ύψος βροχής P_i από τον σταθμό της Μυτιλήνης που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς. Το ύψος της βροχής κυμαίνεται από 0,0 έως και 140,0 mm. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής \bar{P} (εξ. 6) είναι 758,1 mm.



Διάγραμμα 1. Ύψος βροχής της Μυτιλήνης από 1/6/1957 – 31/1/1997.

Η μέγιστη διάρκεια ανομβρίας ήταν 175 ημέρες. Το Διάγραμμα 2 παρουσιάζει μια ανάλυση των ημερών χωρίς βροχή. Βασίστηκε στον υπολογισμό της μέγιστης διάρκειας χωρίς βροχή από τα δεδομένα βροχόπτωσης. Σαν ελάχιστη διάρκεια περιόδου ανομβρίας θεωρήθηκαν οι 5 μέρες το οποίο συνέβη 496 φορές κατά την διάρκεια των 40 ετών. Η επιλογή των 5 ημερών ανομβρίας περιόδου δηλώνει ότι θα υπάρχει πάντα αποθηκευμένο νερό 1500 L κατ' ελάχιστο με $p=50\%$ ($=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα} \times 4 \text{ κατοίκους} \times 5 \text{ μέρες}$

0,5), δηλαδή, θα πρέπει να χρησιμοποιείται ένα ελάχιστο μέγεθος δεξαμενής 1500 L, ή ισοδύναμο για λιγότερους κατοίκους.



Διάγραμμα 2. Συνολικός αριθμός εμφανίσεων και σχετικό ποσοστό ως συνάρτηση των άνομβρων ημερών για τη Μυτιλήνη

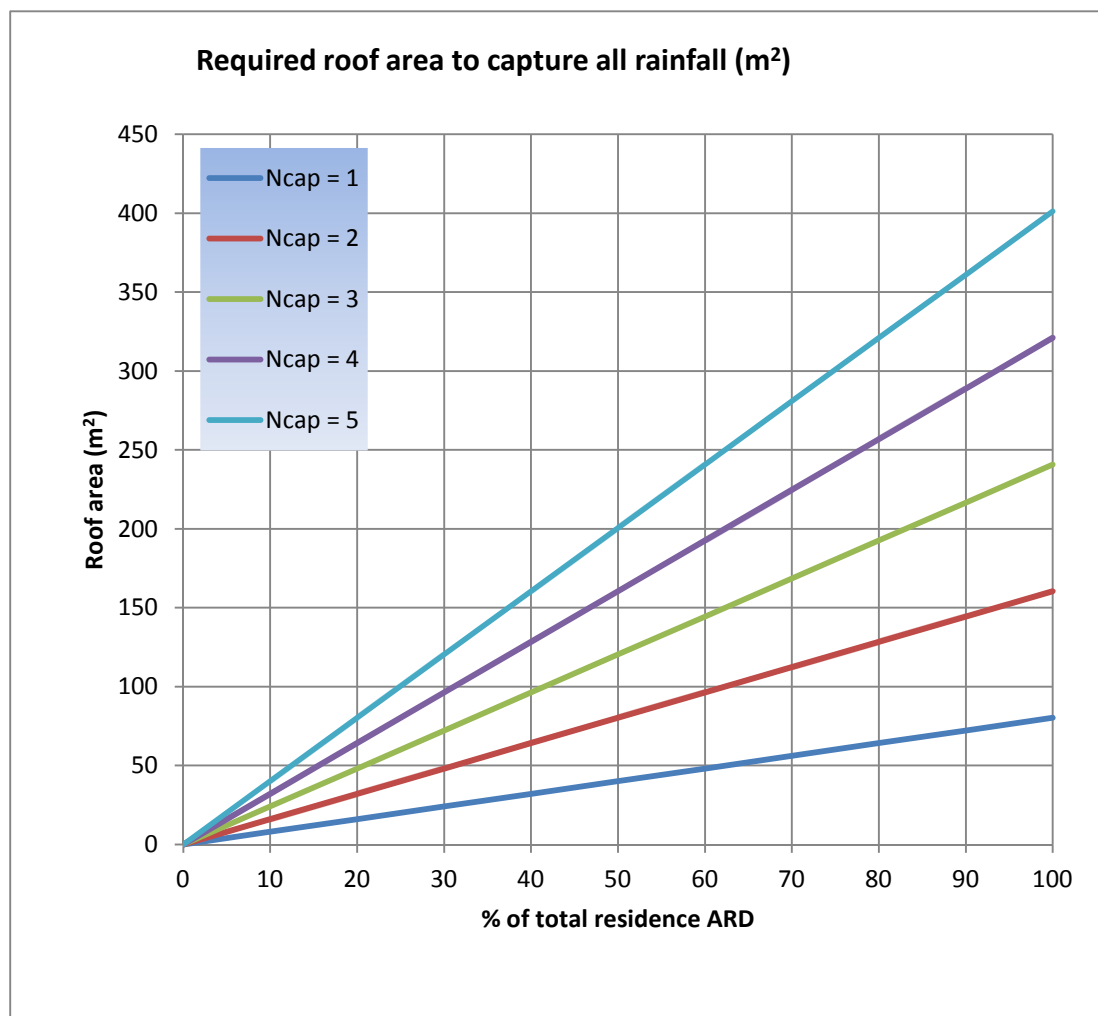
Το Διάγραμμα 3 παρουσιάζει την απαραίτητη περιοχή συλλογής της βροχής στην στέγη ως συνάρτηση του ποσοστού ρ της συνολικής κατανάλωσης νερού και τον αριθμό των κατοίκων. Για αυτούς τους υπολογισμούς, η ετήσια απόδοση βρόχινου νερού (annual rainwater yield – ARY) [lt] υπολογίζονται από τον τύπο:

$$ARY = C \bar{P} A \quad (19)$$

και σε συνδυασμό με την εξίσωση (10) πολλαπλασιάζοντας με 365 μέρες, με $C=0,9$, $\bar{P}=758.1$ mm και $q=150$ lt/κάτοικο/μέρα, υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια συλλογής:

$$A = \left[\left(\frac{365}{100} \right) \left(\frac{q}{C \bar{P}} \right) \right] N_{cap} P \quad (20)$$

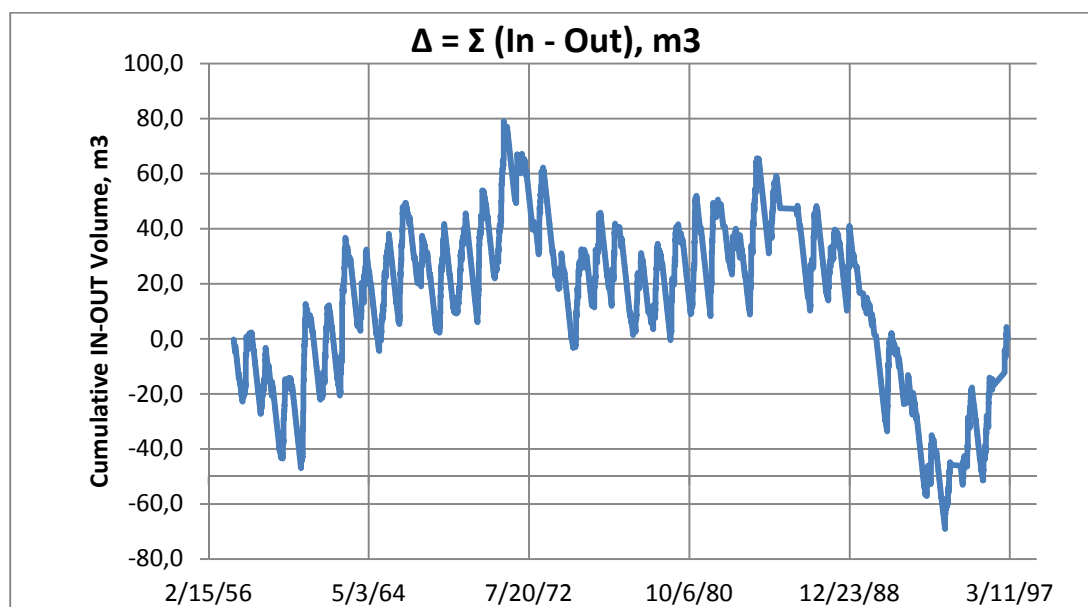
Το διάγραμμα παρουσιάζει το μέγιστο ποσοστό της ετήσιας ζήτησης βρόχινου νερού (annual rainwater demand – ARD) που μπορεί να καλυφθεί, θεωρώντας ότι η αποθηκευτική ικανότητα της δεξαμενής είναι επαρκής για ένα ορισμένο μέγεθος στέγης και αριθμό ατόμων που εξυπηρετούνται.



Διάγραμμα 3. Απαιτούμενο μέγεθος οροφής ώστε να ανταποκρίνεται σε ένα ορισμένο ποσοστό p της οικιακής ζήτησης νερού ως συνάρτηση του αριθμού των κατοίκων για τη Μυτιλήνη ($C=0,9$, $q=150$ L/κάτοικο/μέρα, $\bar{P}=758.1$ mm).

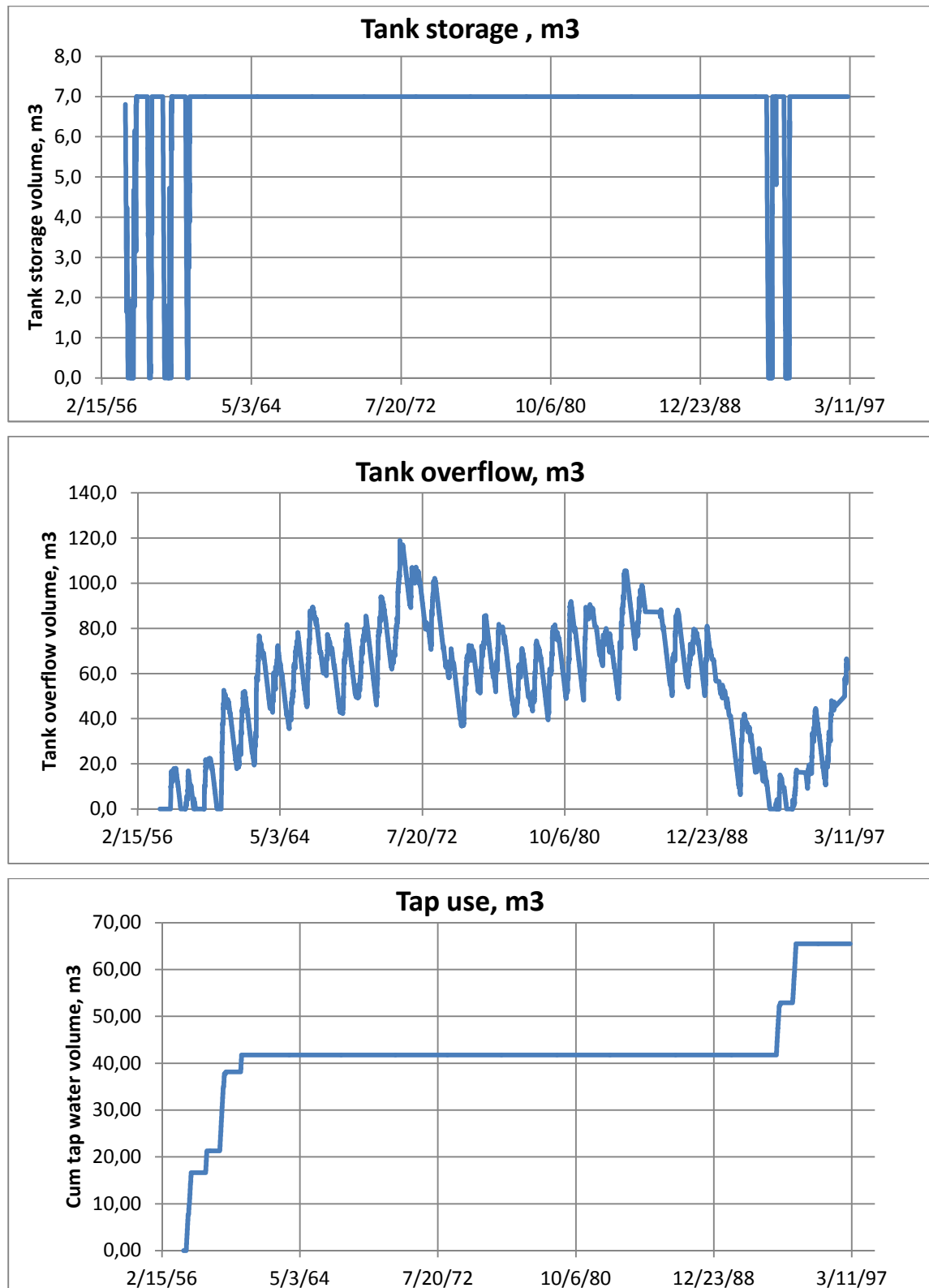
Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο υπολογισμού, το Διάγραμμα 4 δείχνει τις διαφορές των συνολικών όγκων εισροής και των συνολικών όγκων εκροής $\Delta = \Sigma I_i - \Sigma O_i$ σε μια δεξαμενή αποθήκευσης σύμφωνα με τις εξισώσεις (9) και (11). Η εξίσωση (12) χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την απαραίτητα χωρητικότητα της δεξαμενής. Όπως δείχνει το Διάγραμμα 4, το μέγιστο της διαφοράς Δ συμβαίνει στις 3 Απριλίου 1971 και είναι $78,934 \text{ m}^3$, και το

ελάχιστο συμβαίνει στις 13 Νοεμβρίου 1993 και είναι $-69,122 \text{ m}^3$. Επομένως η απαραίτητη χωρητικότητα της δεξαμενής σύμφωνα με την εξίσωση (12) είναι $148,056 \text{ m}^3$. Ο υπολογισμός έγινε θεωρώντας: η περιοχή συλλογής στέγης $A=96,3 \text{ m}^2$, $C=0,9$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$. Η επιφάνεια A και το p είναι σε συμφωνία με το Διάγραμμα 3, θεωρώντας ότι υπάρχει αρκετό νερό βροχής.



Διάγραμμα 4. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για τη Μυτιλήνη (για $A=96,3 \text{ m}^2$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$).

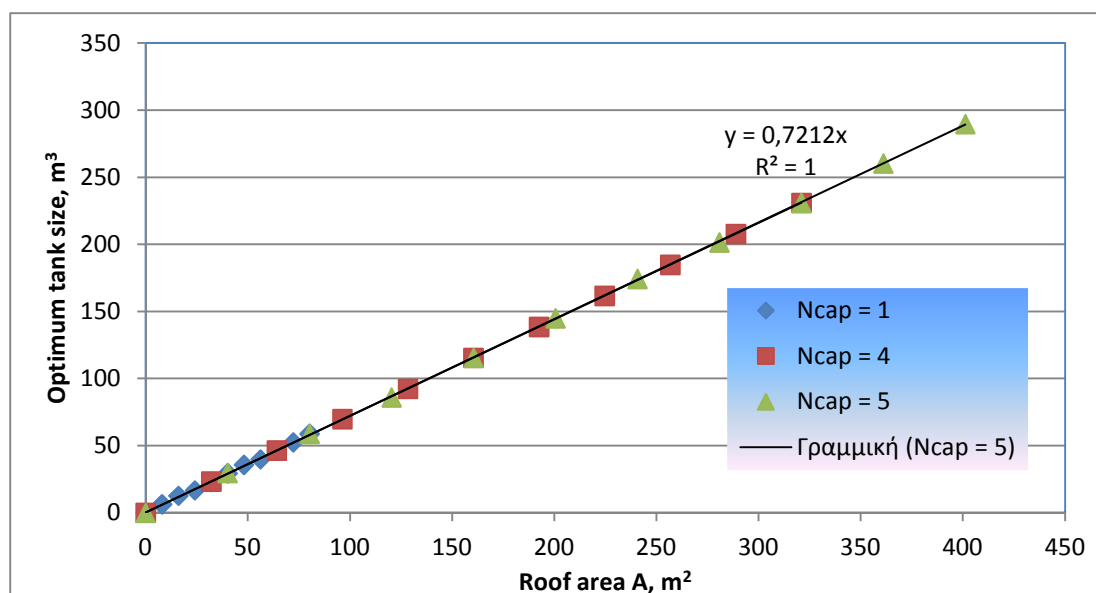
Σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο υπολογισμού που έχει περιγραφεί, τα τυπικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 5. Τα δεδομένα είναι τα εξής: $A=96,3 \text{ m}^2$, $C=0,9$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, μέγεθος δεξαμενής $V_{\text{tank}}=7000 \text{ L}$, αρχική χωρητικότητα δεξαμενής 7000 L . Το Διάγραμμα 5a δείχνει ότι η δεξαμενή των 7000 L παραμένει γεμάτη το περισσότερο χρόνο και υπάρχουν δύο φορές κατά τις οποίες έχει αδειάσει. Στο Διάγραμμα 5b φαίνεται η μεταβολή του όγκου υπερχείλισης. Η μέγιστη υπερχείλιση είναι $118,859 \text{ m}^3$ (3 Απριλίου 1971). Τέλος, το Διάγραμμα 5c παρουσιάζει το συνολικό όγκο νερού που χρησιμοποιήθηκε από το δημόσιο δίκτυο παροχής νερού, το οποίο για το περισσότερο διάστημα είναι $46,683 \text{ m}^3$. Αυτός ο όγκος εξαρτάται από τον αρχικό όγκο της δεξαμενής και γίνεται $71,837 \text{ m}^3$ αν η δεξαμενή θεωρηθεί αρχικά άδεια. Για την πλήρη αποφυγή χρήσης του δημόσιου δικτύου ύδρευσης, ο απαραίτητος όγκος της δεξαμενής είναι $69,848 \text{ m}^3$ θεωρώντας μια αρχικά γεμάτη δεξαμενή.



Διάγραμμα 5. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (a). Όγκος υπερχείλισης (b). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=96,3 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=4$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank}=7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).

Η μέθοδος επιτρέπει την ελαχιστοποίηση του μεγέθους της δεξαμενής. Αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης, για παράδειγμα "Goal Seek" στο Microsoft Excel. Η απαιτούμενη χωρητικότητα της δεξαμενής είναι αυτή που μηδενίζει τη χρήση της δημόσιας ύδρευσης (για δεδομένο A, C, N_{cap}, q και ρ). Το Διάγραμμα 6 παρουσιάζει το βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής ως συνάρτηση της επιφάνειας της στέγης A (A σχετίζεται με ρ μέσω Διαγράμματος 3), υποθέτοντας ότι η δεξαμενή είναι αρχικά πλήρης. Μια γραμμική γραμμή παλινδρόμησης επίσης ταιριάζει με τα δεδομένα, παρουσιάζοντας ένα σχεδόν τέλειο συντελεστή προσδιορισμού R²:

$$V_{\text{tank,opt}} = 0,7212 A \quad (21)$$

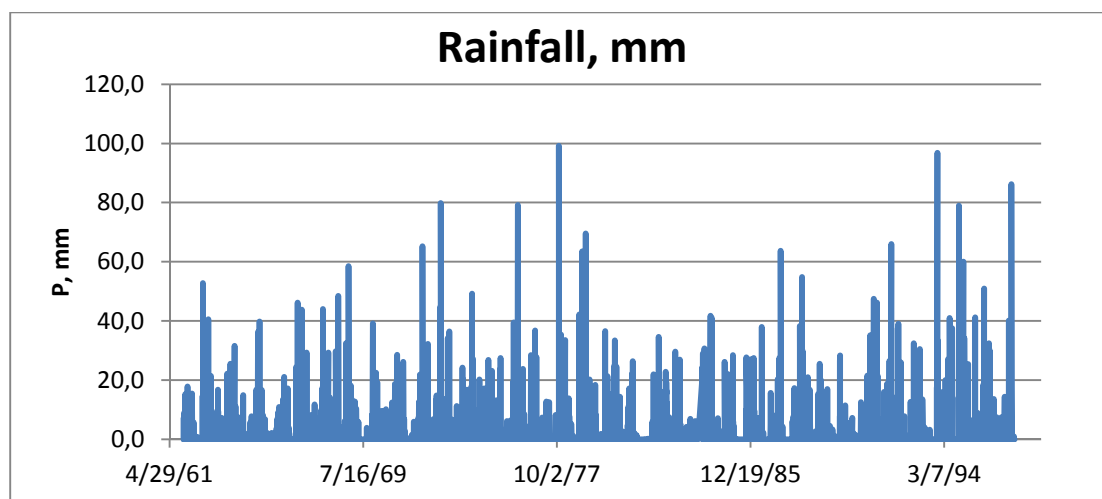


Διάγραμμα 6. Βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής ως συνάρτηση της επιφάνειας στέγης για τη Μυτιλήνη

Αυτή η εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει το βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής $V_{\text{tank,opt}}$ (L) ως συνάρτηση της περιοχής συλλογής βροχής A (m²), λαμβάνοντας υπόψη έμμεσα το επί τοις εκατό της συνολικής χρήσης ρ (μέσω Διαγράμματος 3). Αυτή η εξίσωση δεν είναι καθολική, αλλά εξαρτάται από το σύνολο των βροχοπτώσεων που χρησιμοποιείται (σταθμός Μυτιλήνης), και από τις τιμές για τις παραμέτρους C=0.9 και q=150 L/κάτοικο/d.

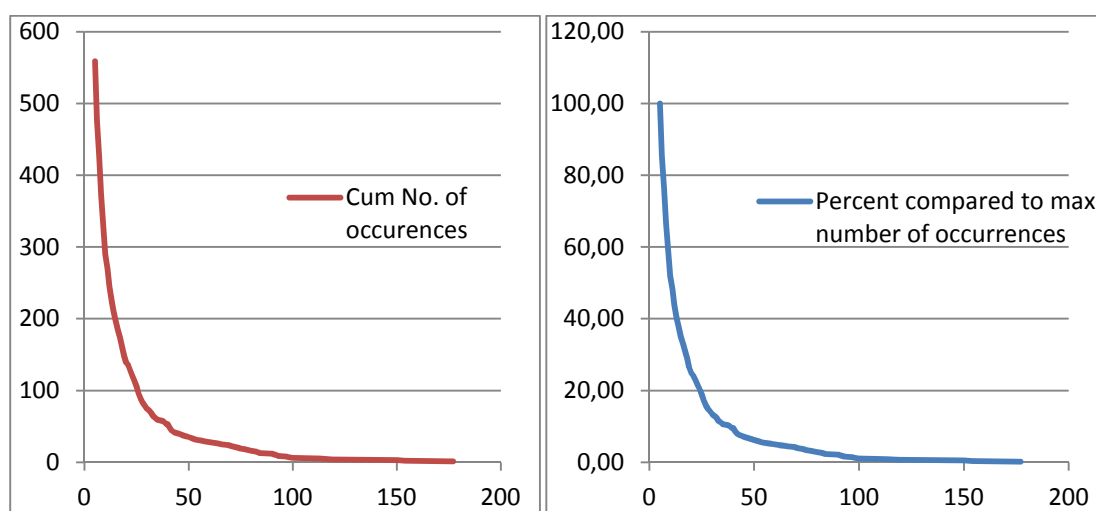
4.2. Βύρωνας

Το Διάγραμμα 7 παρουσιάζει το ημερήσιο ύψος βροχής P_t από τον σταθμό του Βύρωνας που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς. Το ύψος της βροχής κυμαίνεται από 0,0 έως και 99,2 mm. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής \bar{P} (εξ. 6) είναι 375,5 mm.



