



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

---

**«Διαστασιολόγηση οικιακών  
ομβροδεξαμενών σε περιοχές με διαφορετικό  
βροχομετρικό καθεστώς»**

**Σταματίου Αλεξία - Μαρία**

*Επιβλέπουσα: Ε. Φελώνη, Διδάσκουσα ΠαΔΑ*

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

Διπλωματική Εργασία με τίτλο:  
«ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΙΚΙΑΚΩΝ ΟΜΒΡΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΣΕ  
ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ  
ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ»

Σταματίου Αλεξία – Μαρία

Επιβλέπουσα: Ε. Φελώνη, Διδάσκουσα ΠΑ.Δ.Α

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 4<sup>η</sup> Μαρτίου 2021



-----  
Φελώνη Ελισσάβητ  
Διδάσκουσα Πα.Δ.Α.

-----  
Καραλής Σωτήρης – Θεοφάνης  
Λέκτορας Εφαρμογών Πα.Δ.Α.

-----  
Συγγούνα Βασιλική  
Διδάσκουσα Πα.Δ.Α.

## **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Σταματίου Αλεξία-Μαρία, του Κίμωνος-Νικολάου, με αριθμό μητρώου 15053, φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

Σταματίου Αλεξία-Μαρία

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	vi
Περίληψη.....	vii
Extended Abstract .....	ix
Introduction .....	ix
Study areas and Datasets .....	x
Model description .....	xi
Daily water balance model.....	xi
Daily harvested rainwater volume ( $R_t$ ) .....	xii
Daily water demand ( $D_t$ ) .....	xii
Tank size .....	xii
Reliability coefficient ( $R_e$ ) .....	xiii
Results & Discussion.....	xiv
Scenario 1.....	xiv
Scenario 2.....	xv
Scenario 3.....	xvi
Conclusions .....	xix
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Γενικά .....	1
1.2 Αντικείμενο εργασίας.....	2
1.3 Διάρθρωση εργασίας .....	2
2 Περιοχές Μελέτης και Δεδομένα.....	3
2.1 Επιλογή περιοχών μελέτης .....	3
2.2 Γεωγραφικά Στοιχεία.....	4

2.3	Γεωμορφολογικά Χαρακτηριστικά .....	5
2.4	Κλιματικά Χαρακτηριστικά .....	6
2.5	Δημογραφικά Δεδομένα και Στατιστικά χαρακτηριστικά νοικοκυριών .....	7
2.6	Βροχομετρικά Δεδομένα .....	12
2.7	Τιμολογιακή Πολιτική.....	13
3	Συστήματα Συλλογής Όμβριων Υδάτων .....	16
3.1	Γενικά .....	16
3.2	Διάταξη συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων .....	17
3.3	Ποιοτική υποβάθμιση βρόχινου νερού.....	19
3.4	Συλλογή ομβρίων στην Ελλάδα .....	20
3.5	Νομοθετικό Πλαίσιο στην Ελλάδα.....	22
3.6	Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών.....	24
3.7	Μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας οικιακού συστήματος RWH.....	25
3.7.1	Μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου.....	25
3.7.2	Προσδιορισμός όγκου συλλογής ομβρίων ( $R_i$ ).....	26
3.7.3	Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης ( $D_i$ ) .....	27
3.7.4	Διαστασιολόγηση δεξαμενής συλλογής.....	28
3.7.5	Συντελεστής αποδοτικότητας ( $R_e$ ).....	30
3.7.6	Σενάρια προσομοίωσης.....	30
4	Εφαρμογή μοντέλου & Αποτελέσματα σεναρίων .....	32
4.1	Εφαρμογή του μοντέλου.....	32
4.2	Διερεύνηση αποδοτικότητας συστήματος.....	44
4.3	Μεταβολή αποδοτικότητας υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής.....	50
4.3.1	Γενικά – Κλιματικά σενάρια .....	50
4.3.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....	54

5	Συμπεράσματα .....	58
5.1	Σύνοψη .....	58
5.2	Συμπεράσματα .....	59
5.3	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	61
	Βιβλιογραφία.....	62

## **Ευχαριστίες**

---

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους αυτούς που συντέλεσαν στην ολοκλήρωσή της.

Αρχικά, ευχαριστώ την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κ. Ελισσάβητ Φελώνη, Διδάσκουσα του Τμήματος, για την ανάθεση του θέματος, την εμπιστοσύνη, την καθοδήγηση, την υποστήριξη και την άψογη συνεργασία μας, καθ' όλο το χρονικό διάστημα διεξαγωγής της.

Ακολούθως, τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, κ. Καραλή Σ., μέλος Διδακτικού Ερευνητικού Προσωπικού - Λέκτορα Εφαρμογών του ΠαΔΑ, όπως και την κ. Συγγούνα Β., Διδάσκουσα ΠαΔΑ για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους.

Ευχαριστώ θερμά την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία για την άμεση ανταπόκριση και παραχώρηση των απαραίτητων δεδομένων για την εκπόνηση της εργασίας μου.

Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερος τη μητέρα μου, όπως και τους φίλους μου για την ψυχολογική υποστήριξη που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια τόσο της εργασίας, όσο και των σπουδών μου.

Αθήνα, Μάρτιος 2021

Σταματίου Αλεξία

## Περίληψη

---

Η ανάγκη αποτελεσματικής διαχείρισης και αξιοποίησης των διαθέσιμων υδατικών πόρων, ιδίως λόγω της ποσοτικής και ποιοτικής υποβάθμισης των αποθεμάτων γλυκού νερού λόγω της υπερεκμετάλλευσης και της επίδρασης άλλων ανθρώπινων δραστηριοτήτων, είναι έκδηλη τα τελευταία χρόνια. Η αξιοποίηση των όμβριων υδάτων, τα οποία παραδοσιακά συλλέγονται, αποθηκεύονται και αξιοποιούνται εδώ και χιλιάδες χρόνια, για την κάλυψη μέρους των υδατικών αναγκών κυρίως σε περιοχές με περιορισμένο υδατικό δυναμικό, είναι μία πρακτική που συνδέεται με αυξημένο περιβαλλοντικό και συχνά οικονομικό όφελος. Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων είναι μια πρόταση για την αντιμετώπιση του προβλήματος της έλλειψης επάρκειας υδατικών πόρων που εμφανίζεται εντονότερη στα ελληνικά νησιά.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου για την προσομοίωση της λειτουργίας ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων, με σκοπό την ανάλυση αποδοτικότητας για την κάλυψη αστικής ζήτησης νερού σε επίπεδο οικίας. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε συγκριτικά για δύο νησιά της Ελλάδας που χαρακτηρίζονται από διαφορετικό βροχομετρικό καθεστώς. Από τη μία πλευρά επιλέχθηκε η Κέρκυρα, στην οποία σημειώνεται το υψηλότερο ύψος βροχόπτωσης σε επίπεδο έτους (μεγαλύτερο των 1000mm), και από την άλλη επιλέχθηκε η Νάξος, ένα από τα νησιά των Κυκλάδων τα οποία έχουν χαμηλό ετήσιο ύψος βροχής (περί τα 400mm) και αντίστοιχα υψηλή τιμή εξατμισοδιαπνοής. Αξιοποιώντας τις διαθέσιμες χρονοσειρές βροχόπτωσης από τους σταθμούς της Ε.Μ.Υ. στα δύο νησιά, δημιουργήθηκε το ημερήσιο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου για ένα οικιακό σύστημα συλλογής-ταμίευσης ομβρίων και συγκεκριμένα, εξετάστηκε η αποδοτικότητα του συστήματος για διάφορα σενάρια, σε συνάρτηση με την επιφάνεια συλλογής, τον όγκο της κλειστής δεξαμενής αποθήκευσης του βρόχινου νερού και των αριθμό των μελών της κατοικίας, για ένα προκαθορισμένο ποσοστό κάλυψης επί της συνολικής ημερήσιας ζήτησης καθαρού νερού. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν για τα δύο νησιά. Τέλος, παρουσιάζεται μια ενδεικτική διερεύνηση της αποδοτικότητας ενός τέτοιου συστήματος υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής. Η εν λόγω ανάλυση πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη σενάρια που βασίζονται στην