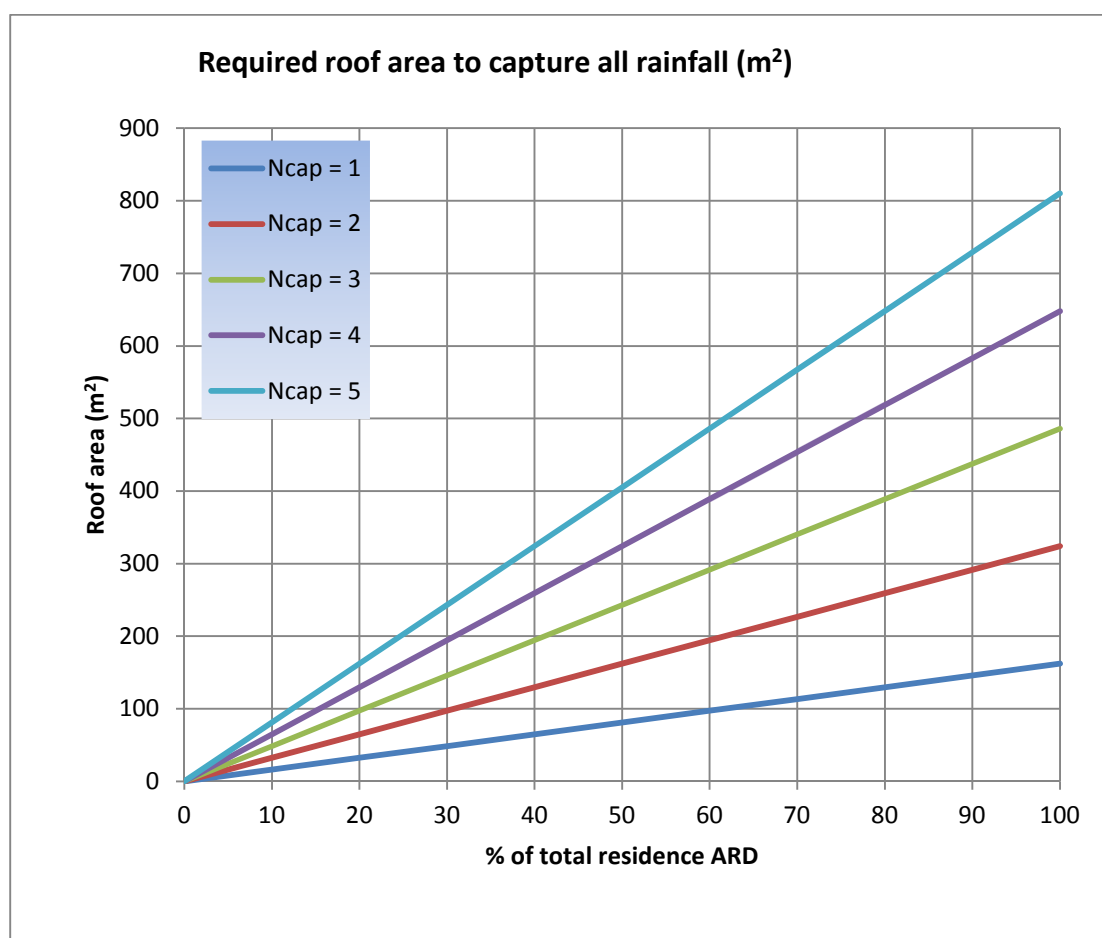
Διάγραμμα 7. Ύψος βροχής του Βύρωνας από 1/12/1961 – 28/2/1997.

Η μέγιστη διάρκεια ανομβρίας ήταν 177 ημέρες. Το Διάγραμμα 8 παρουσιάζει μια ανάλυση των ημερών χωρίς βροχή. Σαν ελάχιστη διάρκεια περιόδου ανομβρίας θεωρήθηκαν οι 5 μέρες το οποίο συνέβη 559 φορές κατά την διάρκεια των 30 ετών.



Διάγραμμα 8. Συνολικός αριθμός εμφανίσεων και σχετικό ποσοστό ως συνάρτηση των άνομβρων ημερών για το Βύρωνας.

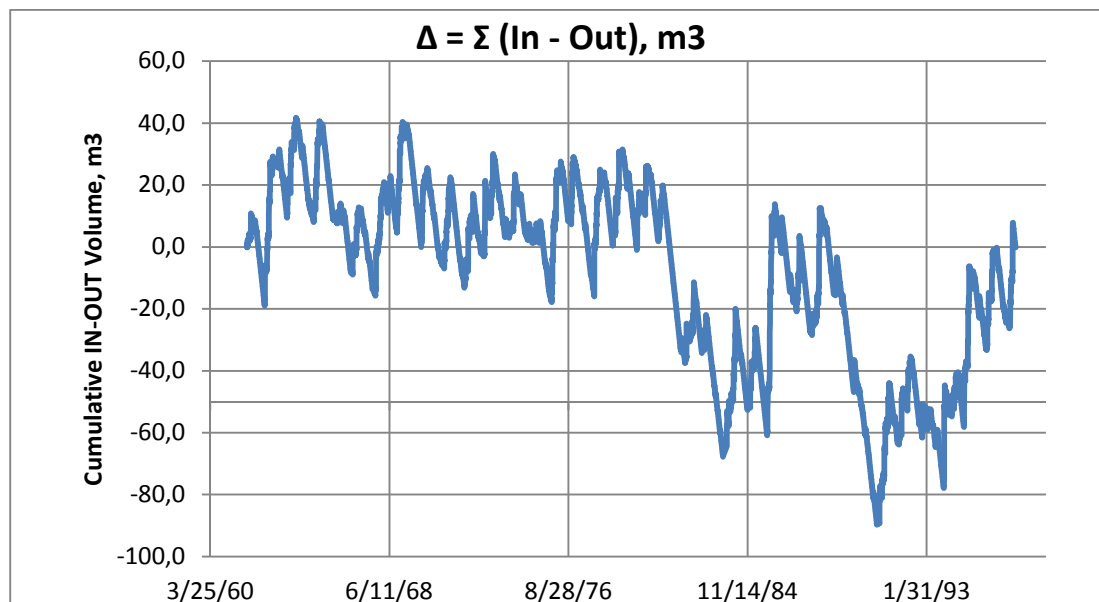
Το Διάγραμμα 9 παρουσιάζει την απαραίτητη περιοχή συλλογής της βροχής στην στέγη ως συνάρτηση του ποσοστού ρ της συνολικής κατανάλωσης νερού και τον αριθμό των κατοίκων. Χρησιμοποιώντας τους τύπους (19) και (20), το διάγραμμα παρουσιάζει το μέγιστο ποσοστό της ετήσιας ζήτησης βρόχινου νερού (annual rainwater demand – ARD) που μπορεί να καλυφθεί, θεωρώντας ότι η αποθηκευτική ικανότητα της δεξαμενής είναι επαρκής για ένα ορισμένο μέγεθος στέγης και αριθμό ατόμων που εξυπηρετούνται.



Διάγραμμα 9. Απαιτούμενο μέγεθος οροφής ώστε να ανταποκρίνεται σε ένα ορισμένο ποσοστό ρ της οικιακής ζήτησης νερού ως συνάρτηση του αριθμού των κατοίκων για το Βύρωνα ($C=0,9$, $q=150$ L/κάτοικο/μέρα, $\bar{P}=375,5$ mm).

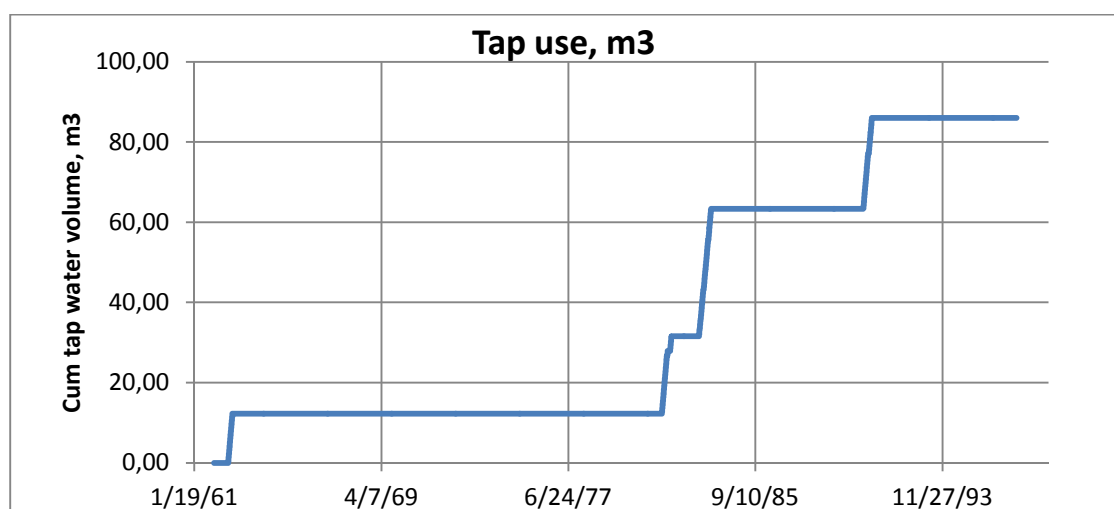
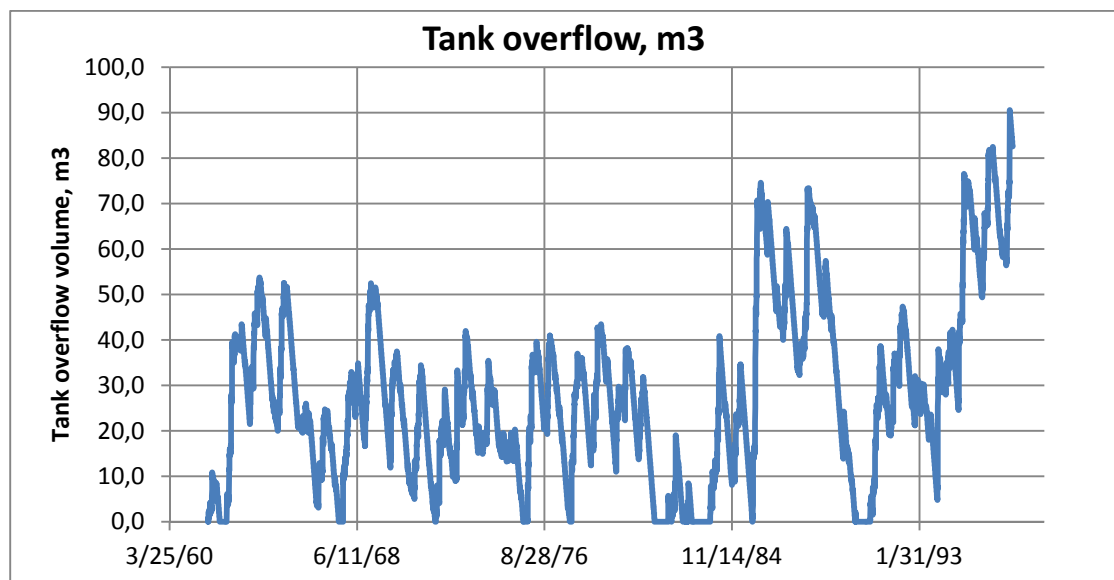
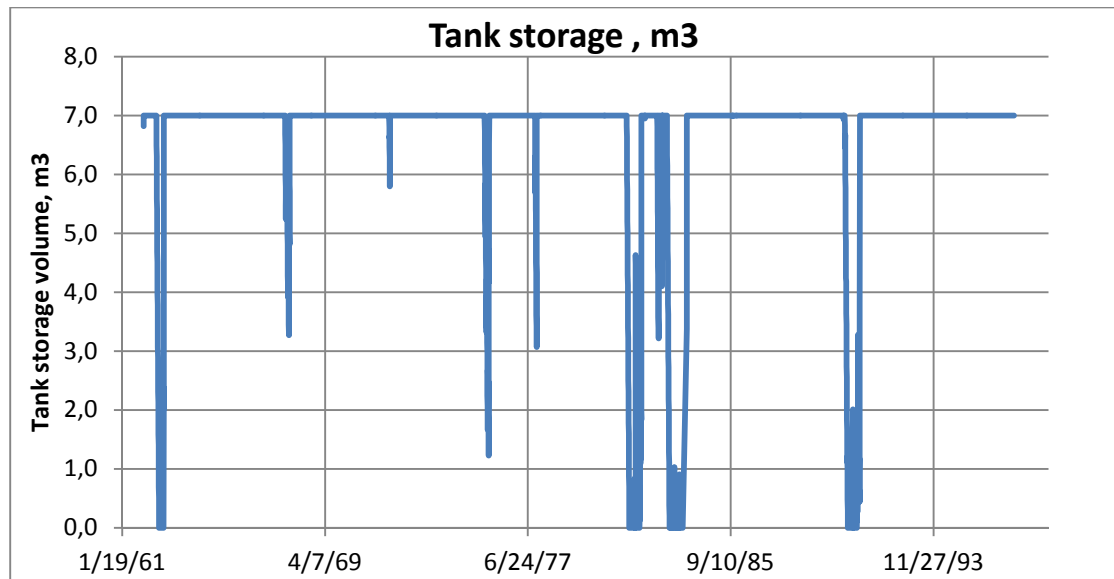
Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο υπολογισμού, το Διάγραμμα 10 δείχνει τις διαφορές των συνολικών όγκων εισροής και των συνολικών όγκων εκροής $\Delta = \Sigma I_i - \Sigma O_i$ σε μια δεξαμενή αποθήκευσης σύμφωνα με τις εξισώσεις (9) και (11). Όπως δείχνει το Διάγραμμα 9, το μέγιστο της διαφοράς Δ συμβαίνει στις

1 Μαρτίου 1964 και είναι $41,759 \text{ m}^3$, και το ελάχιστο συμβαίνει στις 22 Οκτωβρίου 1990 και είναι $-89,716 \text{ m}^3$. Επομένως η απαραίτητη χωρητικότητα της δεξαμενής σύμφωνα με την εξίσωση (12) είναι $131,475 \text{ m}^3$. Ο υπολογισμός έγινε θεωρώντας: η περιοχή συλλογής στέγης $A=194,4 \text{ m}^2$, $C=0,9$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$.



Διάγραμμα 10. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για το Βύρωνα (για $A=194,4 \text{ m}^2$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$).

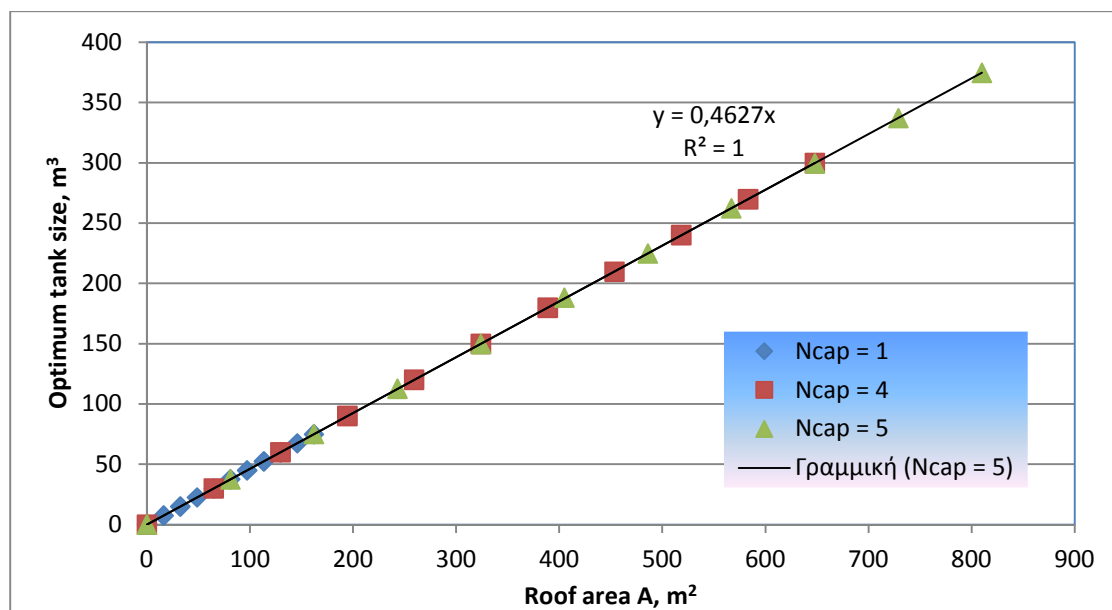
Σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο υπολογισμού που έχει περιγραφεί, τα τυπικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 11. Τα δεδομένα είναι τα εξής: $A=194,4 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, μέγεθος δεξαμενής $V_{\text{tank}} = 7000 \text{ L}$, αρχική χωρητικότητα δεξαμενής 7000 L . Το Διάγραμμα 11a δείχνει ότι η δεξαμενή των 7000 L παραμένει γεμάτη το περισσότερο χρόνο και υπάρχουν τέσσερις φορές κατά τις οποίες έχει αδειάσει. Στο Διάγραμμα 11b φαίνεται η μεταβολή του όγκου υπερχείλισης. Η μέγιστη υπερχείλιση είναι $90,529 \text{ m}^3$ (14 Ιανουαρίου 1997). Τέλος, το Διάγραμμα 11c παρουσιάζει το συνολικό όγκο νερού που χρησιμοποιήθηκε από το δημόσιο δίκτυο παροχής νερού, το οποίο για το περισσότερο διάστημα είναι $12,273 \text{ m}^3$ και $63,365 \text{ m}^3$. Αυτός ο όγκος εξαρτάται από τον αρχικό όγκο της δεξαμενής και γίνεται $85,967 \text{ m}^3$ αν η δεξαμενή θεωρηθεί αρχικά άδεια. Για την πλήρη αποφυγή χρήσης του δημόσιου δικτύου ύδρευσης, ο απαραίτητος όγκος της δεξαμενής είναι $90,199 \text{ m}^3$ θεωρώντας μια αρχικά γεμάτη δεξαμενή.



Διάγραμμα 11. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (a). Όγκος υπερχείλισης (b). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=194,4 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=4$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=33,1\%$, $V_{tank} = 7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).

Η απαιτούμενη χωρητικότητα της δεξαμενής είναι αυτή που μηδενίζει τη χρήση της δημόσιας ύδρευσης (για δεδομένο A, C, N_{cap}, q και ρ). Το Διάγραμμα 12 παρουσιάζει το βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής ως συνάρτηση της επιφάνειας της στέγης A (A σχετίζεται με ρ μέσω Διαγράμματος 9), υποθέτοντας ότι η δεξαμενή είναι αρχικά πλήρης. Μια γραμμική γραμμή παλινδρόμησης επίσης ταιριάζει με τα δεδομένα, παρουσιάζοντας ένα σχεδόν τέλειο συντελεστή προσδιορισμού R²:

$$V_{\text{tank,opt}} = 0,4627 A \quad (22)$$

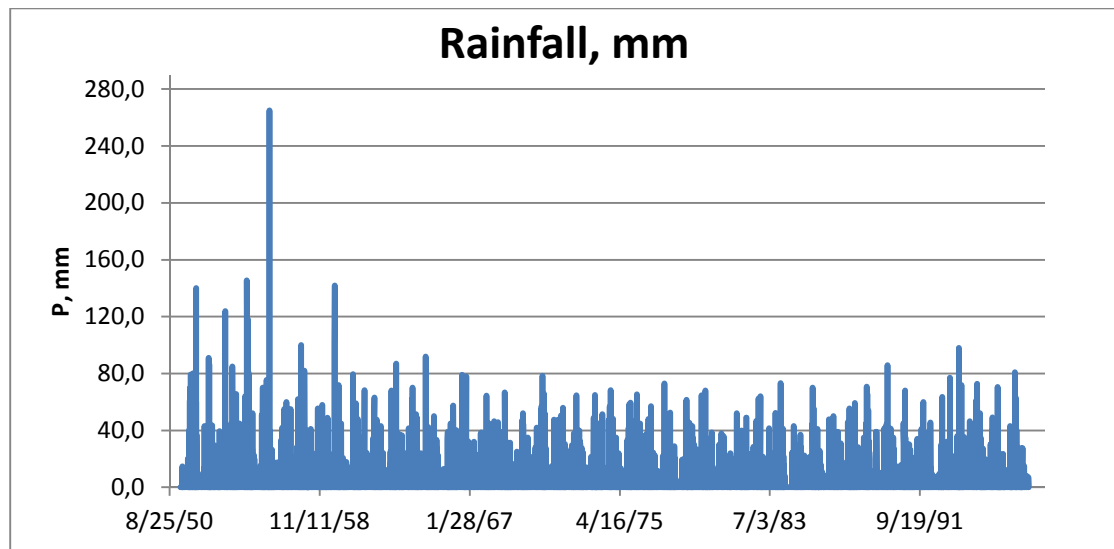


Διάγραμμα 12. Βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής ως συνάρτηση της επιφάνειας στέγης για το Βύρωνα.

Αυτή η εξίσωση δεν είναι καθολική, αλλά εξαρτάται από το σύνολο των βροχοπτώσεων που χρησιμοποιείται (σταθμός Βύρωνα), και από τις τιμές για τις παραμέτρους C=0.9 και q=150 L/κάτοικο/d.

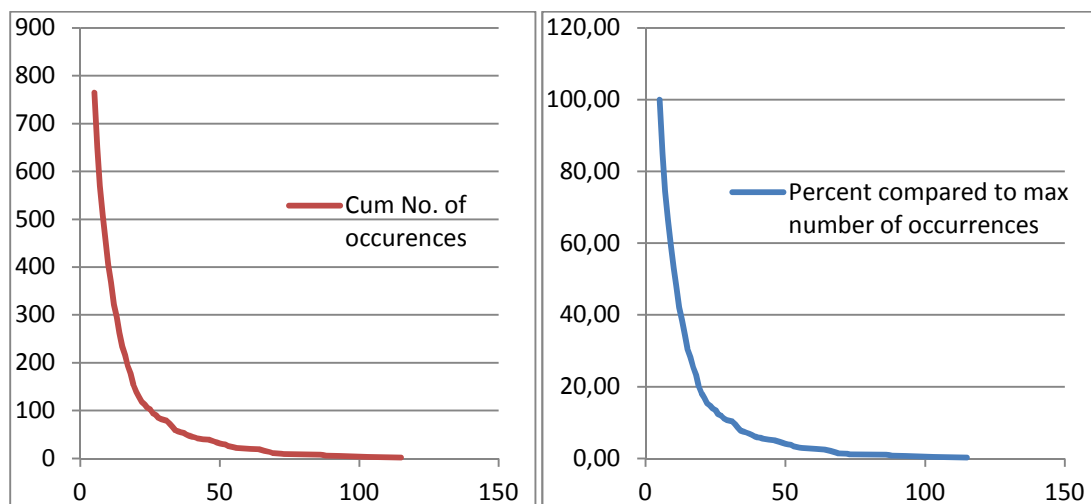
4.3. Ηγουμενίτσα

Το Διάγραμμα 13 παρουσιάζει το ημερήσιο ύψος βροχής P_i τον σταθμό της Ηγουμενίτσας που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς. Το ύψος της βροχής κυμαίνεται από 0,0 έως και 265 mm. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής \bar{P} (εξ. 6) είναι 1046,5 mm.



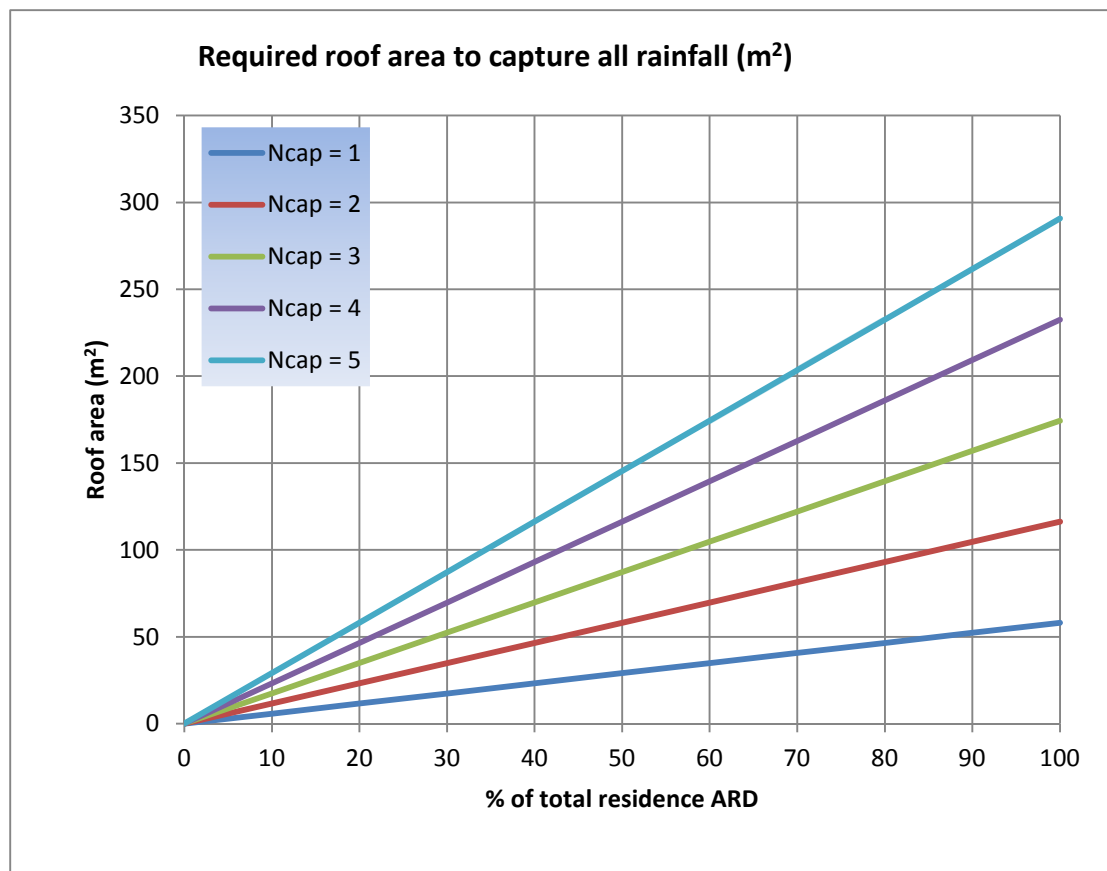
Διάγραμμα 13. Ύψος βροχής της Ηγουμενίτσας από 1/4/1951 – 31/8/1997.