τελευταία αναθεώρηση της IPCC και παρατίθεται προκειμένου να δοθεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα αναφορικά με τη διαδικασία επιλογής της κατάλληλης διάστασης του συστήματος (δηλ. όγκου ομβροδεξαμενής) υπό μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες. Δεδομένου ότι πρόκειται για κλειστή δεξαμενή, οπότε η επίδραση του φαινομένου της εξατμισοδιαπνοής θεωρείται αμελητέα, παρουσιάζονται τρεις αναλύσεις που λαμβάνουν υπόψη διαθέσιμες χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης μέχρι το 2100 για ένα ευμενές, μέσο και δυσμενές σενάριο εκπομπών (RCP: 2.5, 4.6 και 8.5, αντίστοιχα).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν, ένα σύστημα συλλογής ομβρίων στη νήσο Κέρκυρα αναμένεται να είναι ιδιαίτερα αποδοτικό, ειδικά σε σύγκριση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα για τη νήσο Νάξο, όπου σε πολλές περιπτώσεις δεν επιτυγχάνεται η απόδοση που τέθηκε ως στόχος, ακόμα και για το μέγιστο όγκο δεξαμενής που διερευνάται (δηλ. 30 κυβικά μέτρα). Ακόμα, όπως αναμενόταν, η διερεύνηση υπό μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες έδειξε να επηρεάζει τα αποτελέσματα που διαμορφώνονται, όπου συστηματικά η αποδοτικότητα εμφανίζεται αυξημένη για σενάριο που παρουσιάζει αυξητική τάση στην ημερήσια βροχόπτωση.

Τα αποτελέσματα της εν λόγω εργασίας είναι χρήσιμα για την αξιολόγηση της απόδοσης τέτοιων επενδύσεων στα ελληνικά νησιά και ανοίγουν το δρόμο για ανάλογες εφαρμογές που θα διερευνούν τη δυνατότητα κάλυψης μέρους των οικιακών αναγκών, ιδίως σε μικρά νησιά του Αιγαίου και Ιονίου, για τα οποία δεν λειτουργούν μονάδες αφαλάτωσης και η υδροδότησή τους εξαρτάται από τη μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία, μια ιδιαίτερα δαπανηρή διαδικασία που δεν είναι και φιλοπεριβαλλοντική.

**Λέξεις κλειδιά:** όμβρια ύδατα, σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, αστική ζήτηση νερού, ημερήσια κατανάλωση, αποδοτικότητα, Κέρκυρα, Νάξος.

## ***Extended Abstract***

---

### **Introduction**

The lack of sufficient available water resources to meet the demands of urban water usage in areas, such as the Greek Islands, is a common problem towards local water resources management and there are many techniques regarding water collection and storage that are investigated to potentially contribute to reduce the problem. Among them, RainWater Harvesting (RWH) systems is a common practice usually operating at a household scale, ensuring the provision of water that is suitable for a number of uses, such as laundry, toilet, garden, etc. RWH tanks cannot be formulated, because the size is strongly affected by various local variables, such as local rainfall, the collection surface area, the demand and the number of served residents. Methods for RWH tank sizing vary from country to country depending on standards and regulations adopted by each country, and the size can be determined either by using the daily or monthly water balance method or using the dry period demand method.

In Greece, the main reasons that cause problems in the use and rational management of water resources are both the unequal distribution of water resources and demand in space and time.