Η μέγιστη διάρκεια ανομβρίας ήταν 115 ημέρες. Το Διάγραμμα 14 παρουσιάζει μια ανάλυση των ημερών χωρίς βροχή. Σαν ελάχιστη διάρκεια περιόδου ανομβρίας θεωρήθηκαν οι 5 μέρες το οποίο συνέβη 765 φορές κατά την διάρκεια των 40 ετών.



Διάγραμμα 14. Συνολικός αριθμός εμφανίσεων και σχετικό ποσοστό ως συνάρτηση των άνομβρων ημερών για την Ηγουμενίτσα.

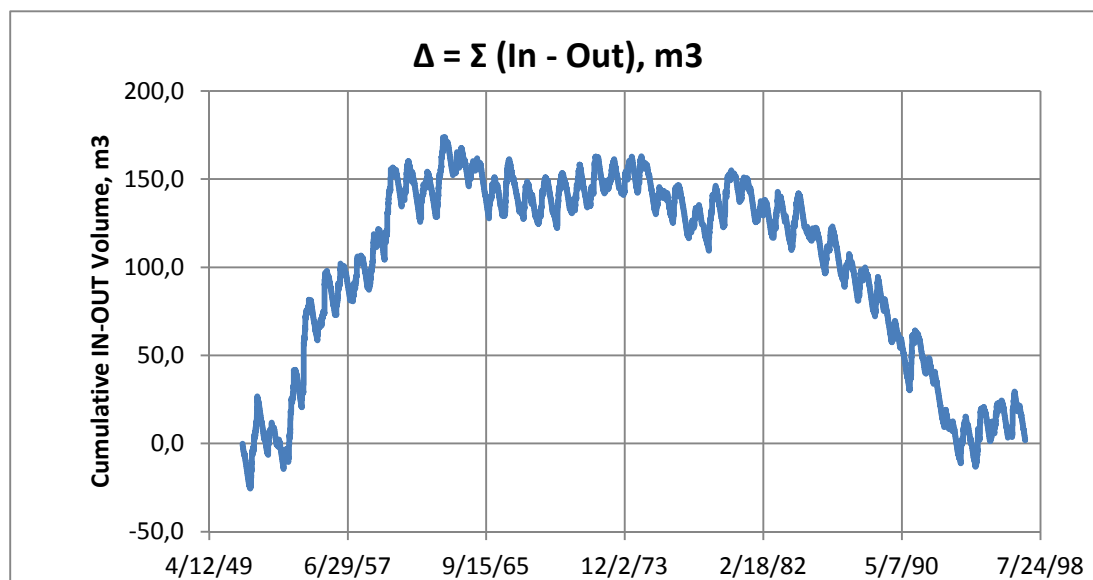
Το Διάγραμμα 15 παρουσιάζει την απαραίτητη περιοχή συλλογής της βροχής στην στέγη ως συνάρτηση του ποσοστού ρ της συνολικής κατανάλωσης νερού και τον αριθμό των κατοίκων. Χρησιμοποιώντας τους τύπους (19) και (20), όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, το διάγραμμα παρουσιάζει το μέγιστο ποσοστό της ετήσιας ζήτησης βρόχινου νερού (annual rainwater demand – ARD) που μπορεί να καλυφθεί, θεωρώντας ότι η αποθηκευτική ικανότητα της δεξαμενής είναι επαρκής για ένα ορισμένο μέγεθος στέγης και αριθμό ατόμων που εξυπηρετούνται.



Διάγραμμα 15. Απαιτούμενο μέγεθος οροφής ώστε να ανταποκρίνεται σε ένα ορισμένο ποσοστό ρ της οικιακής ζήτησης νερού ως συνάρτηση του αριθμού των κατοίκων για την Ηγουμενίτσα ($C=0,9$, $q=150$ L/κάτοικο/μέρα, $\bar{P}=1046,5$ mm).

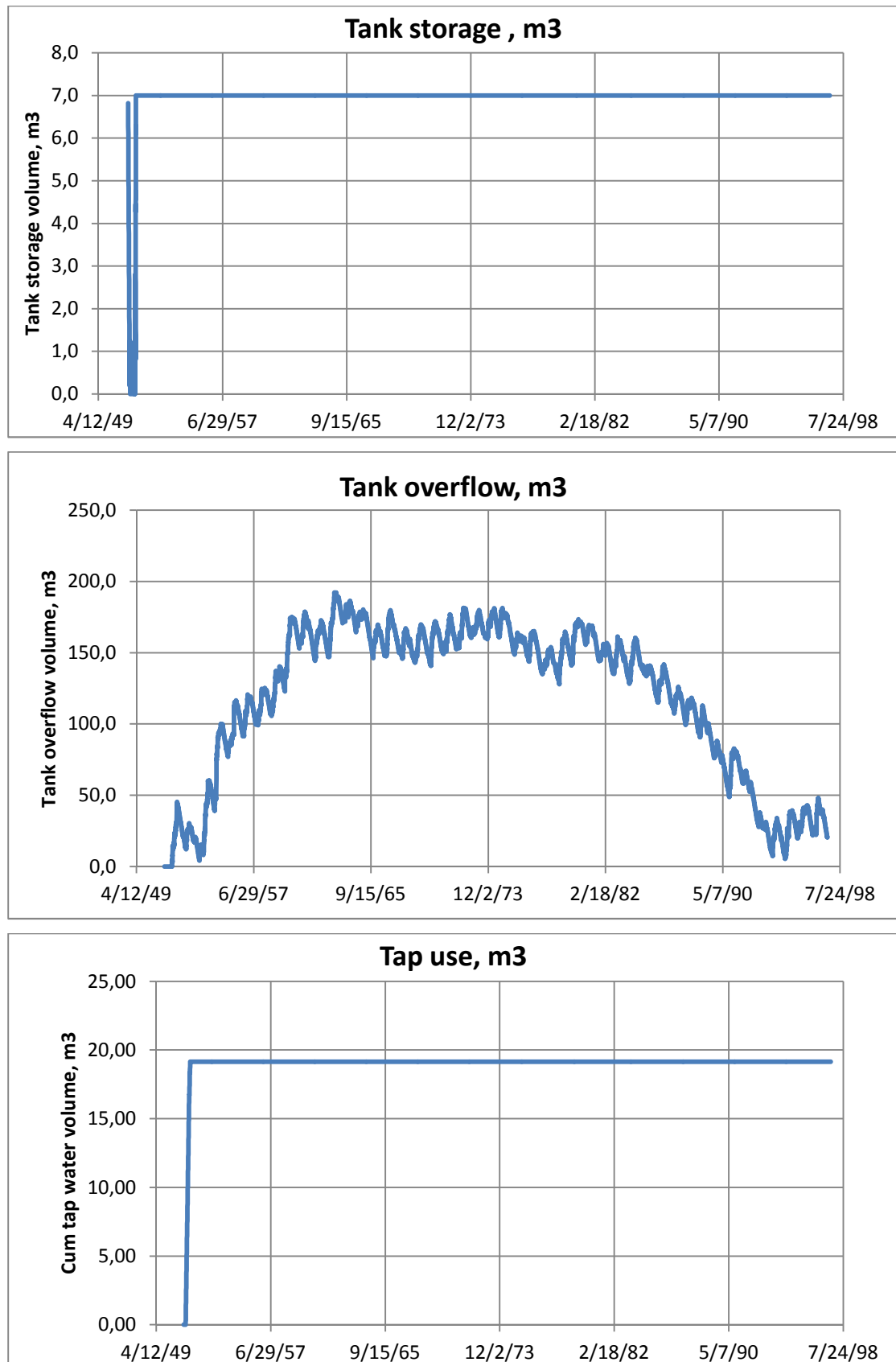
Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο υπολογισμού, το Διάγραμμα 16 δείχνει τις διαφορές των συνολικών όγκων εισροής και των συνολικών όγκων εκροής $\Delta = \Sigma I_t - \Sigma O_t$ σε μια δεξαμενή αποθήκευσης σύμφωνα με τις εξισώσεις (9) και (11). Όπως δείχνει το Διάγραμμα 16 το μέγιστο της διαφοράς Δ συμβαίνει στις 2 Απριλίου 1963 και είναι $173,731 \text{ m}^3$, και το ελάχιστο συμβαίνει στις 17

Σεπτεμβρίου 1994 και είναι $-13,154 \text{ m}^3$. Επομένως η απαραίτητη χωρητικότητα της δεξαμενής σύμφωνα με την εξίσωση (12) είναι $186,885 \text{ m}^3$. Ο υπολογισμός έγινε θεωρώντας: η περιοχή συλλογής στέγης $A=69,8 \text{ m}^2$, $C=0,9$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$.



Διάγραμμα 16. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για την Ηγουμενίτσα (για $A=69,8 \text{ m}^2$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$).

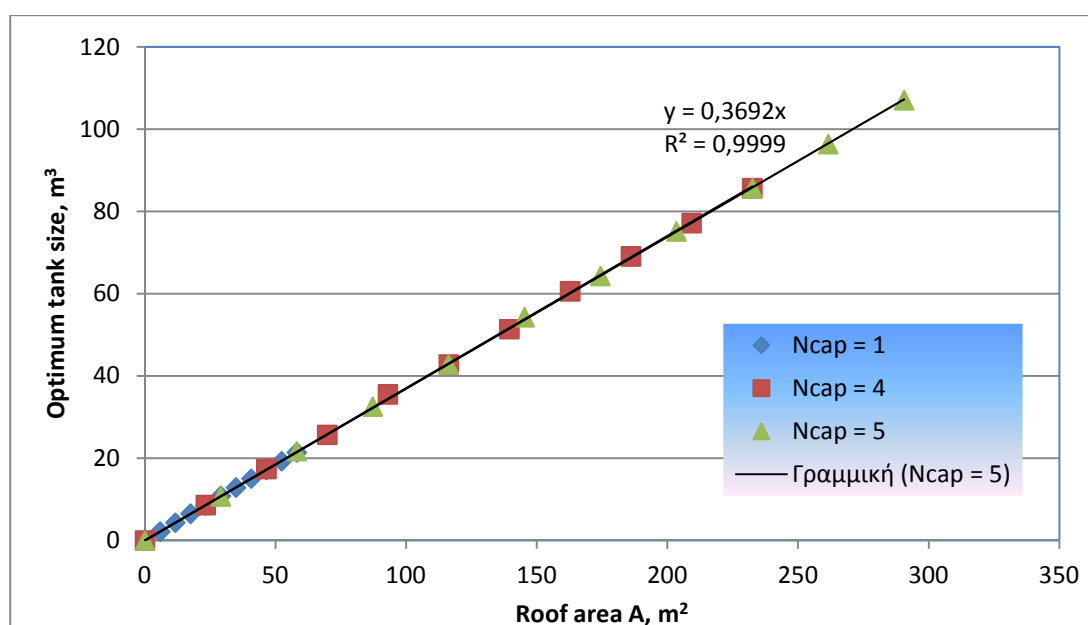
Σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο υπολογισμού που έχει περιγραφεί, τα τυπικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 17. Τα δεδομένα είναι τα εξής: $A=69,8 \text{ m}^2$, $C=0,9$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, μέγεθος δεξαμενής $V_{\text{tank}}=7000 \text{ L}$, αρχική χωρητικότητα δεξαμενής 7000 L . Το Διάγραμμα 17a δείχνει ότι η δεξαμενή των 7000 L παραμένει γεμάτη το περισσότερο χρόνο και υπάρχει μία φορά κατά την οποία έχει αδειάσει. Στο Διάγραμμα 17b φαίνεται η μεταβολή του όγκου υπερχείλισης. Η μέγιστη υπερχείλιση είναι $192,248 \text{ m}^3$ (2 Απριλίου 1963). Τέλος, το Διάγραμμα 17c παρουσιάζει το συνολικό όγκο νερού που χρησιμοποιήθηκε από το δημόσιο δίκτυο παροχής νερού, το οποίο για το περισσότερο διάστημα είναι $19,140 \text{ m}^3$. Για την πλήρη αποφυγή χρήσης του δημόσιου δικτύου ύδρευσης, ο απαραίτητος όγκος της δεξαμενής είναι $25,698 \text{ m}^3$ θεωρώντας μια αρχικά γεμάτη δεξαμενή.



Διάγραμμα 17. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (α). Όγκος υπερχείλισης (β). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=69,8 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=4$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank} = 7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).

Η απαιτούμενη χωρητικότητα της δεξαμενής είναι αυτή που μηδενίζει τη χρήση της δημόσιας ύδρευσης (για δεδομένο A , C , N_{cap} , q και p). Το Διάγραμμα 18 παρουσιάζει το βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής ως συνάρτηση της επιφάνειας της στέγης A (A σχετίζεται με p μέσω Διαγράμματος 15), υποθέτοντας ότι η δεξαμενή είναι αρχικά πλήρης. Μια γραμμική γραμμή παλινδρόμησης επίσης ταιριάζει με τα δεδομένα, παρουσιάζοντας ένα σχεδόν τέλειο συντελεστή προσδιορισμού R^2 :

$$V_{\text{tank,opt}} = 0,3692 A \quad (23)$$

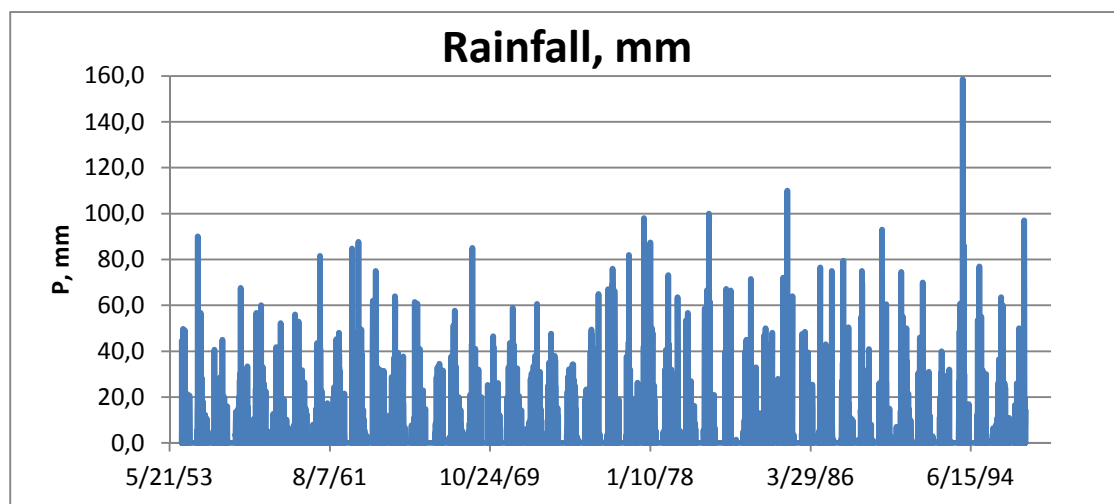


Διάγραμμα 18. Βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής ως συνάρτηση της επιφάνειας στέγης για την Ηγουμενίτσα.

Αυτή η εξίσωση δεν είναι καθολική, αλλά εξαρτάται από το σύνολο των βροχοπτώσεων που χρησιμοποιείται (σταθμός Ηγουμενίτσας), και από τις τιμές για τις παραμέτρους $C=0.9$ και $q=150$ L/κάτοικο/d.

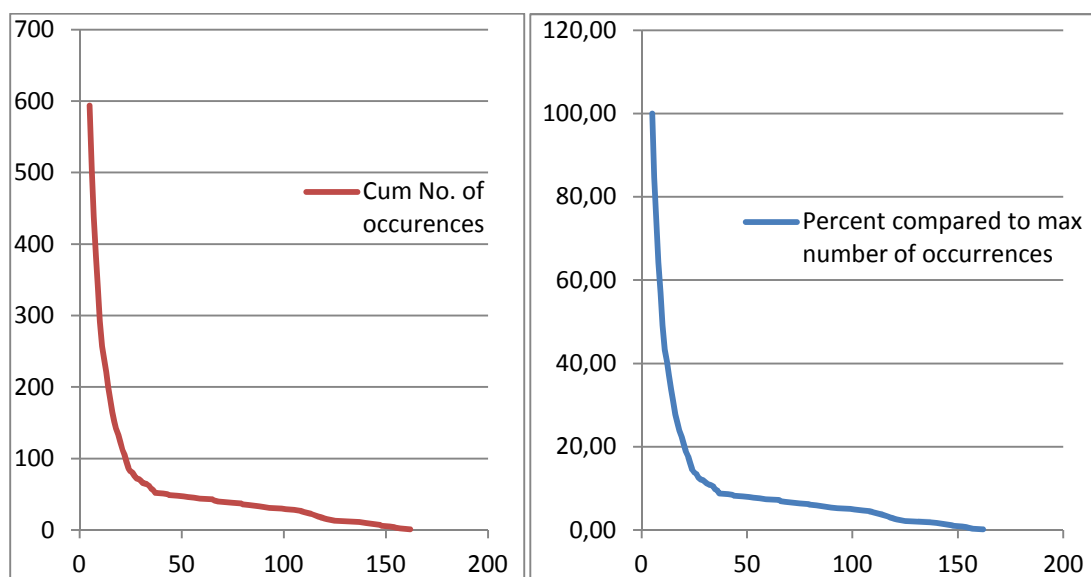
4.4. Άγιος Θωμάς Κρήτη

Το Διάγραμμα 19 παρουσιάζει το ημερήσιο ύψος βροχής P_t από τον σταθμό του Αγίου Θωμά που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς. Το ύψος της βροχής κυμαίνεται από 0,0 έως και 158,5 mm. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής \bar{P} (εξ. 6) είναι 827,1 mm.



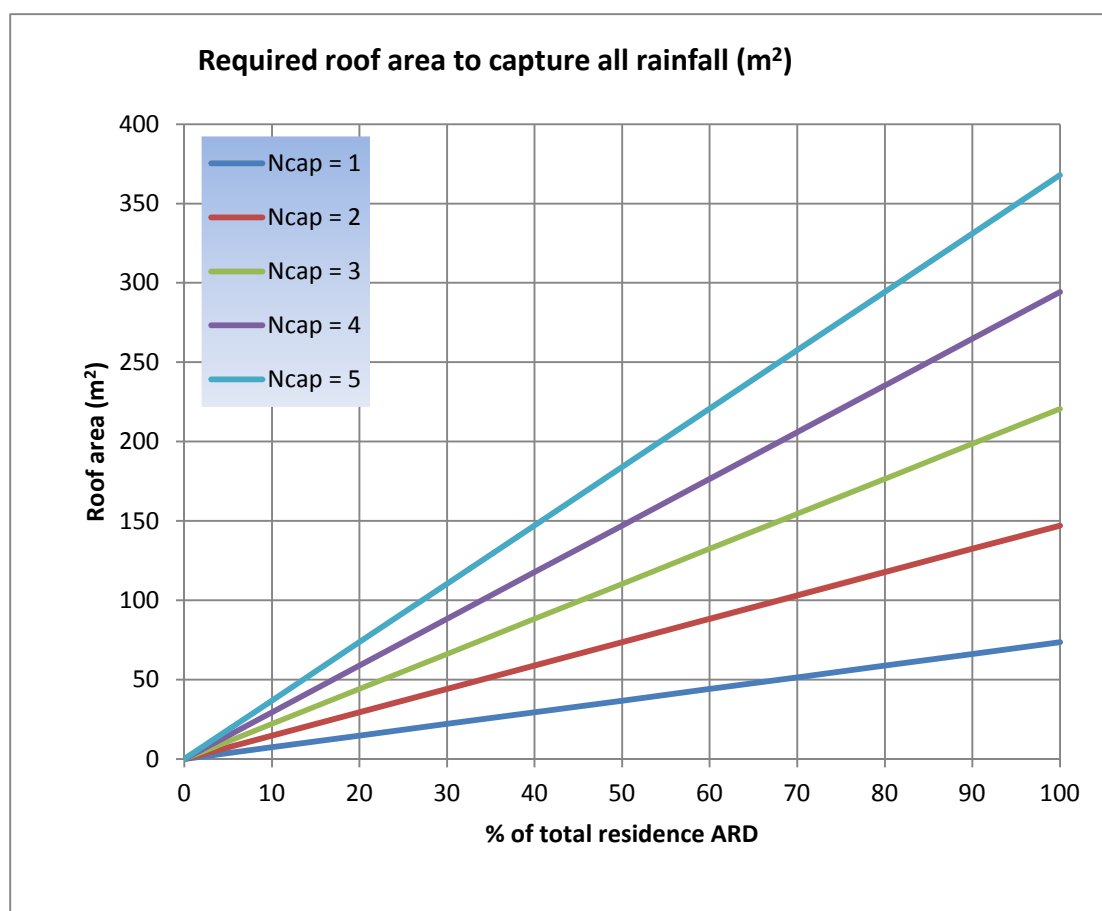
Διάγραμμα 19. Ύψος βροχής Αγίου Θωμά Κρήτης από 1/1/1954 – 31/3/1997.

Η μέγιστη διάρκεια ανομβρίας ήταν 162 ημέρες. Το Διάγραμμα 20 παρουσιάζει μια ανάλυση των ημερών χωρίς βροχή. Σαν ελάχιστη διάρκεια περιόδου ανομβρίας θεωρήθηκαν οι 5 μέρες το οποίο συνέβη 594 φορές κατά την διάρκεια των 40 ετών.



Διάγραμμα 20. Συνολικός αριθμός εμφανίσεων και σχετικό ποσοστό ως συνάρτηση των άνομβρων ημερών για τον Άγιο Θωμά Κρήτης.

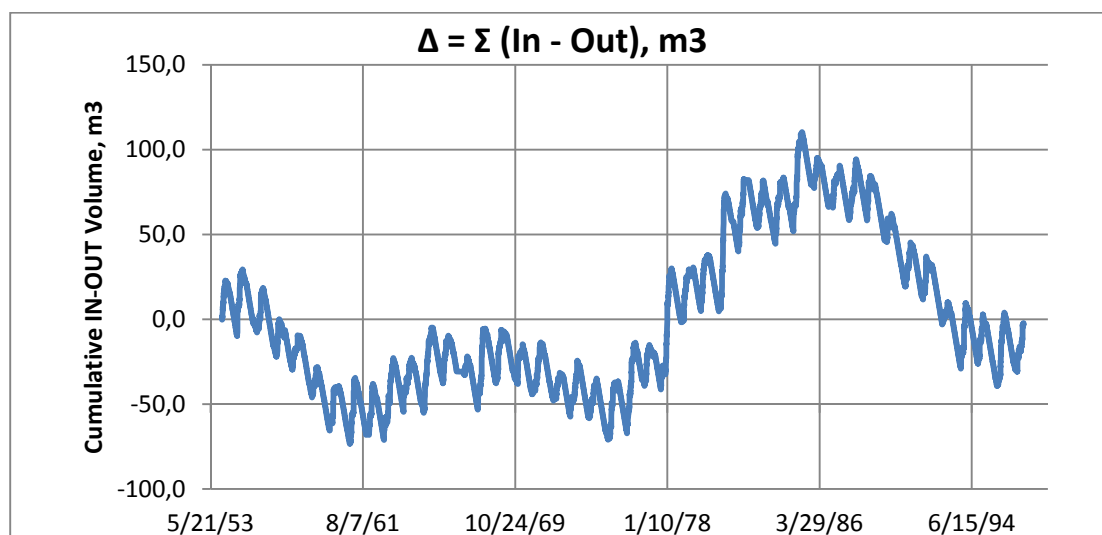
Το Διάγραμμα 21 παρουσιάζει την απαραίτητη περιοχή συλλογής της βροχής στην στέγη ως συνάρτηση του ποσοστού ρ της συνολικής κατανάλωσης νερού και τον αριθμό των κατοίκων. Χρησιμοποιώντας τους τύπους (19) και (20), όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, το διάγραμμα παρουσιάζει το μέγιστο ποσοστό της ετήσιας ζήτησης βρόχινου νερού (annual rainwater demand – ARD) που μπορεί να καλυφθεί, θεωρώντας ότι η αποθηκευτική ικανότητα της δεξαμενής είναι επαρκής για ένα ορισμένο μέγεθος στέγης και αριθμό ατόμων που εξυπηρετούνται.



Διάγραμμα 21. Απαιτούμενο μέγεθος οροφής ώστε να ανταποκρίνεται σε ένα ορισμένο ποσοστό ρ της οικιακής ζήτησης νερού ως συνάρτηση του αριθμού των κατοίκων για τον Άγιο Θωμά Κρήτης ($C=0,9$, $q=150$ L/κάτοικο/μέρα, $\bar{P}=827,1$ mm).