It is worth noting that there is not a proposed methodology to calculate the size of rainwater harvesting tank in Greece. The aim of this undergraduate thesis is the investigation of such a system's operation under various combinations regarding the number of residents, the collection area and the tank size, for two Greek Islands that are characterized by different rainfall regime. On the one hand, Corfu island (Ionian Sea, NW Greece) appears one of the highest annual precipitation depth in Greece, and, on the other site, Naxos Island (Aegean Sea, Eastern Greece) is an area of low precipitation depth. The entire analysis is performed after developing and implementing a daily water balance model, which allows to calculate the efficiency coefficient (Reliability,  $Re$  (%)) of the system for various combinations. Finally, the corresponding results given in graphs are capable for sizing the rainwater harvesting tanks in RWH systems Greece for domestic use and for a standard  $Re$  (%). The analysis is performed using the historic daily precipitation timeseries for these two islands and, also, after applying three climate change scenarios. Results show that the local precipitation regime affects the system's performance, that is satisfactory only for Corfu. In Naxos Island,

especially in case of households with more than two members and for small collection areas, the system cannot meet the demand, even after using the maximum tank size that is investigated.

**Keywords:** rainwater, rainwater harvesting system, daily water balance model, urban water demand, daily consumption, efficiency, Corfu, Naxos.

## **Study areas and Datasets**

There are two areas that are investigated through this analysis, the first one is linked to a high precipitation regime, while the second to a low one.

The island of Corfu, located in the Ionian Sea, belongs to the complex of Ionian Islands. The population of the island is about 102071 people, but this number increases during summer periods because of the tourism.

Naxos Island, located in the Aegean Sea, belongs geographically to the Cyclades complex of islands. The population of the island is now 18340 residents, but this number increases, as Corfu, during summer periods due to tourism.

For the present study, the available historic timeseries of daily rainfall provided by the National Meteorological Service for the period October 1980 to September 2019, were analyzed and processed. The analysis presented corresponds to 39 hydrological, in order to follow the minimum hydrological standards for sizing a RWH tank (at least 30 years).

Figures 1 and 2 show the daily variation of the rainfall depth (in mm) for the station of Corfu and Naxos, and for the period that the model is initially performed (October 1980 - September 2019).

Furthermore, synthetic timeseries from CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment) are also used to further investigate the system's performance under climate change conditions. Timeseries are freely accessed through the DEAR-Clima (Data Extraction Application for Regional Climate) website: <http://meteo3.geo.auth.gr:3838/>, that is a user-friendly interface that visualizes and provides a variety of variables, temporal intervals and GCM-RCM models, to a high spatial resolution and for the period up to 2100. The current analysis uses the daily rainfall timeseries of MPI-CSC-REMO2009\_MPI-M-MPI-ESM-LR model for three RCPs: 2.6, 4.5 and 8.5.