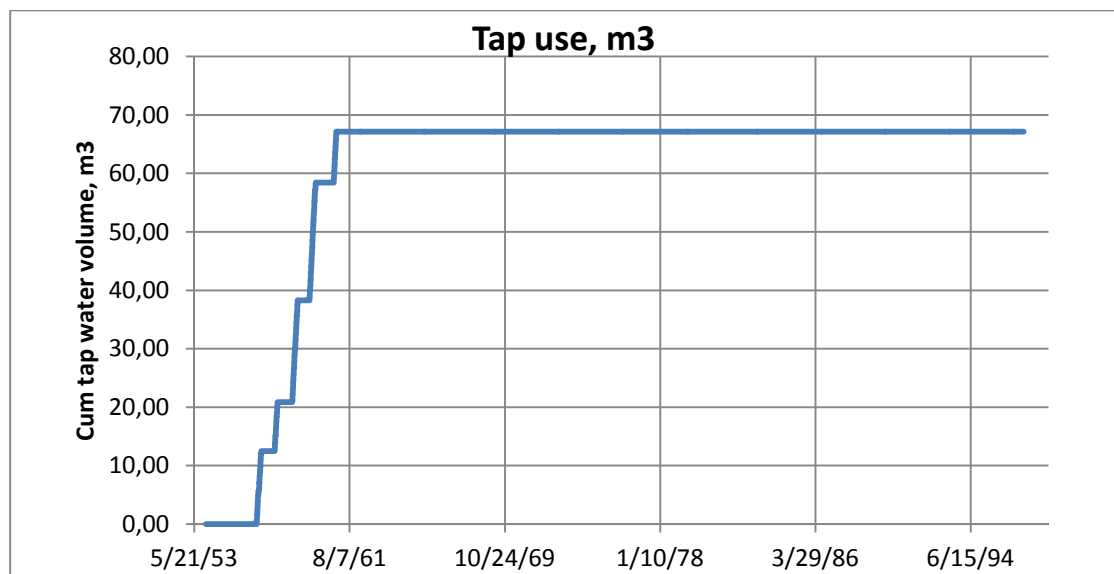
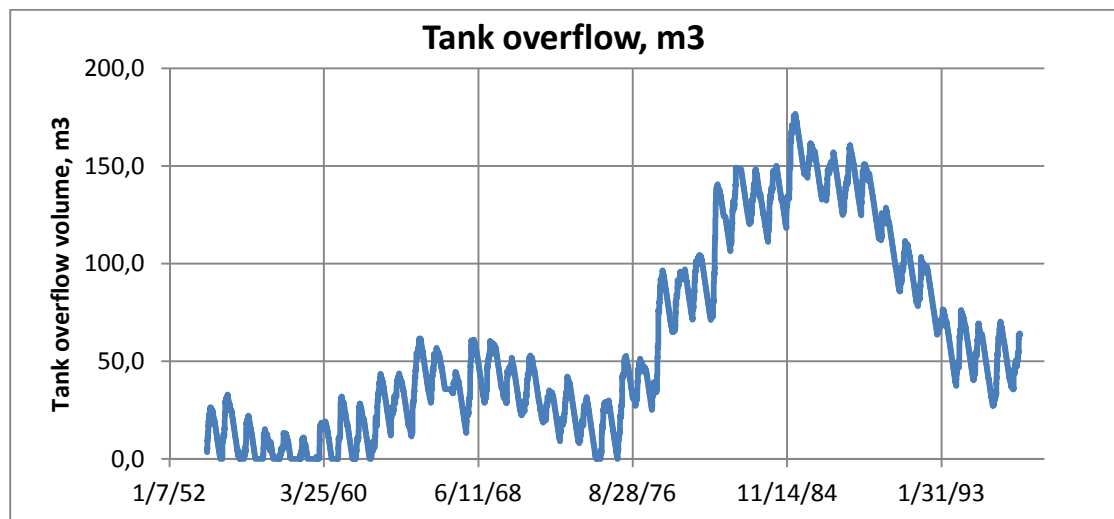
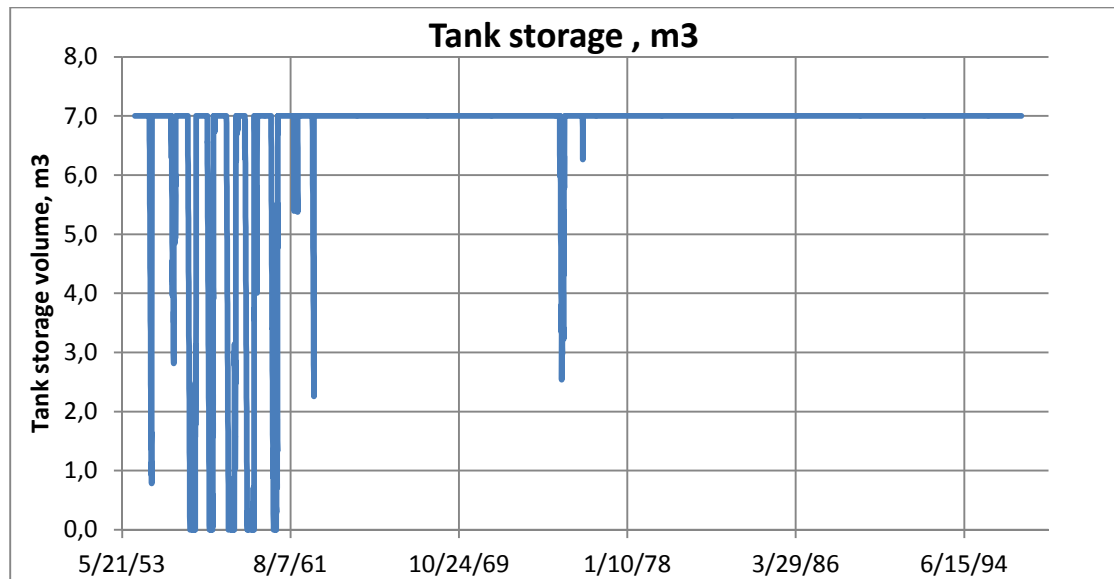
Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο υπολογισμού, το Διάγραμμα 22 δείχνει τις διαφορές των συνολικών όγκων εισροής και των συνολικών όγκων εκροής $\Delta = \Sigma I_i - \Sigma O_i$ σε μια δεξαμενή αποθήκευσης σύμφωνα με τις εξισώσεις (9) και (11). Όπως δείχνει το Διάγραμμα 22 το μέγιστο της διαφοράς Δ συμβαίνει στις

20 Απριλίου 1985 και είναι $110,262 \text{ m}^3$, και το ελάχιστο συμβαίνει στις 24 Οκτωβρίου 1995 και είναι $-39,297 \text{ m}^3$. Επομένως η απαραίτητη χωρητικότητα της δεξαμενής σύμφωνα με την εξίσωση (12) είναι $149,559 \text{ m}^3$. Ο υπολογισμός έγινε θεωρώντας: η περιοχή συλλογής στέγης $A=88,3 \text{ m}^2$, $C=0,9$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$.



Διάγραμμα 22. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για τον Άγιο Θωμά Κρήτης (για $A=88,3 \text{ m}^2$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$).

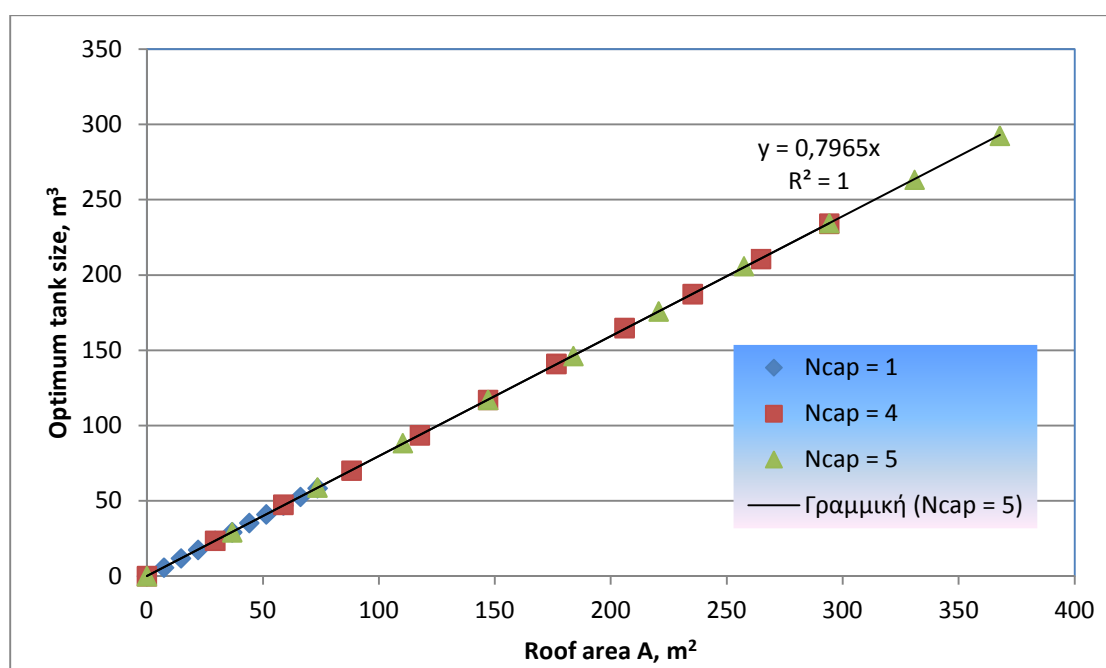
Σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο υπολογισμού που έχει περιγραφεί, τα τυπικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 23. Τα δεδομένα είναι τα εξής: $A=88,3 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, μέγεθος δεξαμενής $V_{\text{tank}}=7000 \text{ L}$, αρχική χωρητικότητα δεξαμενής 7000 L . Το Διάγραμμα 23a δείχνει ότι η δεξαμενή των 7000 L παραμένει γεμάτη το περισσότερο διάστημα αλλά τα πρώτα έτη παρατηρείται να αδειάζει. Στο Διάγραμμα 23b φαίνεται η μεταβολή του όγκου υπερχείλισης. Η μέγιστη υπερχείλιση είναι $176,696 \text{ m}^3$ (20 Απριλίου 1985). Τέλος, το Διάγραμμα 23c παρουσιάζει το συνολικό όγκο νερού που χρησιμοποιήθηκε από το δημόσιο δίκτυο παροχής νερού, το οποίο για το περισσότερο διάστημα είναι $67,159 \text{ m}^3$. Για την πλήρη αποφυγή χρήσης του δημόσιου δικτύου ύδρευσης, ο απαραίτητος όγκος της δεξαμενής είναι $70,070 \text{ m}^3$ θεωρώντας μια αρχικά γεμάτη δεξαμενή.



Διάγραμμα 23. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (a). Όγκος υπερχείλισης (b). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=88,3 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=4$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank}=7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).

Η απαιτούμενη χωρητικότητα της δεξαμενής είναι αυτή που μηδενίζει τη χρήση της δημόσιας ύδρευσης (για δεδομένο A , C , N_{cap} , q και p). Το Διάγραμμα 24 παρουσιάζει το βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής ως συνάρτηση της επιφάνειας της στέγης A (A σχετίζεται με p μέσω Διαγράμματος 21), υποθέτοντας ότι η δεξαμενή είναι αρχικά πλήρης. Μια γραμμική γραμμή παλινδρόμησης επίσης ταιριάζει με τα δεδομένα, παρουσιάζοντας ένα σχεδόν τέλειο συντελεστή προσδιορισμού R^2 :

$$V_{\text{tank,opt}} = 0,7965 A \quad (24)$$

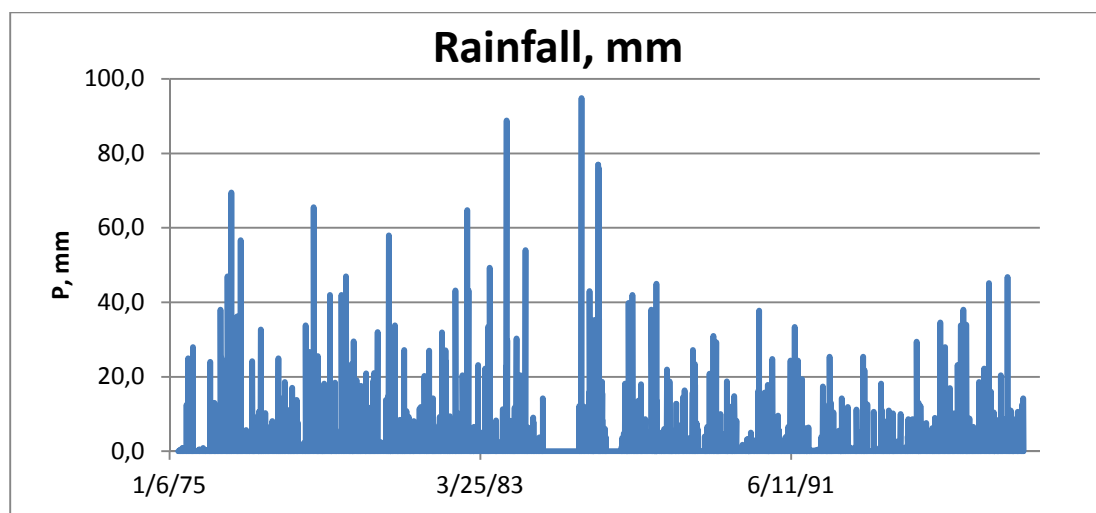


Διάγραμμα 24. Βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής ως συνάρτηση της επιφάνειας στέγης για τον Άγιο Θωμά Κρήτης.

Αυτή η εξίσωση δεν είναι καθολική, αλλά εξαρτάται από το σύνολο των βροχοπτώσεων που χρησιμοποιείται (σταθμός Αγίου Θωμά), και από τις τιμές για τις παραμέτρους $C=0.9$ και $q=150$ L/κάτοικο/d.

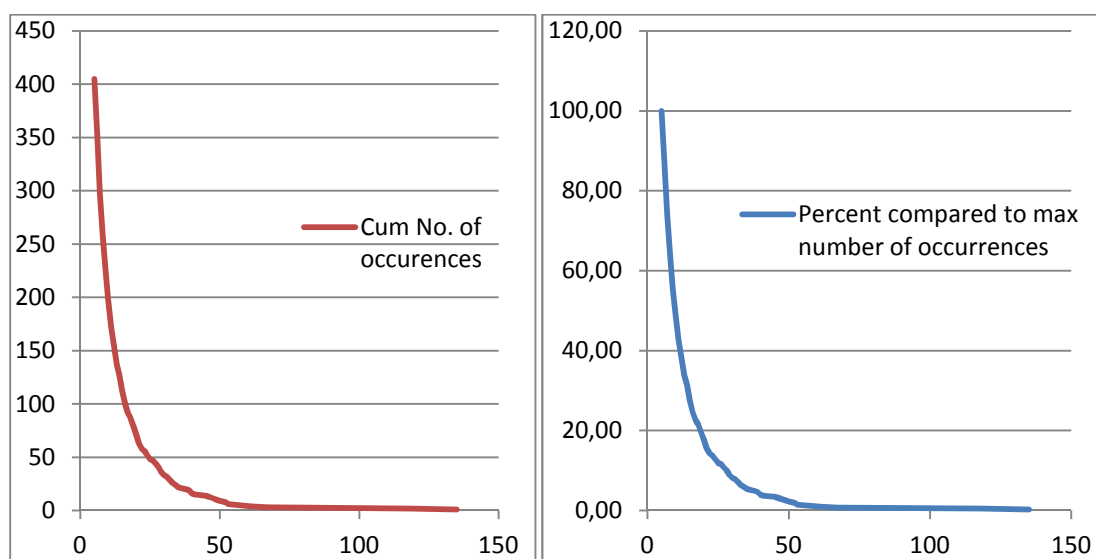
4.5. Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης

Το Διάγραμμα 25 παρουσιάζει το ημερήσιο ύψος βροχής P_t από τον σταθμό του Ωραιόκαστρου που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς. Το ύψος της βροχής κυμαίνεται από 0,0 έως και 94,8 mm. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής \bar{P} (εξ. 6) είναι 377,3 mm.



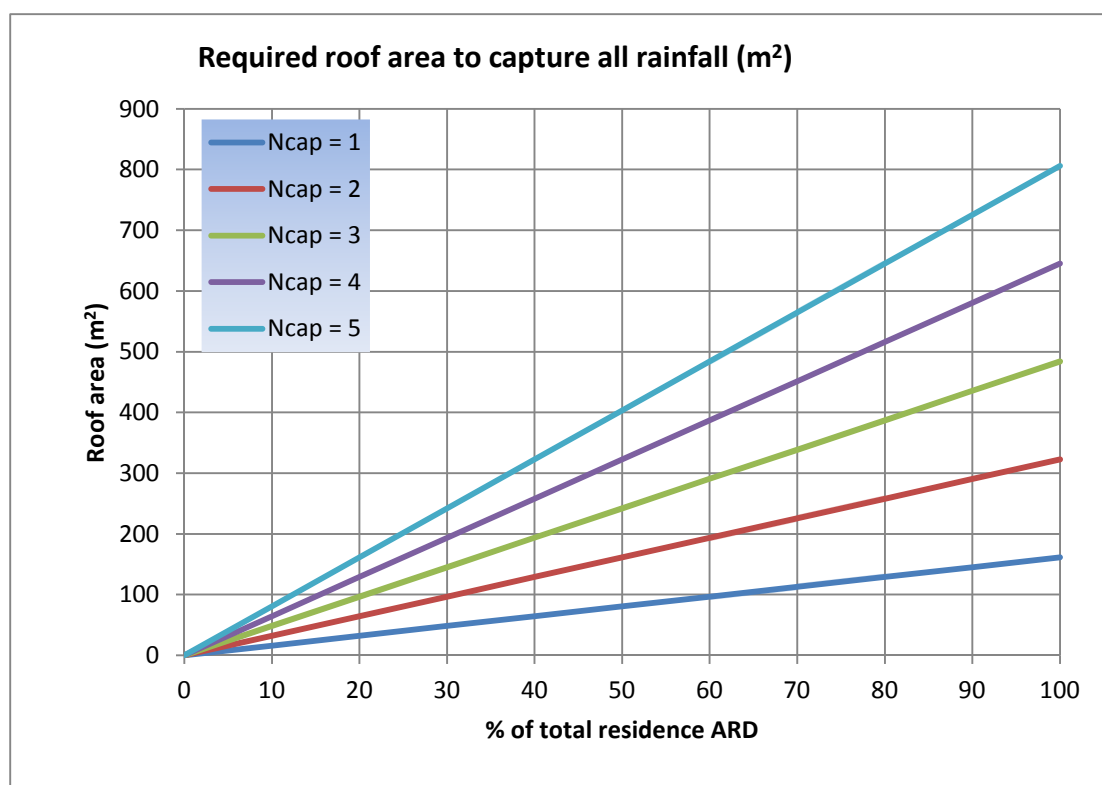
Διάγραμμα 25. Ύψος βροχής Ωραιόκαστρου Θεσσαλονίκης από 1/4/1975–31/7/1997.

Η μέγιστη διάρκεια ανομβρίας ήταν 135 ημέρες. Το Διάγραμμα 26 παρουσιάζει μια ανάλυση των ημερών χωρίς βροχή. Σαν ελάχιστη διάρκεια περιόδου ανομβρίας θεωρήθηκαν οι 5 μέρες το οποίο συνέβη 405 φορές κατά την διάρκεια των 20 ετών.



Διάγραμμα 26. Συνολικός αριθμός εμφανίσεων και σχετικό ποσοστό ως συνάρτηση των άνομβρων ημερών για το Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης.

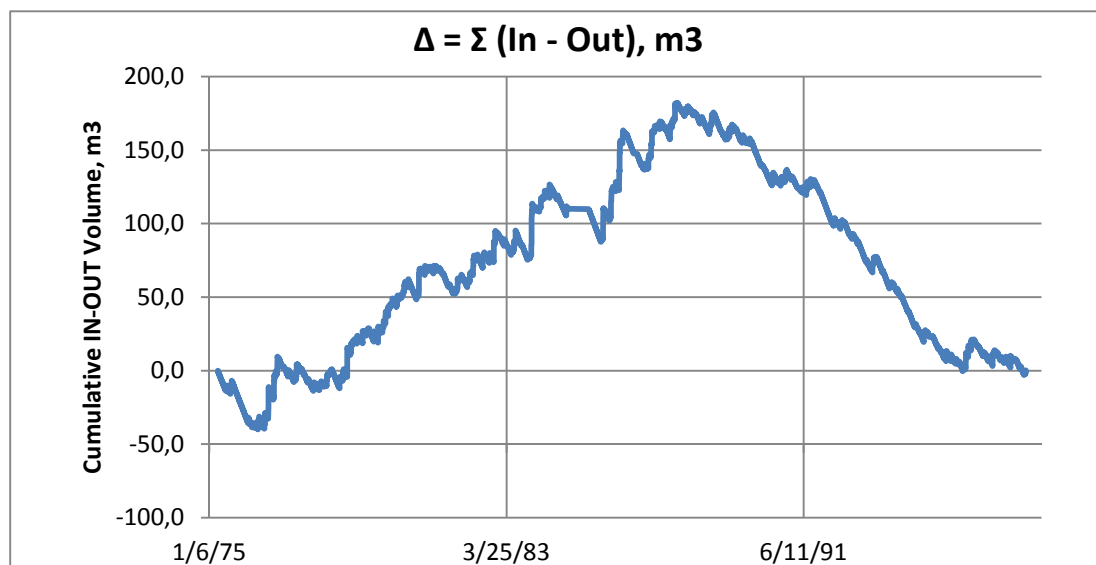
Το Διάγραμμα 27 παρουσιάζει την απαραίτητη περιοχή συλλογής της βροχής στην στέγη ως συνάρτηση του ποσοστού ρ της συνολικής κατανάλωσης νερού και τον αριθμό των κατοίκων. Χρησιμοποιώντας όπως έχει αναφερθεί τους τύπους (19) και (20), το διάγραμμα παρουσιάζει το μέγιστο ποσοστό της ετήσιας ζήτησης βρόχινου νερού (annual rainwater demand – ARD) που μπορεί να καλυφθεί, θεωρώντας ότι η αποθηκευτική ικανότητα της δεξαμενής είναι επαρκής για ένα ορισμένο μέγεθος στέγης και αριθμό ατόμων που εξυπηρετούνται.



Διάγραμμα 27. Απαιτούμενο μέγεθος οροφής ώστε να ανταποκρίνεται σε ένα ορισμένο ποσοστό ρ της οικιακής ζήτησης νερού ως συνάρτηση του αριθμού των κατοίκων για το Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης ($C=0,9$, $q=150$ L/κάτοικο/μέρα, $\bar{P}=377,3$ mm).