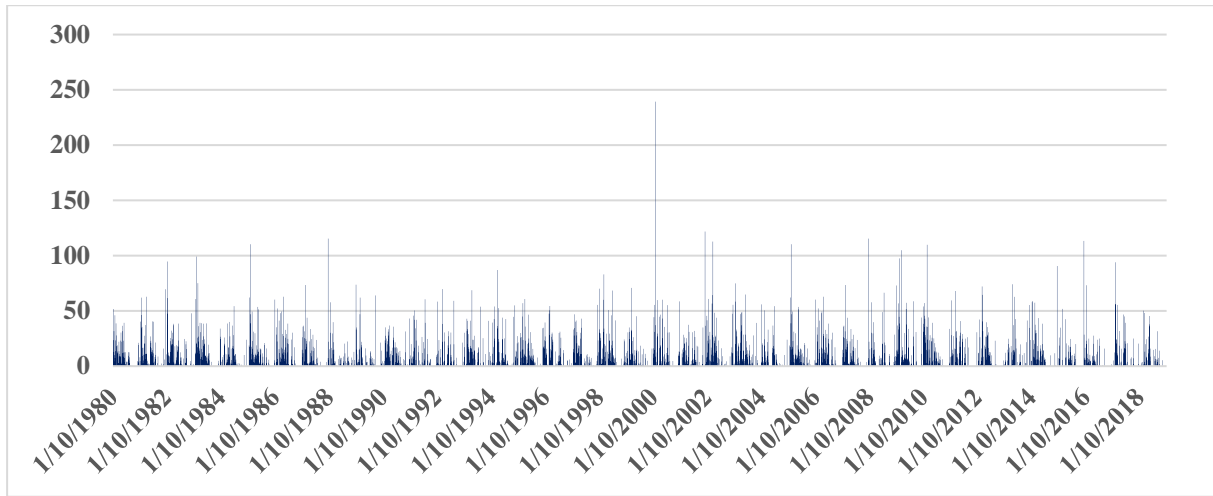


Figure 1 Daily rainfall depth (Historical timeseries) for Corfu (1980-2019)

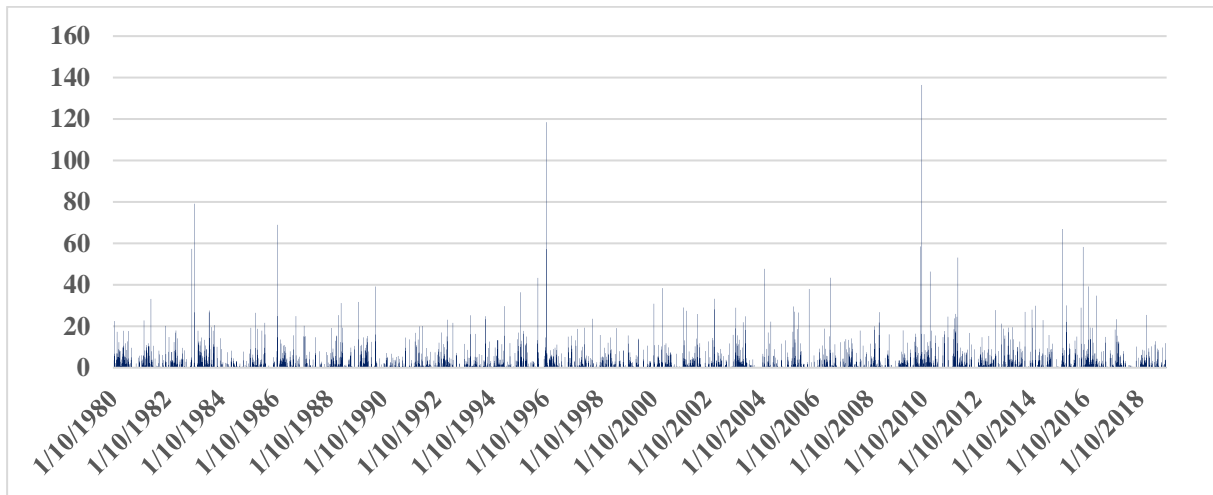


Figure 2 Daily rainfall depth (Historical timeseries) for Naxos (1980-2019)

## Model description

### *Daily water balance model*

In the frame of this study, a daily water balance model was developed for the sizing of rainwater harvesting tank. The water balance equation is:

$$S_t = S_{t-1} + R_t - D_t, \quad 0 \leq S_{t-1} \leq V_{tank}$$

where:

$S_t$ , the stored volume at the end of the day ( $m^3$ )

$S_{t-1}$ , the stored volume at the beginning of the day ( $m^3$ )

$R_t$ , the harvested rainwater volume at the end of the day ( $m^3$ )

$D_t$ , the daily water demand ( $m^3$ ) and

$V_{\text{tank}}$ , the capacity of rainwater tank ( $\text{m}^3$ ).

#### *Daily harvested rainwater volume ( $R_t$ )*

The daily harvested rainwater volume (runoff), from a roof area, is calculated as:

$$R_t = C \times A \times P_{\text{eff},t} \text{ (m}^3\text{)}$$

where:

C, the runoff coefficient

A, the rain collection area ( $\text{m}^2$ ) and

$P_{\text{eff},t}$ , the daily effective rainfall depth at the end of the day (m).