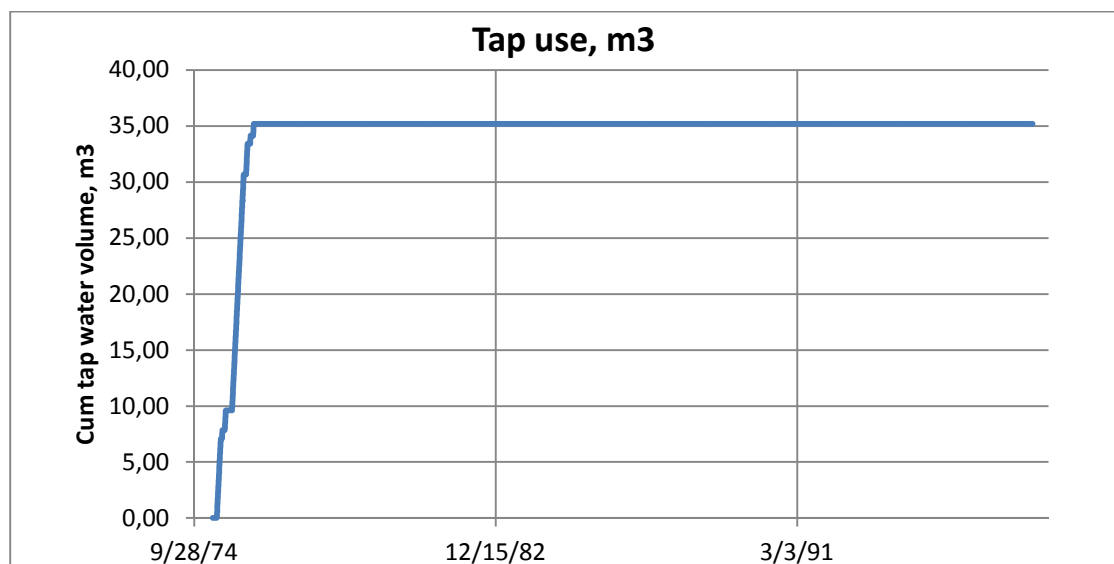
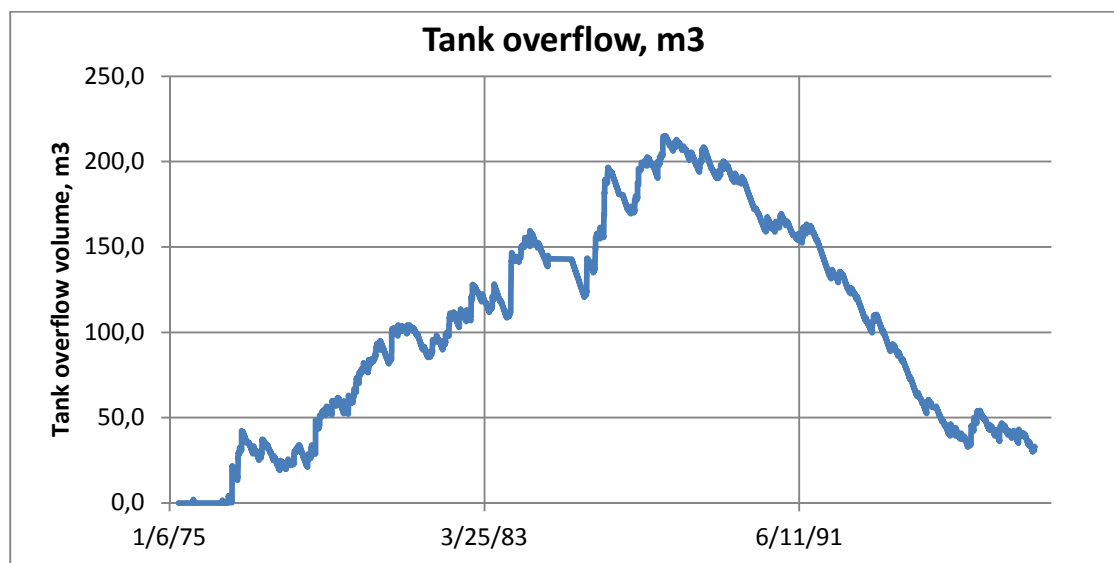
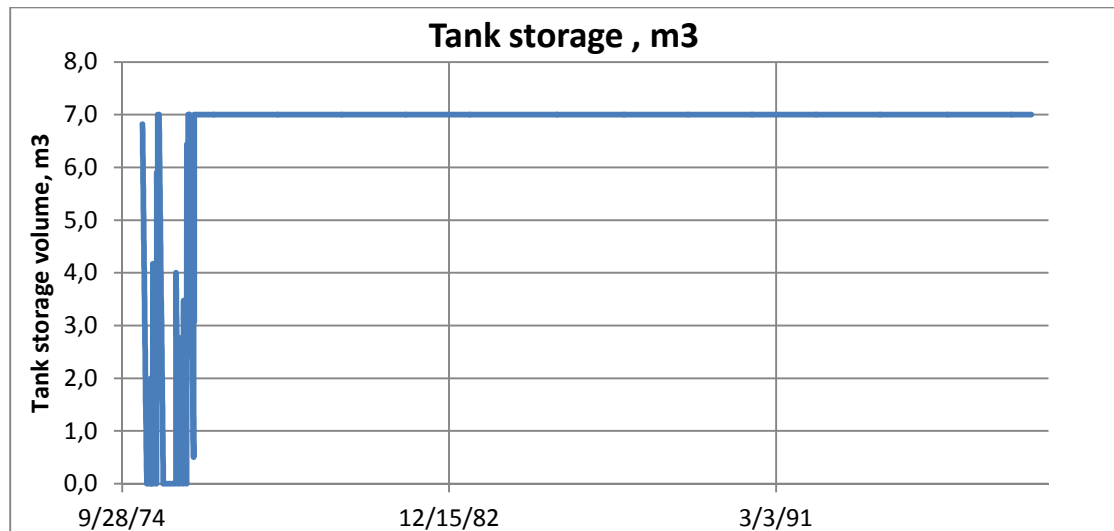
Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο υπολογισμού, το Διάγραμμα 28 δείχνει τις διαφορές των συνολικών όγκων εισροής και των συνολικών όγκων εκροής $\Delta = \Sigma I_i - \Sigma O_i$ σε μια δεξαμενή αποθήκευσης σύμφωνα με τις εξισώσεις (9) και (11). Όπως δείχνει το Διάγραμμα 28 το μέγιστο της διαφοράς Δ συμβαίνει στις 14 Δεκεμβρίου 1987 και είναι $182,155 \text{ m}^3$, και το ελάχιστο συμβαίνει στις 14

Ιουλίου 1997 και είναι $-2,989 \text{ m}^3$. Επομένως η απαραίτητη χωρητικότητα της δεξαμενής σύμφωνα με την εξίσωση (12) είναι $185,144 \text{ m}^3$. Ο υπολογισμός έγινε θεωρώντας: η περιοχή συλλογής στέγης $A=193,5 \text{ m}^2$, $C=0,9$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$.



Διάγραμμα 28. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για το Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης (για $A=193,5 \text{ m}^2$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$).

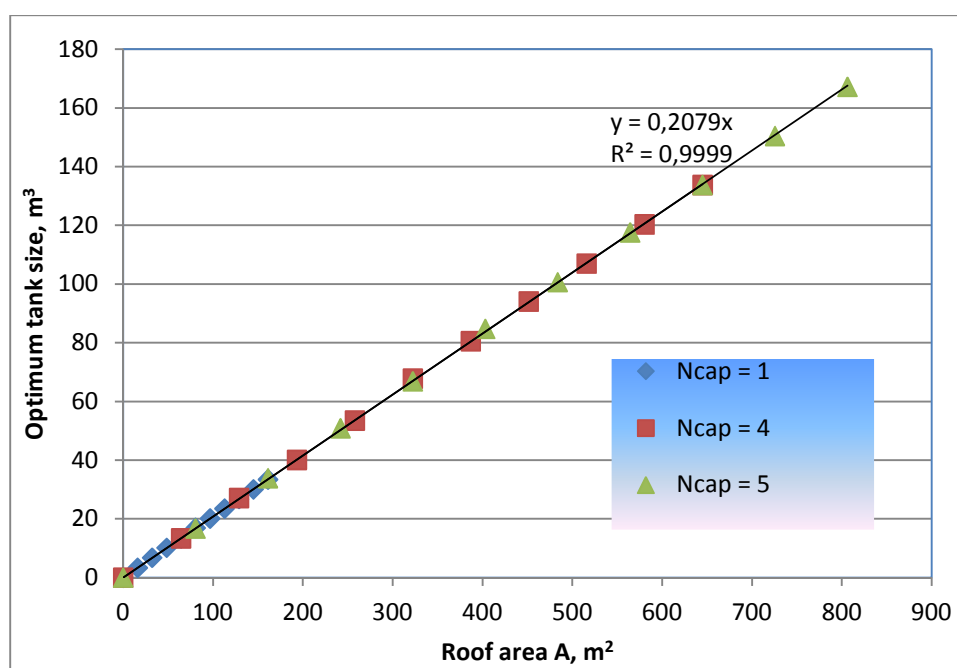
Σύμφωνα με τη δεύτερη μέθοδο υπολογισμού που έχει περιγραφεί, τα τυπικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 29. Τα δεδομένα είναι τα εξής: $A=193,5 \text{ m}^2$, $C=0,9$, $N_{\text{cap}}=4$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, μέγεθος δεξαμενής $V_{\text{tank}}=7000 \text{ L}$, αρχική χωρητικότητα δεξαμενής 7000 L . Το Διάγραμμα 29a δείχνει ότι η δεξαμενή των 7000 L παραμένει γεμάτη το περισσότερο διάστημα αλλά τα πρώτα έτη παρατηρείται να αδειάζει. Στο Διάγραμμα 29b φαίνεται η μεταβολή του όγκου υπερχείλισης. Η μέγιστη υπερχείλιση είναι $215,100 \text{ m}^3$ (14 Δεκεμβρίου 1987). Τέλος, το Διάγραμμα 29c παρουσιάζει το συνολικό όγκο νερού που χρησιμοποιήθηκε από το δημόσιο δίκτυο παροχής νερού, το οποίο για το περισσότερο διάστημα είναι $35,198 \text{ m}^3$. Για την πλήρη αποφυγή χρήσης του δημόσιου δικτύου ύδρευσης, ο απαραίτητος όγκος της δεξαμενής είναι $40,125 \text{ m}^3$ θεωρώντας μια αρχικά γεμάτη δεξαμενή.



Διάγραμμα 29. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (a). Όγκος υπερχείλισης (b). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=193,5 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=4$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank}=7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).

Η απαιτούμενη χωρητικότητα της δεξαμενής είναι αυτή που μηδενίζει τη χρήση της δημόσιας ύδρευσης (για δεδομένο A , C , N_{cap} , q και p). Το Διάγραμμα 30 παρουσιάζει το βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής ως συνάρτηση της επιφάνειας της στέγης A (A σχετίζεται με p μέσω Διαγράμματος 27), υποθέτοντας ότι η δεξαμενή είναι αρχικά πλήρης. Μια γραμμική γραμμή παλινδρόμησης επίσης ταιριάζει με τα δεδομένα, παρουσιάζοντας ένα σχεδόν τέλειο συντελεστή προσδιορισμού R^2 :

$$V_{\text{tank,opt}} = 0,2079 A \quad (25)$$



Διάγραμμα 30. Βέλτιστο μέγεθος της δεξαμενής ως συνάρτηση της επιφάνειας στέγης για το Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης .

Αυτή η εξίσωση δεν είναι καθολική, αλλά εξαρτάται από το σύνολο των βροχοπτώσεων που χρησιμοποιείται (σταθμός Ωραιόκαστρου), και από τις τιμές για τις παραμέτρους $C=0.9$ και $q=150$ L/κάτοικο/d.

4.6. Σύγκριση Αποτελεσμάτων

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, συμπεραίνεται ότι οι δύο μέθοδοι υπολογισμού βγάζουν διαφορετικά μεγέθη δεξαμενών για κάθε περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, η δεύτερη μέθοδος υπολογισμού βγάζει οικονομικότερες δεξαμενές σε σχέση με την πρώτη μέθοδο, καθώς, μηδενίζοντας τη χρήση του δημόσιου δικτύου ύδρευσης, τα μεγέθη που προτείνονται είναι μικρότερα κατά πολύ από αυτά της πρώτης μεθόδου.

Σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο υπολογισμού, για το δεδομένο παράδειγμα διαστασιολόγησης που χρησιμοποιήθηκε, το μεγαλύτερο μέγεθος δεξαμενής βρίσκεται στην περιοχή της Ηγουμενίτσας (187 m^3) και το μικρότερο στην περιοχή του Βύρωνα Αττικής (131 m^3). Ενδιάμεσα είναι το Ωραιόκαστρο Θεσ/νίκης (185 m^3), ο Άγιος Θωμάς στην Κρήτη (150 m^3) και η Μυτιλήνη (148 m^3). Τα αποτελέσματα είναι σχετικά μεγάλα, καθώς για τον υπολογισμό του μεγέθους χρησιμοποιείται όλος ο όγκος εισροής και εκροής, δηλαδή δεν υπάρχουν απώλειες νερού λόγω υπερχειλίσης. Ο υπολογισμός γίνεται με σκοπό η δεξαμενή να μπορεί να αποθηκεύει όλο το νερό της βροχής.

Αντίθετα, με τη δεύτερη μέθοδο υπολογισμού, τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά. Το μεγαλύτερο μέγεθος απαιτείται στο Βύρωνα Αττικής (90 m^3) και το μικρότερο στην Ηγουμενίτσα (26 m^3). Ακολουθούν ο Άγιος Θωμάς στην Κρήτη (70 m^3), η Μυτιλήνη (70 m^3) και το Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης (40 m^3). Η μέθοδος απαιτεί την αποφυγή χρήσης του δημόσιου δικτύου ύδρευσης, επιτρέποντας την υπερχειλίση επιπλέον νερού που δεν χρειάζεται για την κάλυψη των αναγκών χρήσης.

Παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα είναι εν μέρει αντεστραμμένα μεταξύ των μεθόδων. Στην πρώτη μέθοδο η περιοχή του Βύρωνα χρειάζεται το μικρότερο μέγεθος δεξαμενής, καθώς έχει μικρότερο βροχομετρικό ύψος συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιοχές. Οπότε το νερό προς αποθήκευση είναι λιγότερο σε σύγκριση με εκείνου του Ωραιόκαστρου ή της Ηγουμενίτσας, περιοχές οι οποίες έχουν πολύ συχνές βροχοπτώσεις. Αυτό δικαιολογείται γιατί το μεν Ωραιόκαστρο βρίσκεται στην κεντρική Μακεδονία, η δε Ηγουμενίτσα στη δυτική Ελλάδα, όπου σημειώνονται τα μεγαλύτερα βροχομετρικά ύψη.

Στην δεύτερη μέθοδο, όμως, η περιοχή του Βύρωνα απαιτεί το μεγαλύτερο μέγεθος δεξαμενής σε σχέση με τις άλλες περιοχές, καθώς έχει το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ανομβρίας (177 μέρες) που θα πρέπει να καλυφθεί. Υπολογίζεται έτσι το μέγεθος αυτό που χρειάζεται μόνο για την κάλυψη του συγκεκριμένου ποσοστού αναγκών με σκοπό την αποφυγή της χρήσης του δημόσιου δικτύου ύδρευσης ιδιαίτερα κατά την περίοδο της ανομβρίας. Επομένως, η δεξαμενή θα πρέπει να έχει ένα ελάχιστο μέγεθος επάρκειας νερού ώστε να μην αδειάζει.

Παράλληλα παρατηρείται ότι το εμβαδόν της στέγης συλλογής του βρόχινου νερού δεν είναι ίδιο για κάθε περιοχή αλλά και για κάθε περίπτωση αριθμού ατόμων που εξυπηρετούνται. Όσο μεγαλύτερο είναι το μέσο ύψος βροχής, τόσο μικρότερη είναι και η επιφάνεια. Και αντίστοιχα, όσο περισσότερα άτομα εξυπηρετούνται, τόσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια συλλογής που απαιτείται και κατ' επέκταση και το μέγεθος της δεξαμενής. Για παράδειγμα, το εμβαδόν που απαιτείται για την κάλυψη του 30% των αναγκών ενός ατόμου είναι μικρότερο από αυτό για τέσσερα ή πέντε άτομα.

Τέλος, παρατηρείται ότι τα μεγέθη που προκύπτουν από τη δεύτερη μέθοδο είναι μικρότερα των μεγεθών της πρώτης μεθόδου, κάτι το οποίο πιθανόν επιφέρει μεγαλύτερο οικονομικό κόστος κατασκευής τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα μεγέθη που προέκυψαν από τη δεύτερη μέθοδο να είναι πιο εφικτά-ρεαλιστικά από άποψη μεγέθους δεξαμενής και κατ' επέκταση πιο οικονομικά για το αντίστοιχο νοικοκυριό.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό νερό για οικιακή χρήση. Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του 21^{ου} αιώνα είναι να ξεπεραστεί αυτή η αυξανόμενη έλλειψη νερού. Η συλλογή βρόχινου νερού είναι μια μέθοδος ιδιαίτερα οικονομική και χρήσιμη για εξοικονόμηση τόσο χρημάτων όσο και υδατικών πόρων. Πολλές πραγματικές ελλείψεις νερού μπορούν να εξαλειφθούν αν η συλλογή των όμβριων υδάτων ασκείται ευρύτερα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του μεγέθους μιας τέτοιας δεξαμενής συλλογής όμβριων υδάτων δίνουν κάποιες ενδεικτικές τιμές, οι οποίες βέβαια εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως το βροχομετρικό ύψος κάθε περιοχής, το σύνολο των ατόμων που εξυπηρετούνται, το ποσοστό των αναγκών που θα καλυφθούν, κ.α. Επομένως, τα αποτελέσματα που προκύπτουν μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη.

Πέρα από τον καθορισμό του μεγέθους της δεξαμενής, πρέπει να γίνουν και άλλες μελέτες. Για παράδειγμα, θα πρέπει να γίνει ο καθορισμός του συστήματος σωληνώσεων, του υλικού της στέγης και της δεξαμενής και το μέρος που θα τοποθετηθεί η δεξαμενή. Άρα, ο προσδιορισμός του μεγέθους είναι εν μέρει ένα σημαντικό κομμάτι που πρέπει να διευκρινιστεί αλλά αποτελεί μέρος ενός ενιαίου συστήματος ύδρευσης.

Τέλος, συμπεραίνοντας και από τα αποτελέσματα, περαιτέρω μελέτες και έρευνες πάνω στο αντικείμενο μπορούν να υλοποιηθούν, καθώς είναι ένα πολλά υποσχόμενο σύστημα ύδρευσης, ειδικά για περιοχές με δυσκολία πρόσβασης σε πηγές νερού, όπως τα νησιά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- LaBranche A., Wack H.-O., Crawford D., Crawford E., Sojka N.J., DVM and Cabell Brand (2007), *Virginia Rainwater Harvesting Manual*. The Cabell Brand Center, Virginia.
- Angelakis, A.N. *Evolution of Rainwater Harvesting and Use in Crete, Hellas through the Millennia*. In Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2013), Athens, Greece, 5–7 September 2013.
- Antoniou, G.P. (2010) *Ancient Greek Lavatories: Operation with Reused Water*. In *Ancient Water Technologies*; Mays, L.M., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands.
- Australian Government Department Of Health and Ageing (2004), *Guidance on Use of Rainwater Tanks*.
- DIN 1989-1. (2002). *Rainwater Harvesting Systems – Part 1: Planning, Installation, Operation and Maintenance*. German Institute for Standardisation, Berlin.
- Fewkes A. and Butler D. (2000) Simulating the performance of rainwater collection and reuse systems using behavioural models [Journal] // *Building Services Engineering Research and Technology*. – 2: Vol.21, pp. 99 – 106.
- Fewkes A.C. and Warm P. (2000) A method of modeling the performance of rainwater collection systems in the UK [Journal] // *Building Services Engineering Research and Technology*, pp. 257 – 265.
- Fuller CO, Martin TJ & Walters RP (1981), *Quality aspects of water stored in domestic rainwater tanks (a preliminary study)*, Engineering and Water Supply Department, South Australia.
- Gould, J. and Nissen-Petersen, E. (1999) *Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply: Design, construction and implementation*. IT Publications, London.
- Hamdan S.M. (2009) A literature based study of stormwater harvesting as a new water resource [Journal] // *Water Science & Technology*. pp. 1327-1339.

- Imteaz M.A., Shanableh A., Rahman A., Ahsan A. (2011), *Optimisation of rainwater tank design from large roofs: a case study in Melbourne, Australia, Res. Conserv. Recycl.*, 55, pp.1022–1029.
- LaBranche, Wack, Sojka, Crawford, Crawford, DVM and Cabell Brand. (2007). *Virginia Rainwater Harvesting Manual*, Salem VA, [προσπελάθηκε 30 Ιουνίου 2014] www.cabellbrandcenter.org.
- Martin TJ (1980), *Supply aspects of domestic rainwater tanks*, South Australian Department for the Environment, Adelaide.
- Mays, L.W. (2007) Water sustainability of ancient civilizations in Mesoamerica and the American southwest. // *Water Sci. Technol. Water Supply*, 7, pp. 229–236.
- Pushard, D (2007). *Rainwater harvesting: comparing storage solutions*. [προσπελάθηκε 30 Ιουνίου 2014]. Διαθέσιμο: www.harvesth2o.com/rainwaterstorage.shtml.
- Rees D. and Ahmed S. Rainwater Harvesting [Online] // Practical action. – The Schumacher Centre for Technology and Development, Feb.2002.–8/5/2014. http://practicalaction.org/docs/technical_information_service/rainwater_harvesting.pdf.
- Souza E.L., Ghisi E. (2012), *Potable water savings by using rainwater for non-potable uses in houses*, *Water*, 4, 607-628.
- Texas Water Development Board (2005), *The Texas manual on rainwater harvesting, Third edition*. Texas Water Development Board.
- Tsihrintzis V. and Baltas E. (2013), *Sizing of rainwater harvesting tank for in-house water supply*, In Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2013), Athens, Greece
- Victorian Department of Natural Resources and Environment (1997), *Investigation of microbiological and chemical quality in rainwater tanks in Victoria*, report.
- Ward S., Memon F.A. and Butler D. (2010), Rainwater harvesting model-based design evaluation [Article] // *Water Science and Technology*. – 1: Vol. 61, pp. 85-96.

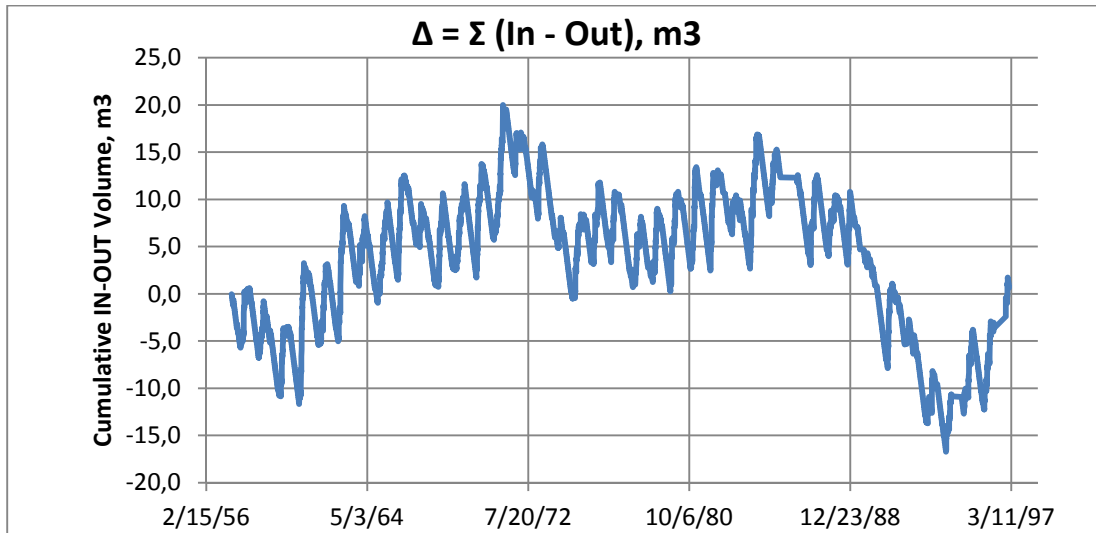
- World Bank (1986) Rainwater Roof Catchment Systems. *Information and Training for low-cost Water Supply and Sanitation*. World Bank Publications, Washington USA.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

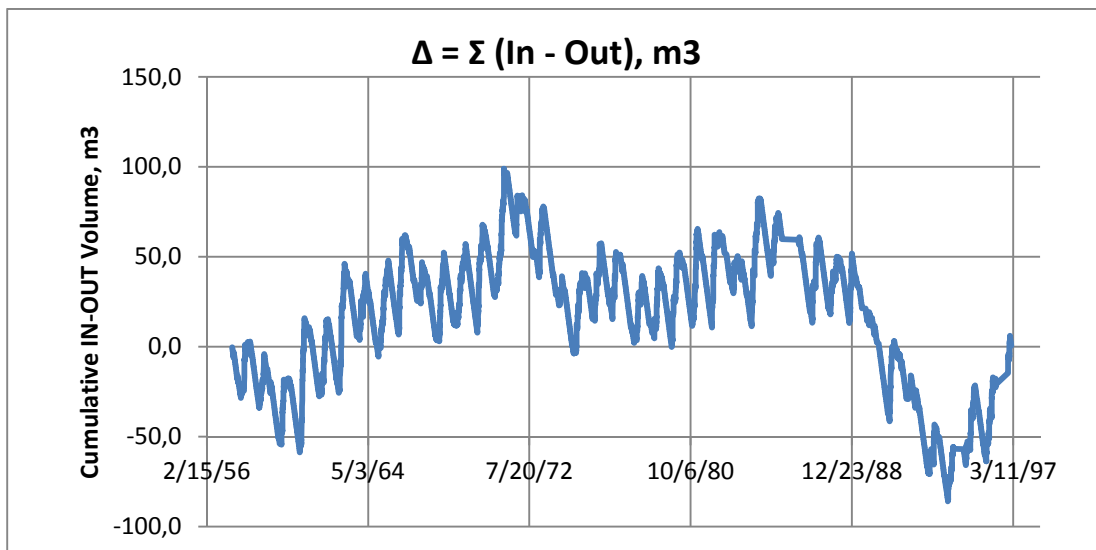
(Στο Παράρτημα παρατίθενται τα διαγράμματα διαφορών μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από τη δεξαμενή για την πρώτη μέθοδο και τα διαγράμματα του υπολογισμένου όγκου αποθήκευσης δεξαμενής, του υπολογισμένου όγκου υπερχείλισης και του όγκου από το δημόσιο δίκτυο παροχής για τη δεύτερη μέθοδο για $N_{cap}=1$ και $N_{cap}=5$ για κάθε περιοχή.)

1. Μυτιλήνη

1.1. Πρώτη Μέθοδος

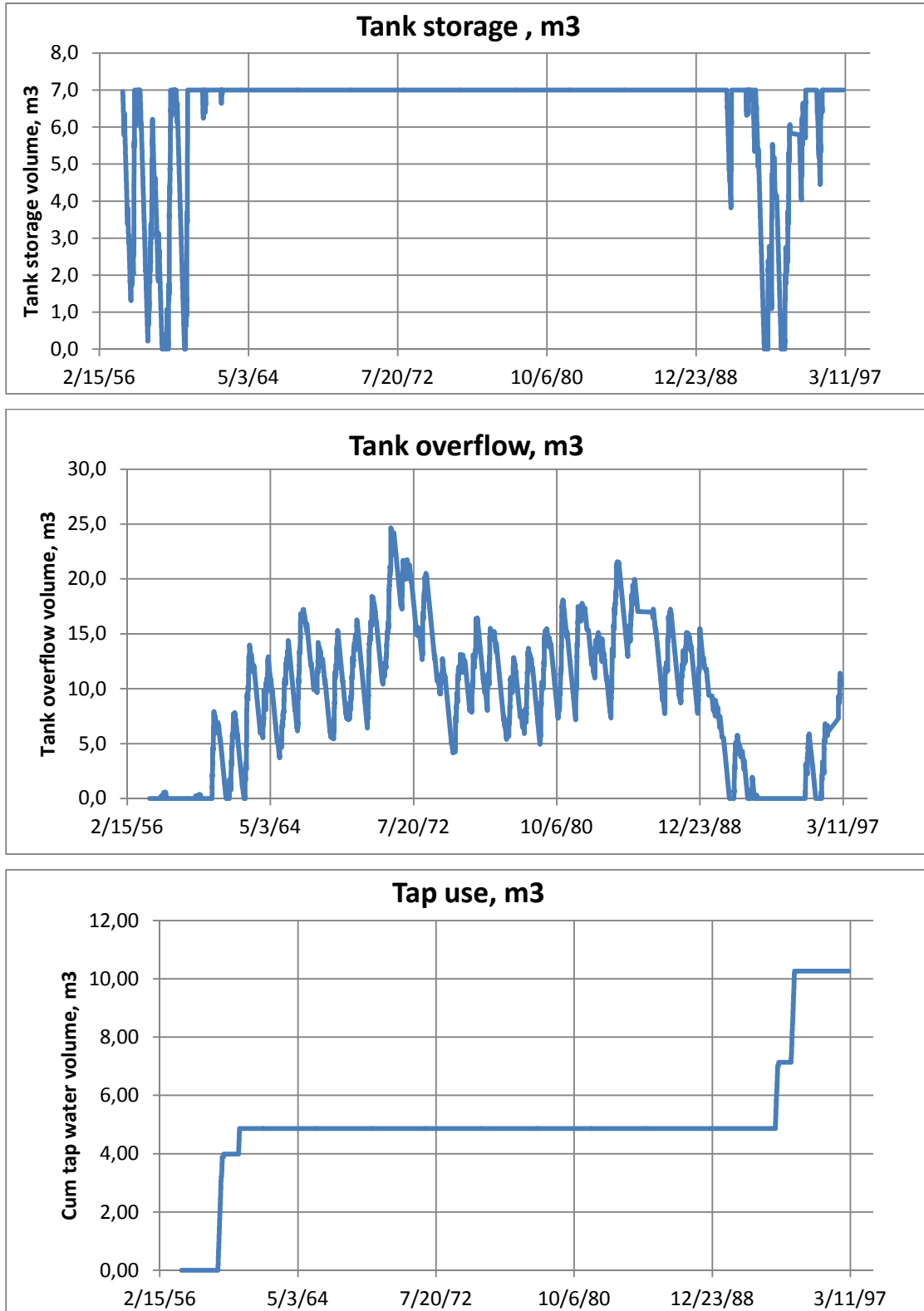


Διάγραμμα 1.1.1. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για τη Μυτιλήνη (για $A=24,1 \text{ m}^2$, $N_{cap}=1$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$).

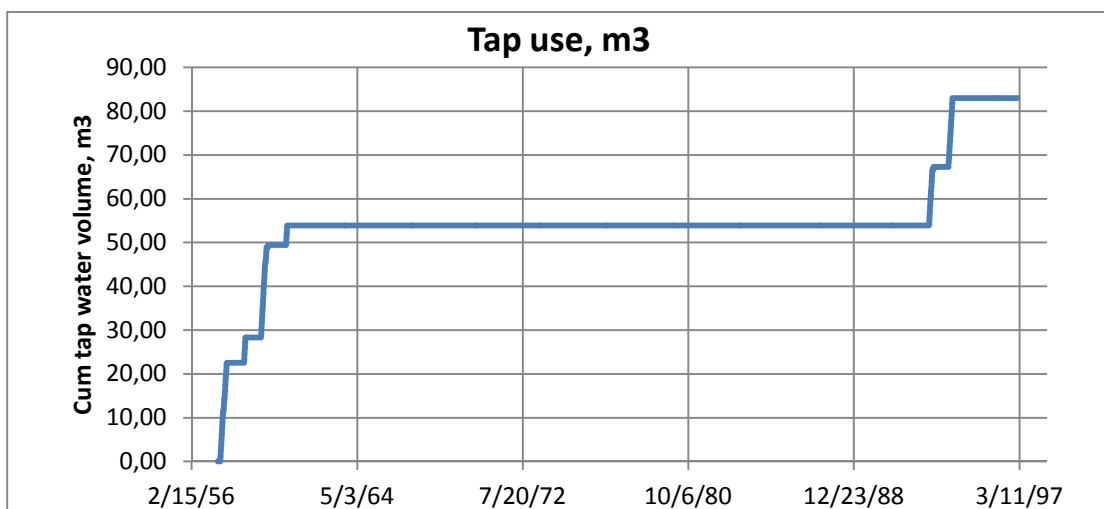
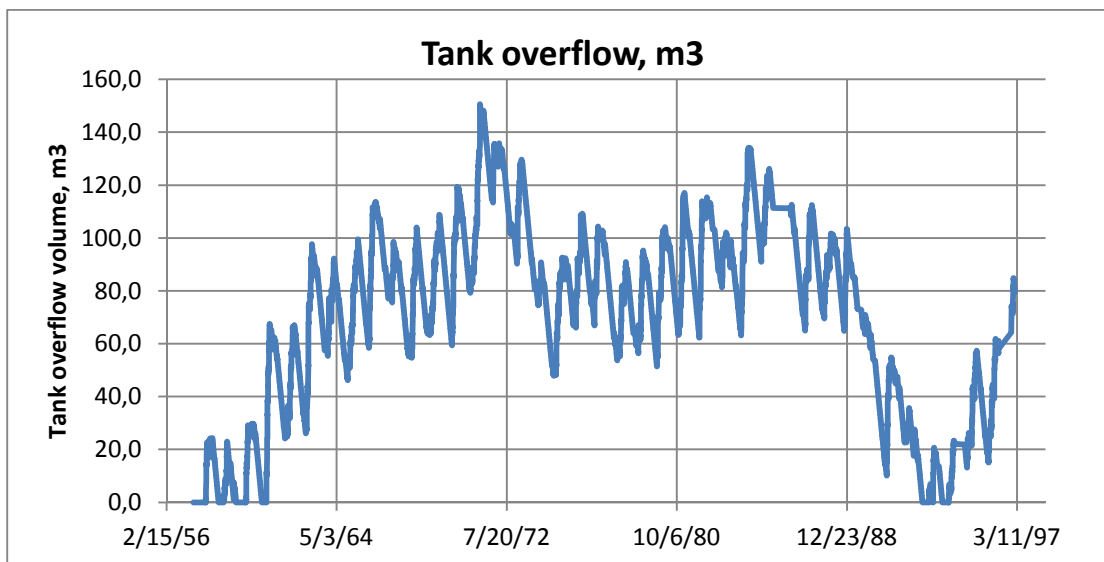
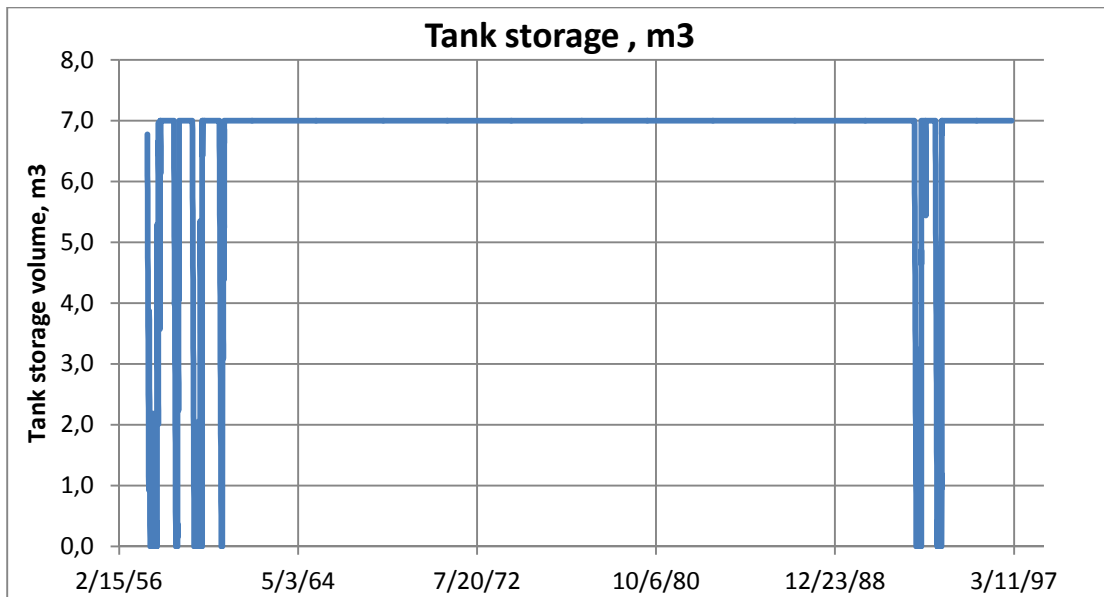


Διάγραμμα 1.1.2. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για τη Μυτιλήνη (για $A=120,4 \text{ m}^2$, $N_{cap}=5$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$).

1.2. Δεύτερη Μέθοδος



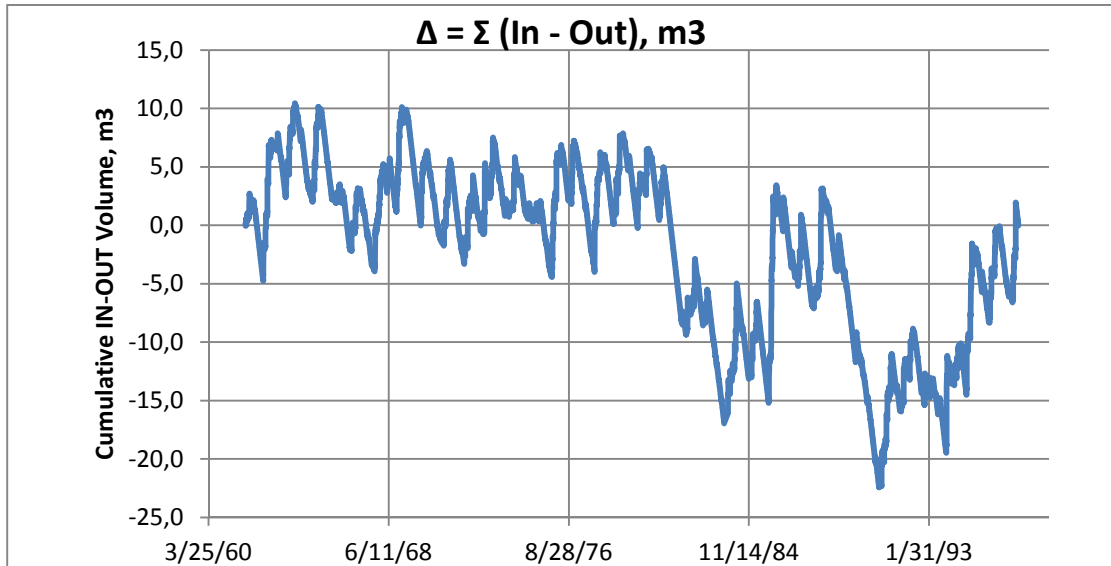
Διάγραμμα 1.2.1. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (a). Όγκος υπερχείλισης (b). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=24,1 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=1$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank}=7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).



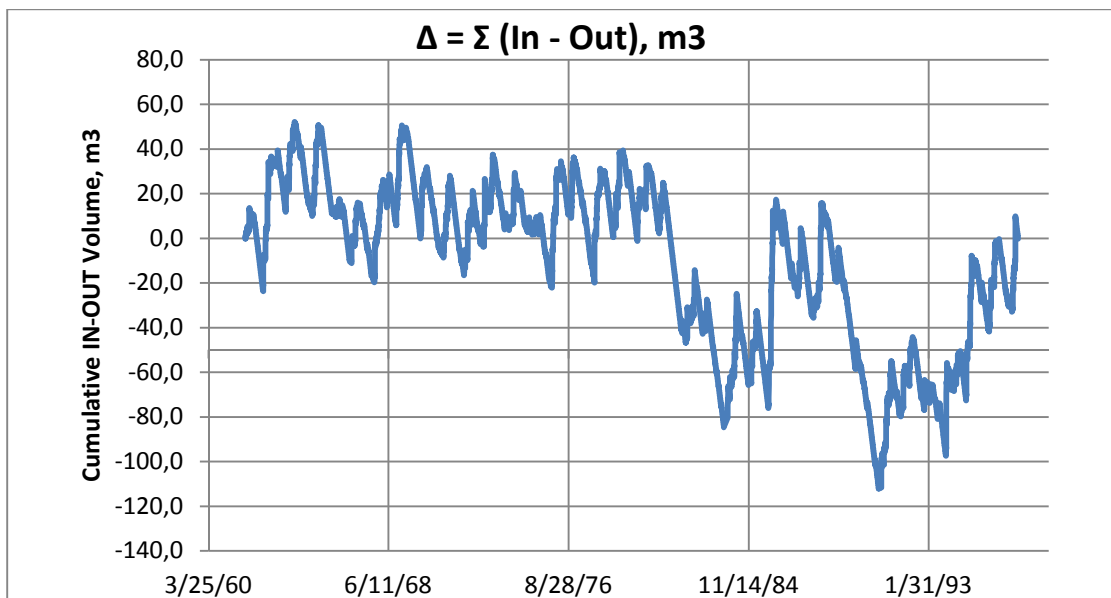
Διάγραμμα 1.2.2. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (a). Όγκος υπερχείλισης (b). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=120,4 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=5$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank}=7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).

2. Βύρωνας

2.1. Πρώτη Μέθοδος

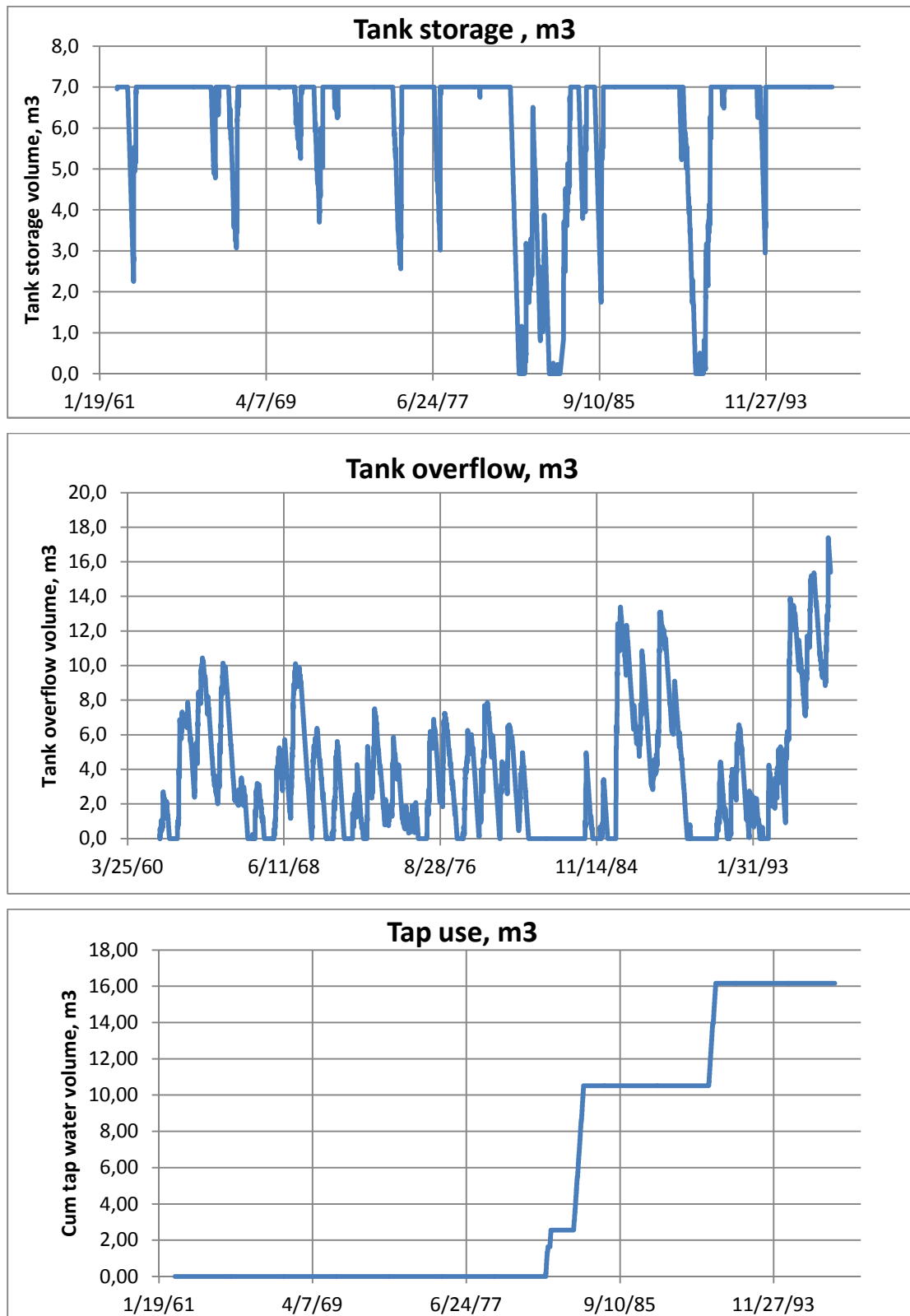


Διάγραμμα 2.1.1. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για τον Βύρωνα (για $A=48,6 \text{ m}^2$, $N_{cap}=1$, $q=150 \text{ L}/\text{άτομο}/\text{d}$ και $p=30\%$).

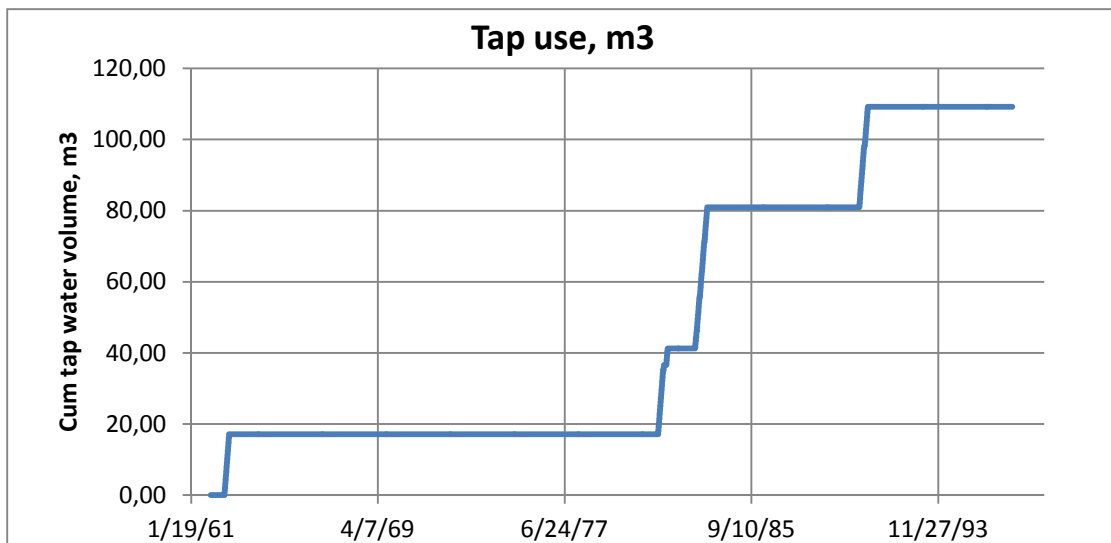
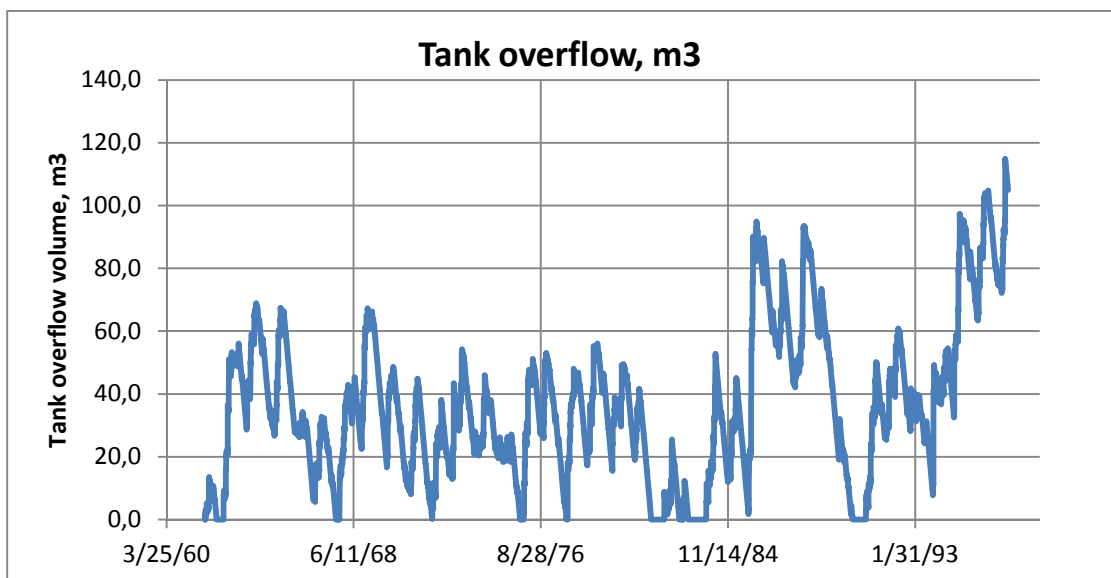
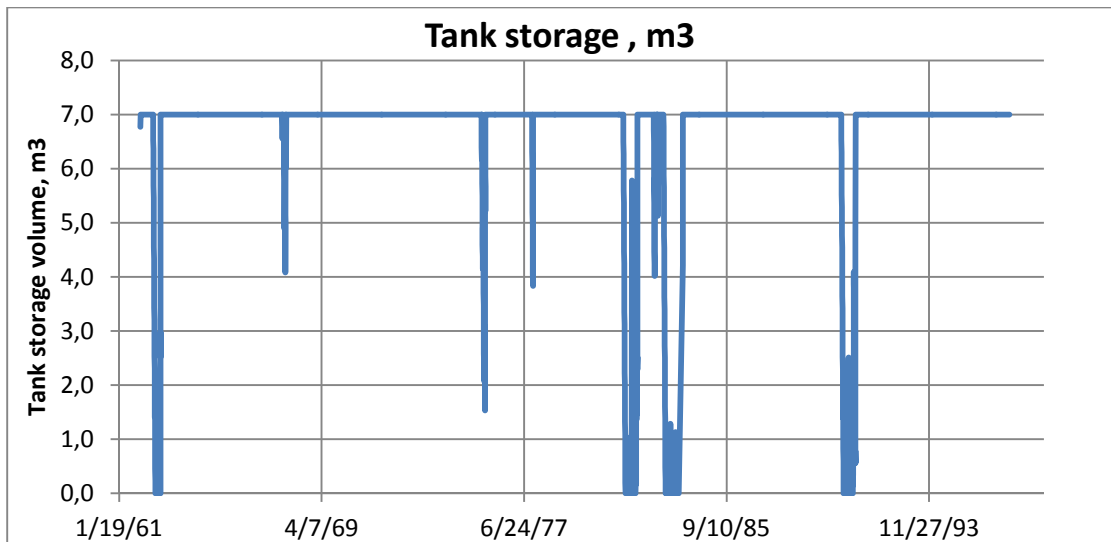


Διάγραμμα 2.1.2. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για τον Βύρωνα (για $A=243 \text{ m}^2$, $N_{cap}=5$, $q=150 \text{ L}/\text{άτομο}/\text{d}$ και $p=30\%$).

2.2. Δεύτερη Μέθοδος



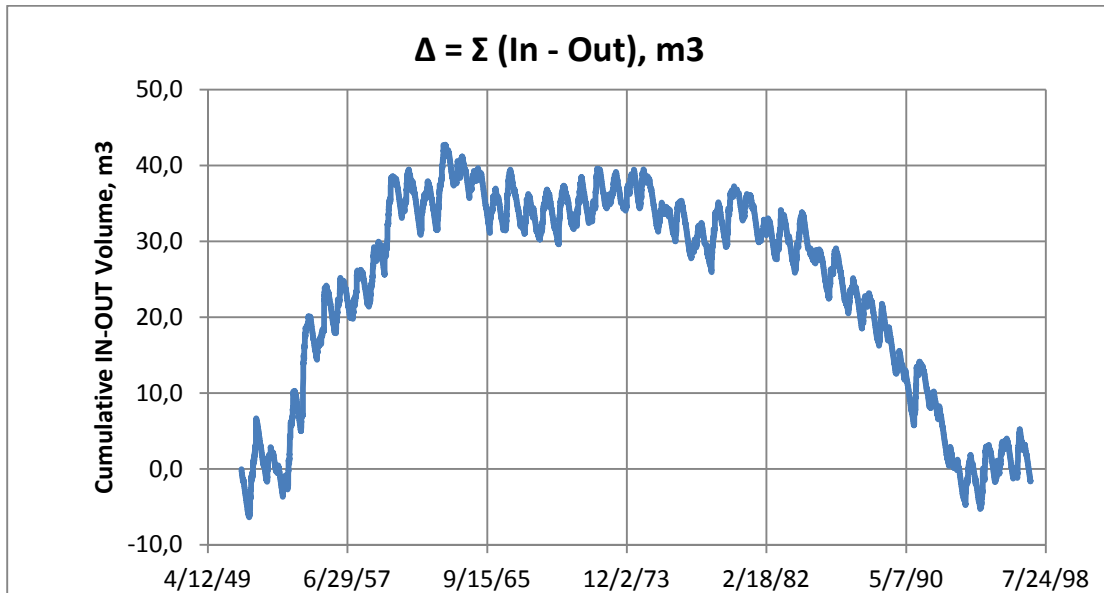
Διάγραμμα 2.2.1. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (α). Όγκος υπερχείλισης (β). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (γ) (για $A=48,6 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=1$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank}=7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).



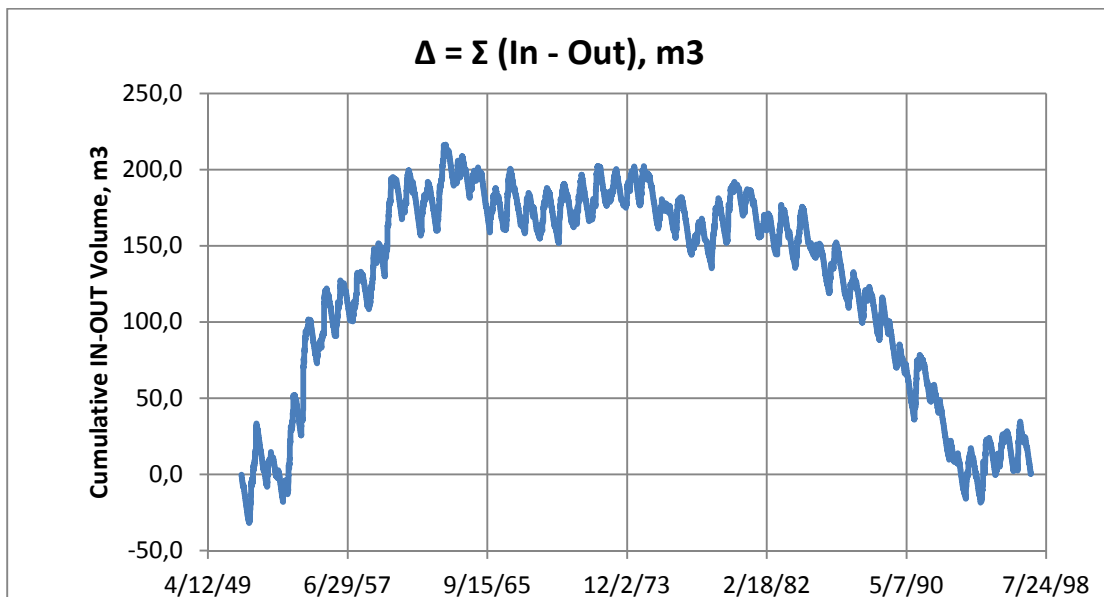
Διάγραμμα 2.2.2. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (α). Όγκος υπερχείλισης (β). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=243 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=5$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank}=7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).

3. Ηγουμενίτσα

3.1. Πρώτη Μέθοδος

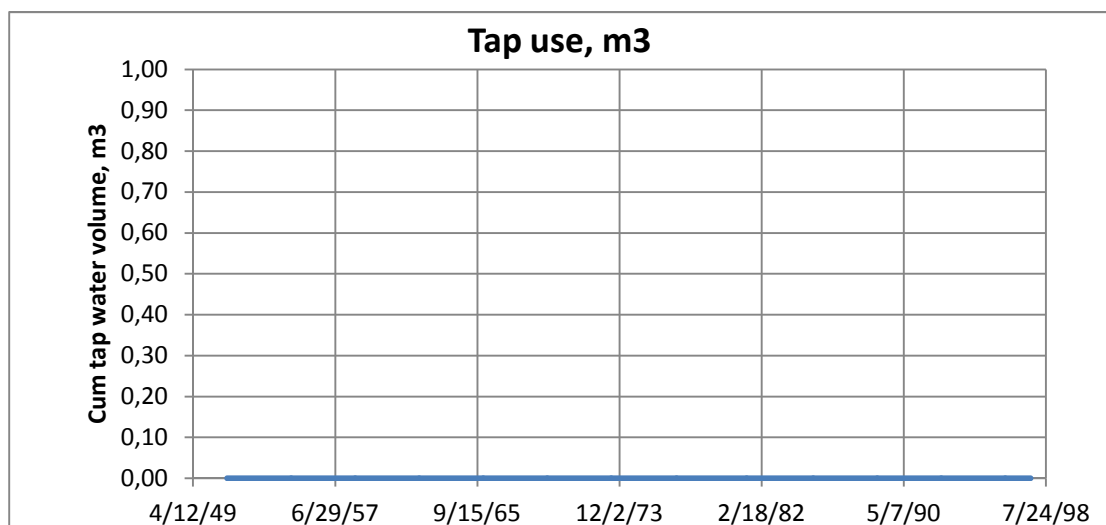
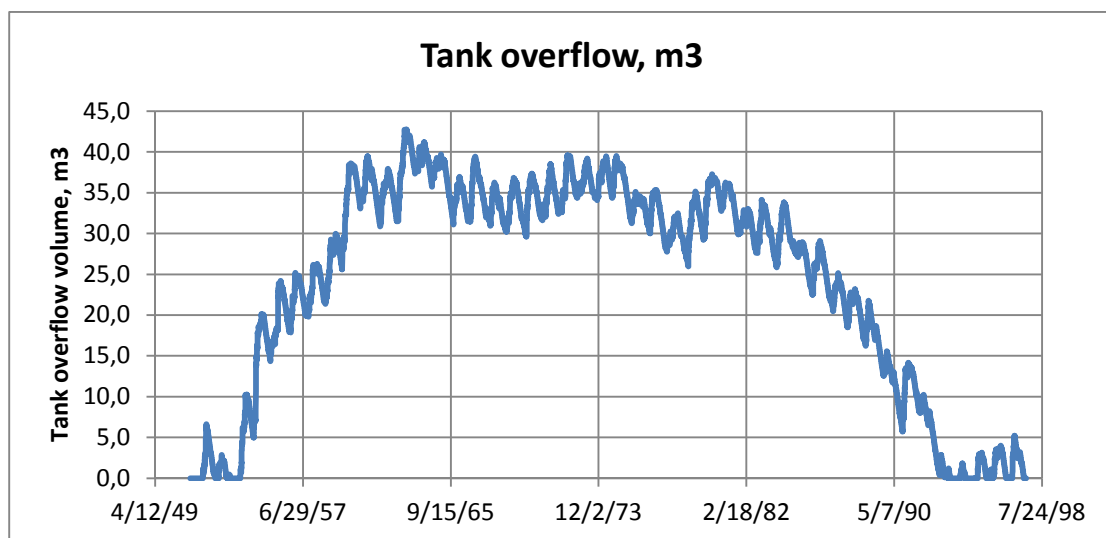
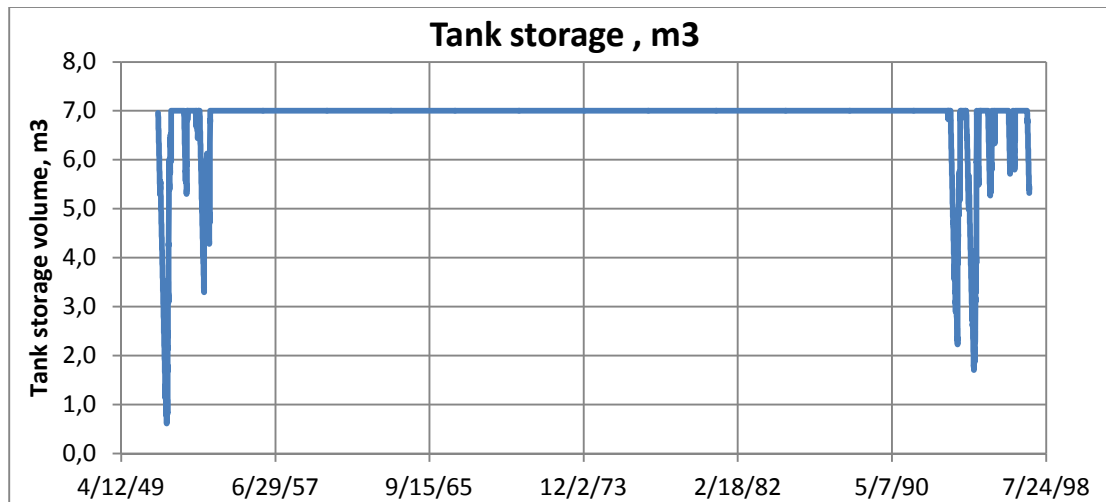


Διάγραμμα 3.1.1. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για την Ηγουμενίτσα (για $A=17,4 \text{ m}^2$, $N_{cap}=1$, $q=150 \text{ L}/\text{άτομο}/\text{d}$ και $p=30\%$).

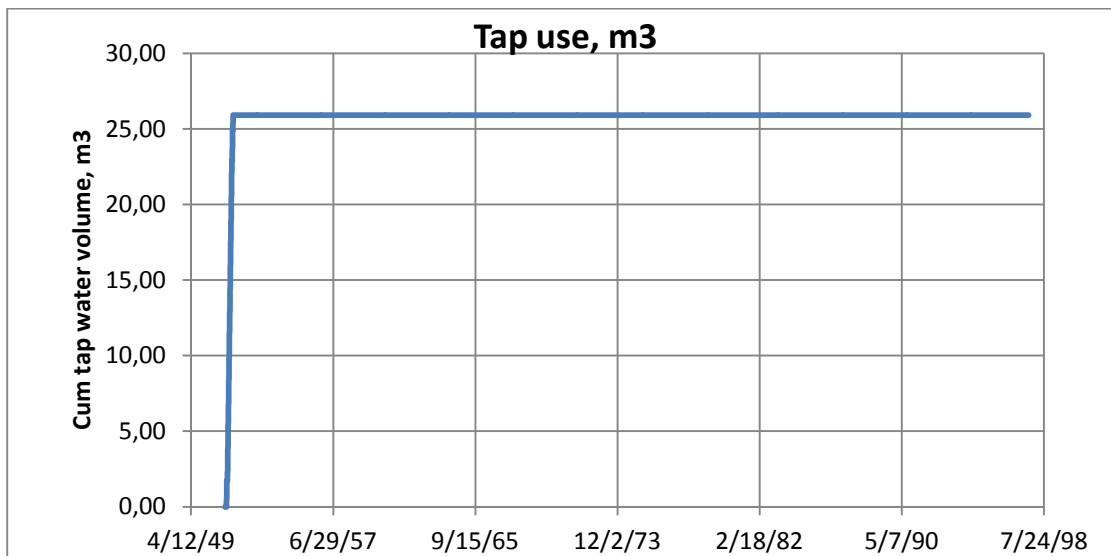
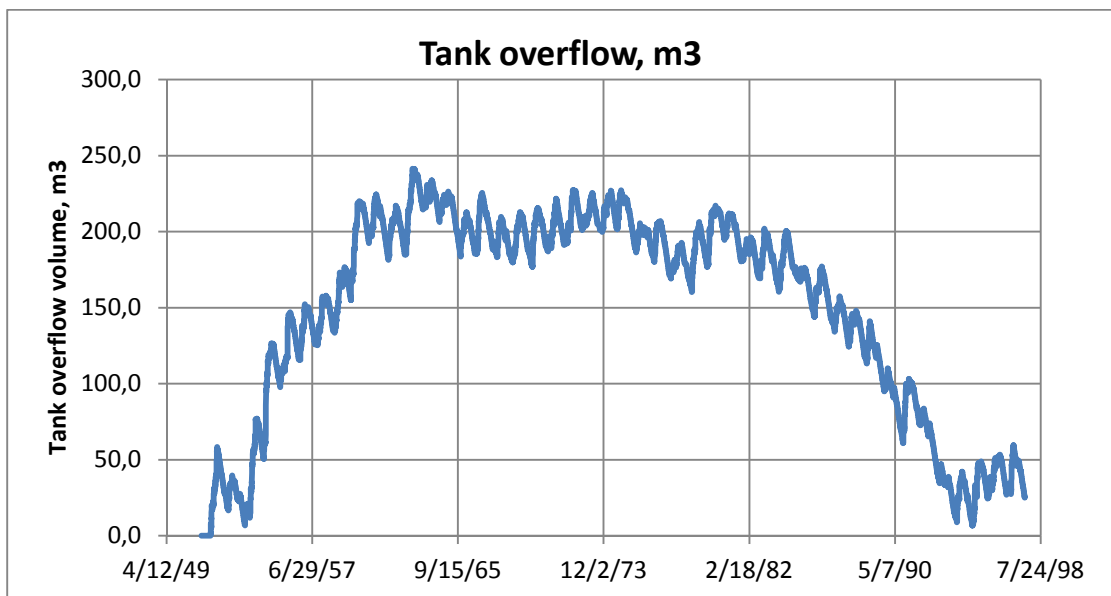
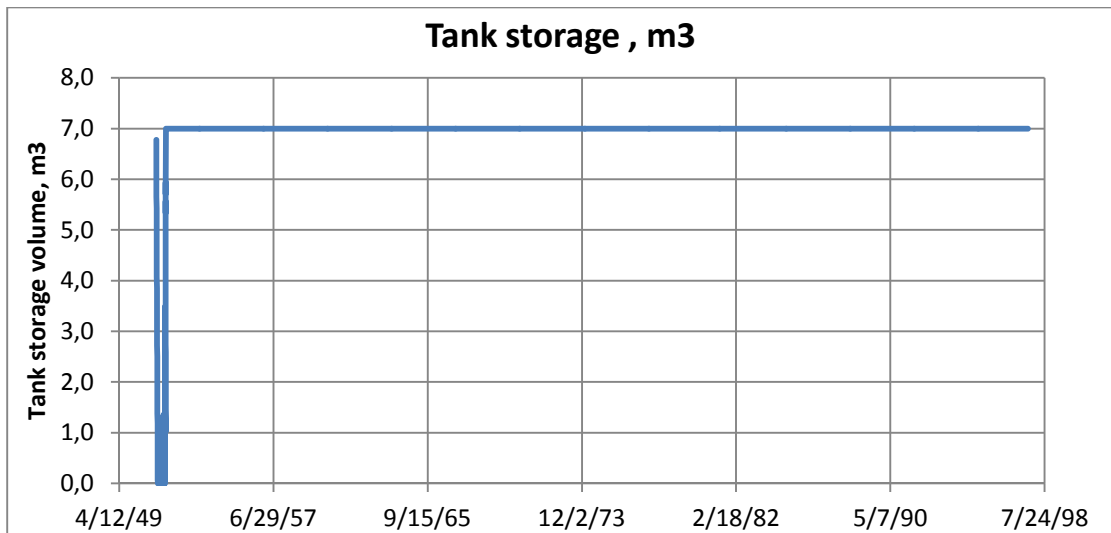


Διάγραμμα 3.1.2. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για την Ηγουμενίτσα (για $A=87,2 \text{ m}^2$, $N_{cap}=5$, $q=150 \text{ L}/\text{άτομο}/\text{d}$ και $p=30\%$).

3.2. Δεύτερη Μέθοδος



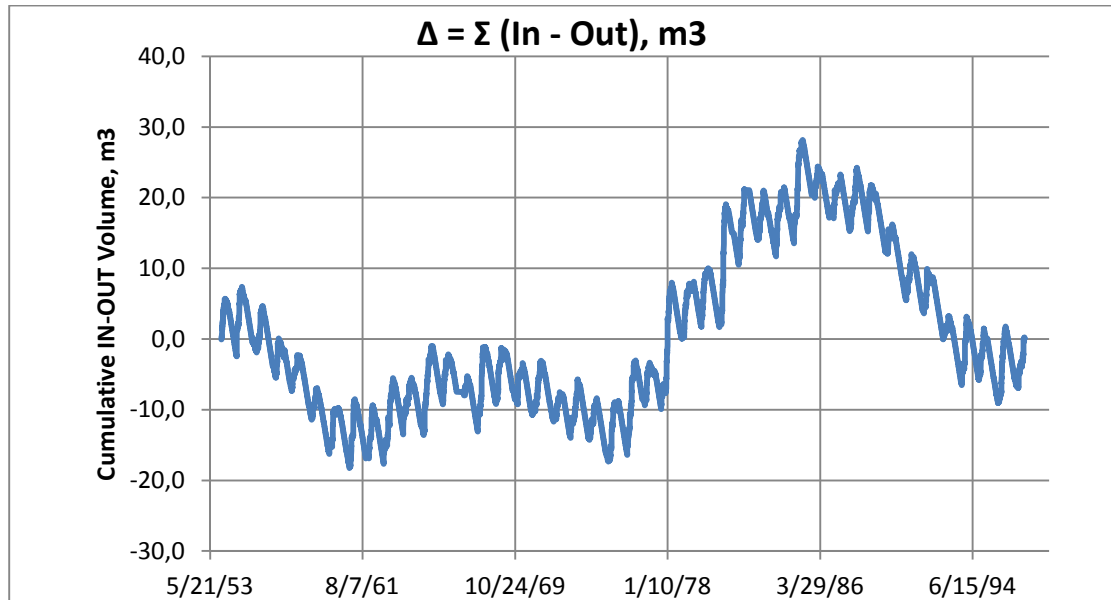
Διάγραμμα 3.2.1. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (a). Όγκος υπερχείλισης (b). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=17,4 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=1$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank}=7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).



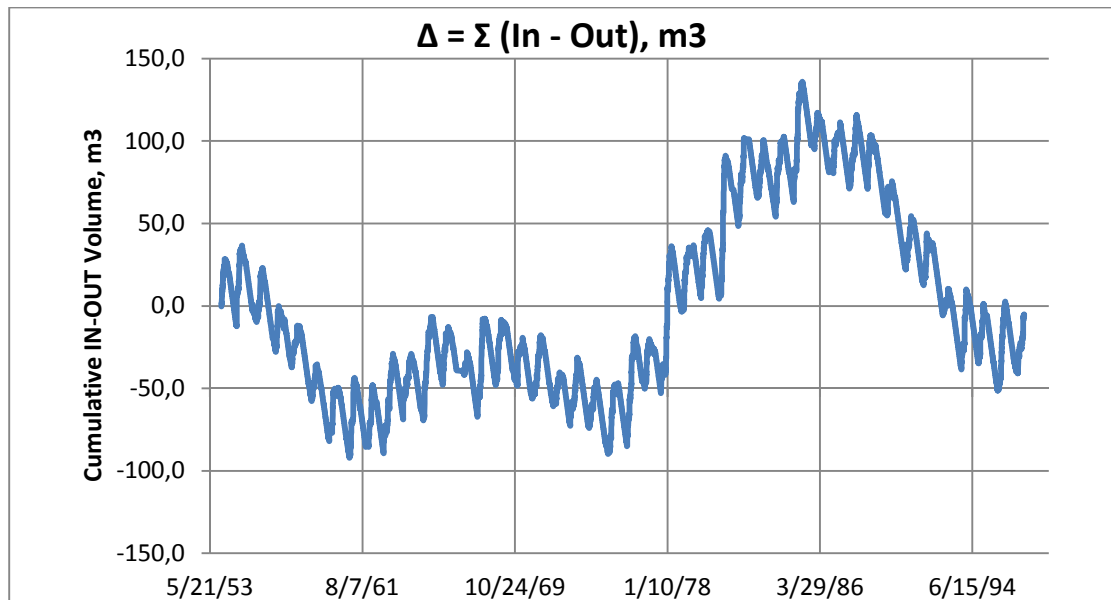
Διάγραμμα 3.2.2. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (a). Όγκος υπερχείλισης (b). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=87,2 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=5$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank}=7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).

4. Άγιος Θωμάς Κρήτης

4.1. Πρώτη Μέθοδος

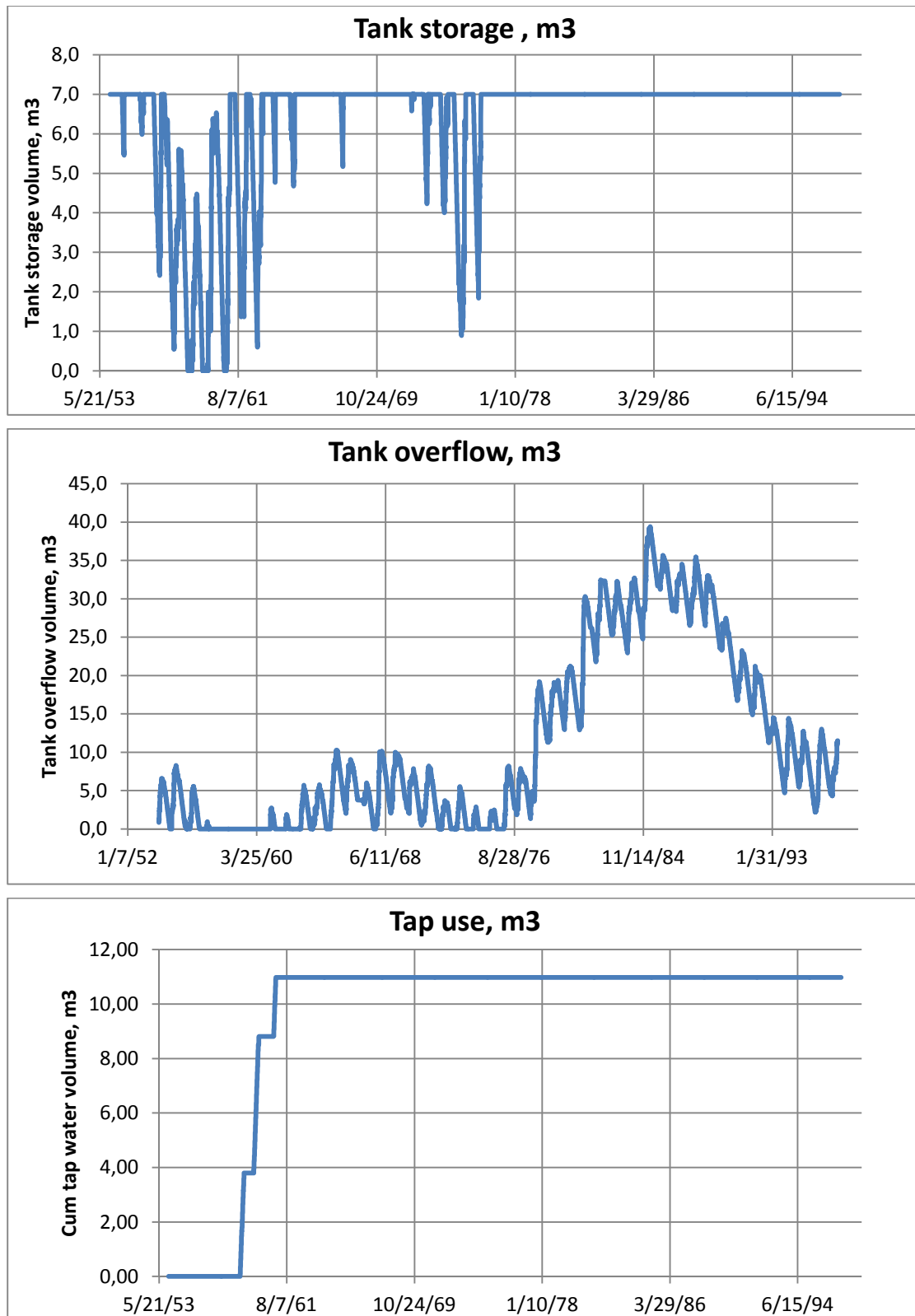


Διάγραμμα 4.1.1. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για τον Άγιο Θωμά Κρήτης (για $A=22,1 \text{ m}^2$, $N_{cap}=1$, $q=150 \text{ L}/\text{άτομο}/\text{d}$ και $p=30\%$).

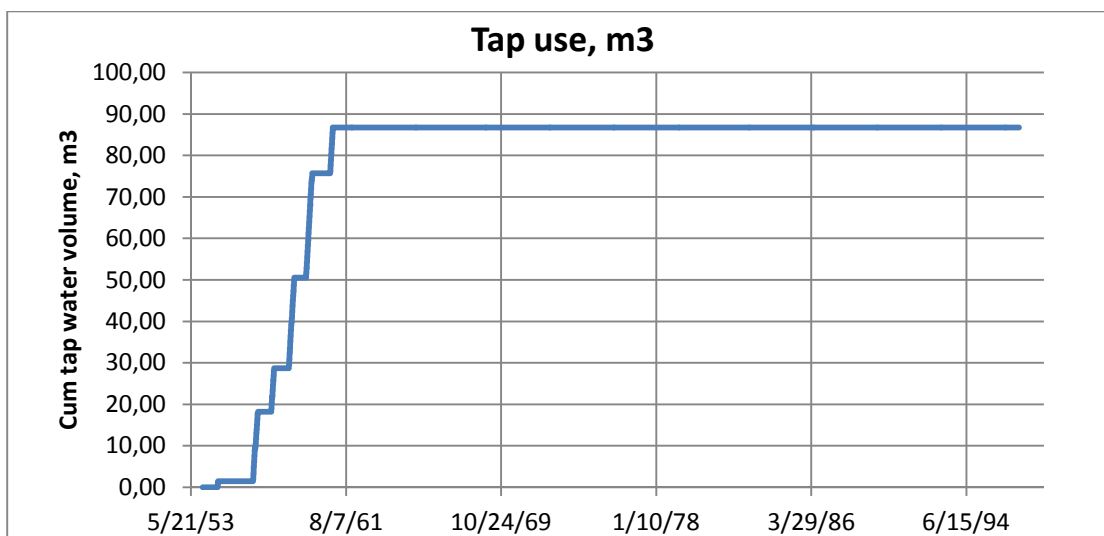
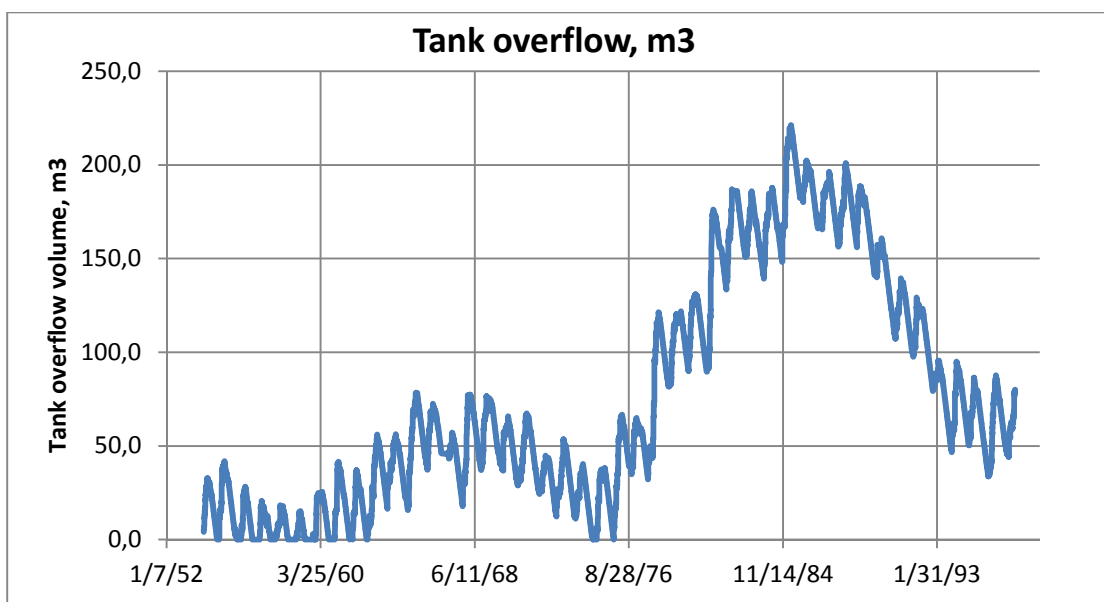
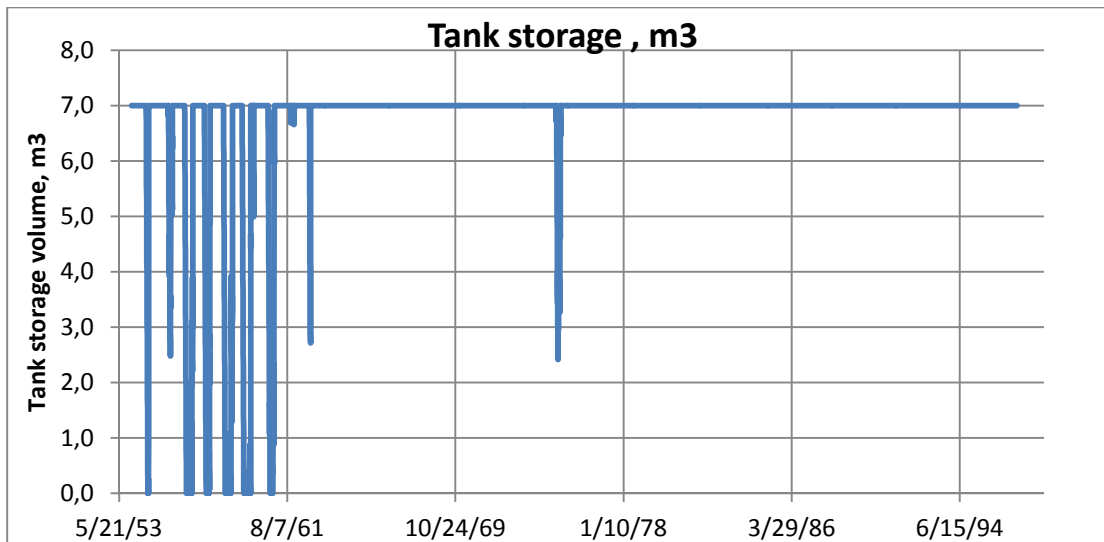


Διάγραμμα 4.1.2. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για τον Άγιο Θωμά Κρήτης (για $A=110,3 \text{ m}^2$, $N_{cap}=5$, $q=150 \text{ L}/\text{άτομο}/\text{d}$ και $p=30\%$).

4.2. Δεύτερη Μέθοδος



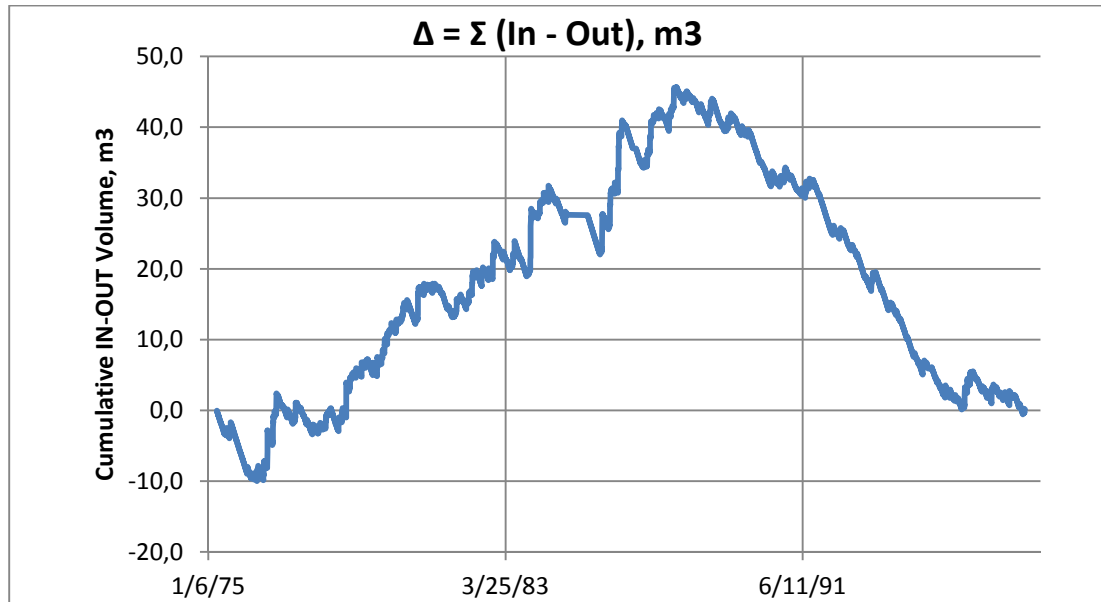
Διάγραμμα 4.2.1. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (a). Όγκος υπερχειλίσης (b). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=22,1 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=1$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank}=7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).



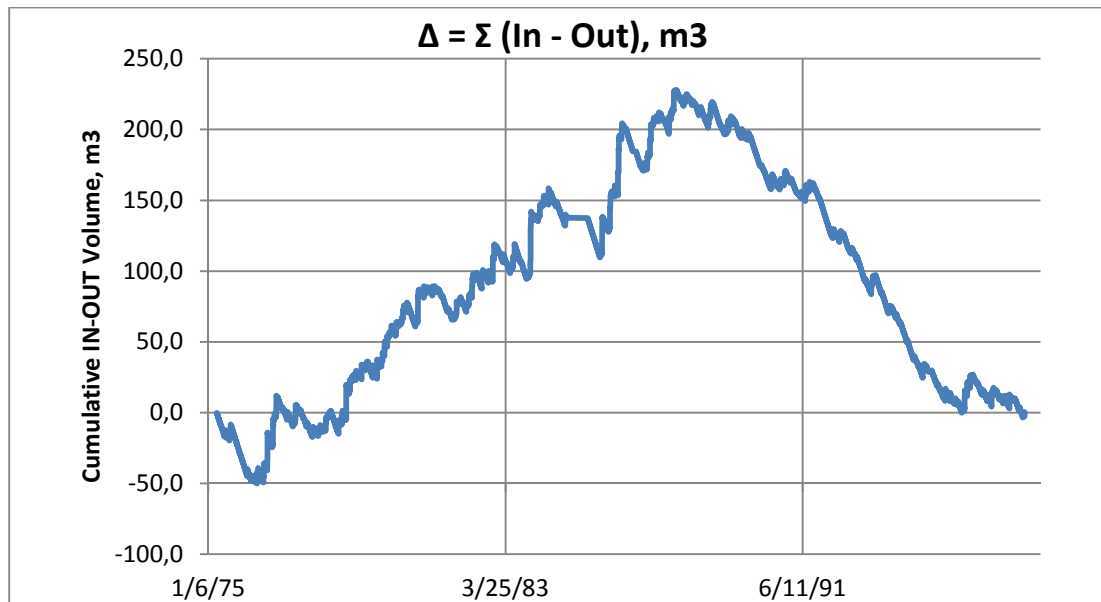
Διάγραμμα 4.2.2. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (a). Όγκος υπερχείλισης (b). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=110,3 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=5$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank}=7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).

5. Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης

5.1. Πρώτη Μέθοδος

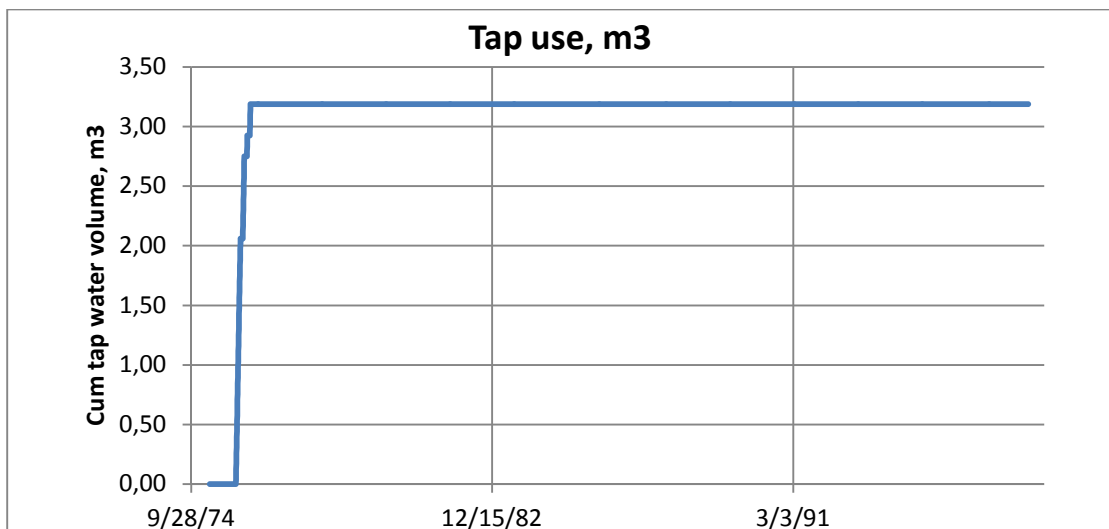
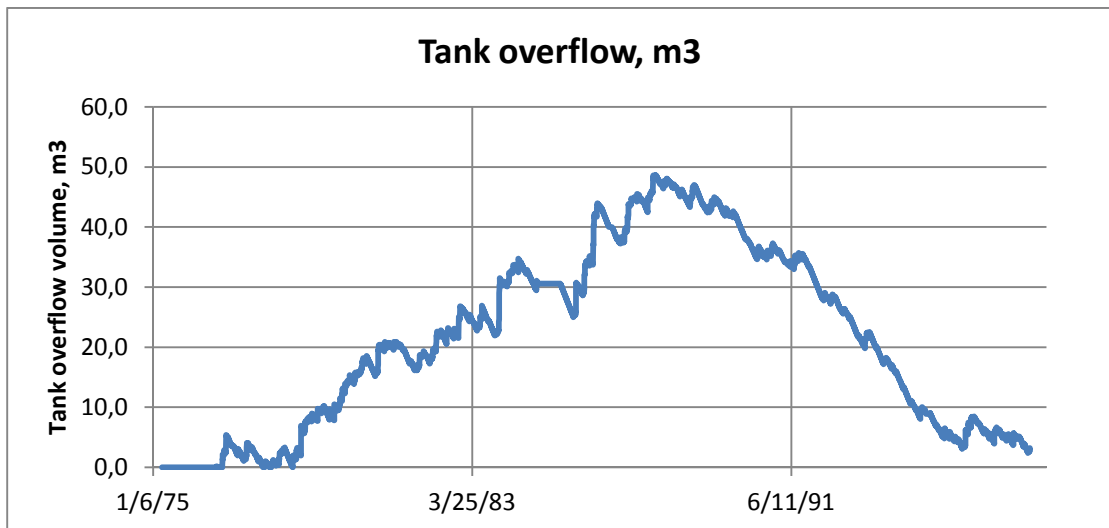
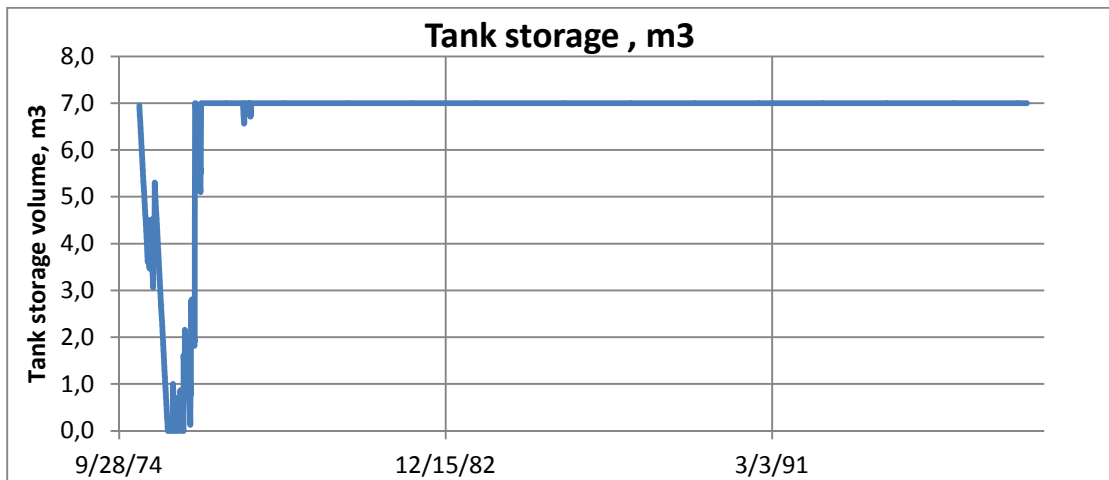


Διάγραμμα 5.1.1. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για το Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης (για $A=48,4 \text{ m}^2$, $N_{cap}=1$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$).

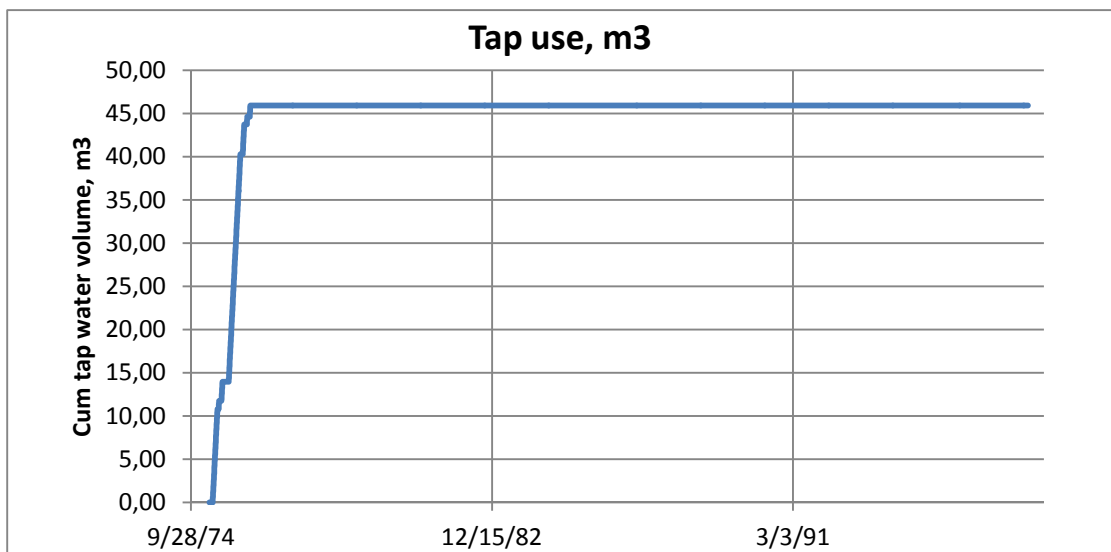
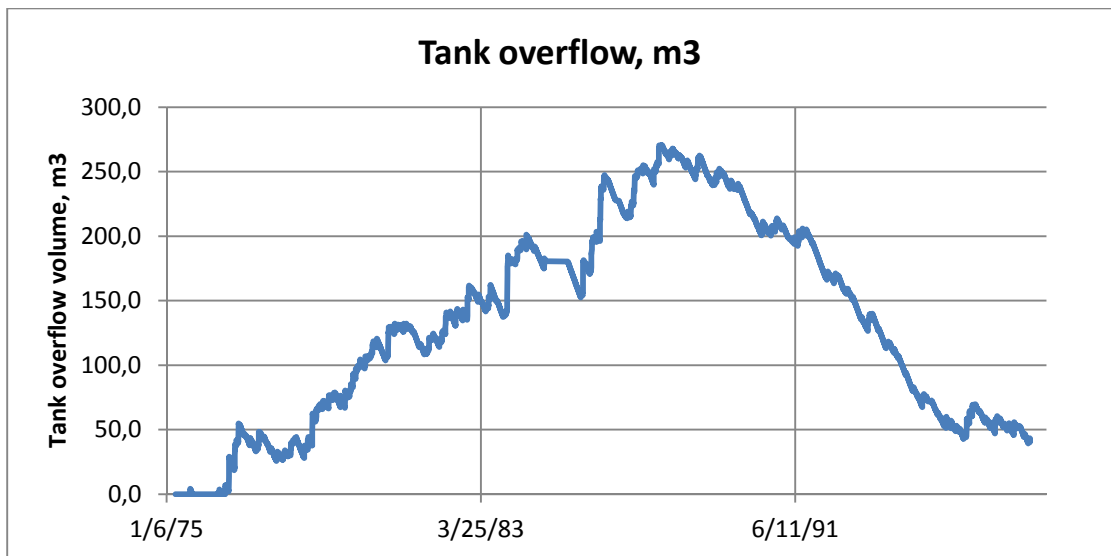
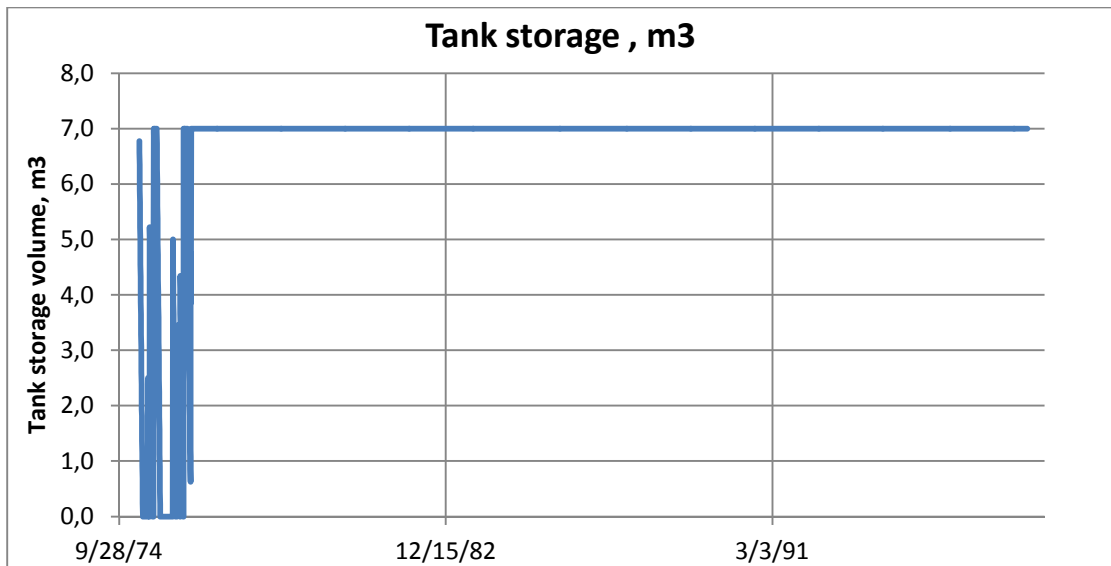


Διάγραμμα 5.1.2. Διαφορές μεταξύ συνολικών εισροών και εκροών από την δεξαμενή για το Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης (για $A=241,9 \text{ m}^2$, $N_{cap}=5$, $q=150 \text{ L/άτομο/d}$ και $p=30\%$).

5.2. Δεύτερη Μέθοδος



Διάγραμμα 5.2.1. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (a). Όγκος υπερχείλισης (b). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=48,4 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=1$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank}=7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).



Διάγραμμα 5.2.2. Υπολογισμένος όγκος αποθήκευσης δεξαμενής (a). Όγκος υπερχείλισης (b). Όγκος από δημόσιο δίκτυο παροχής (c) (για $A=241,9 \text{ m}^2$, $C=0.9$, $N_{cap}=5$, $q=150 \text{ L/capita/d}$, $p=30\%$, $V_{tank}=7000 \text{ L}$, αρχικός όγκος 7000 L).