The runoff coefficient can take different values, depending on the material of the collection surface. In the present study, the coefficient is 0.90. The daily effective rainfall is equal to daily rainfall minus the first flush.

$$P_{\text{eff},t} = P_t - 0.33 \text{ (mm)}$$

where:

$P_t$ , the daily rainfall

0.33, the value for the first flash.

#### *Daily water demand ( $D_t$ )*

The daily water demand of a household is calculated as:

$$D_t = N_{\text{cap}} \times q \times \left(\frac{p}{100}\right)$$

where:

$N_{\text{cap}}$ , the number of residents (cap)

q, the daily water use per day ( $\text{m}^3/\text{cap}/\text{day}$ ) and

p, the percentage of total water use satisfied by harvested rainwater.

#### *Tank size*

Considering the equations of the water balance and the daily water demand, the daily rainwater stored volume is calculated as:

$$S_t = S_{t-1} + C \times A \times P_{\text{eff},t} - N_{\text{cap}} \times q \times \left(\frac{p}{100}\right), \text{ με } 0 \leq S_{t-1} \leq V_{\text{tank}}$$

The daily difference between runoff (inflow) and demand (outflow) is calculated as follows:

$$\Delta S_t = C \times A \times P_{eff,t} - N_{cap} \times q \times \left(\frac{p}{100}\right)$$

The equation for the daily water stored volume can be rewritten as:

$$S_t = S_{t-1} + \Delta S_t$$

The calculation of the daily storage volume is iterative and starts from an initial value  $S_{t-1} = S_0$  for  $t = 0$ . The lower value for the volume zero, referring to an initially empty tank ( $S_0 = 0$ ). When it is partially full, the volume can take any value, while the maximum value is equal to the volume of the tank itself ( $S_0 = V_{tank}$ ). In this study, it was considered an initially full rainwater tank.

The following repeated process is:

$$\begin{aligned} & \text{if } (S_{t-1} + \Delta S_t) > V_{tank} \text{ then } S_{t,tank} = V_{tank}, \\ & \text{if } (S_{t-1} + \Delta S_t) < V_{tank} \text{ then } 0, \\ & \text{else } S_t = S_{t,tank} = S_{t-1} + \Delta S_t \end{aligned}$$

where:

$S_{t,tank}$ , the actual available stored water volume in the tank at t day.

When the tank is full, there is a volume which overflows ( $O_t$ ) and is calculated as:

$$\begin{aligned} & \text{if } S_t \geq V_{tank} \text{ then } O_t = S_t - V_{tank}, \\ & \text{else } O_t = 0 \end{aligned}$$

In the case that the volume of rainwater collected and stored ( $S_{t,tank}$ ) is not enough to meet the demand, then the demand will be satisfied, in parts or in whole, with an additional amount of water delivered from the local public water supply, the tap ( $T_t$ ), which can be calculated as:

$$\begin{aligned} & \text{if } (S_t < D_t) \text{ then } T_t = D_t - S_{t,tank}, \\ & \text{else } T_t = 0 \end{aligned}$$

### *Reliability coefficient (Re)*

The reliability coefficient (Re) is defined as the percentage of the total number of days that the water stored in the tank serves the needs of the individuals exclusively, to the total number of days that the rain data has been recorded and used in the model (i.e., days of model simulation).

$$Re (\%) = \frac{\sum \text{days without tap water}}{\sum \text{simulation days}}$$

## Results & Discussion

To investigate the reliability of the rainwater collection system, various scenarios were created, taking into account the characteristics of the two areas. Among the scenarios analyzed, each one refers to a different number of residents ( $N_{cap}$ ) and all examine a range of rain collection areas ( $A$ ) and tank size ( $V_{tank}$ ). The scenarios and the corresponding results are described below.

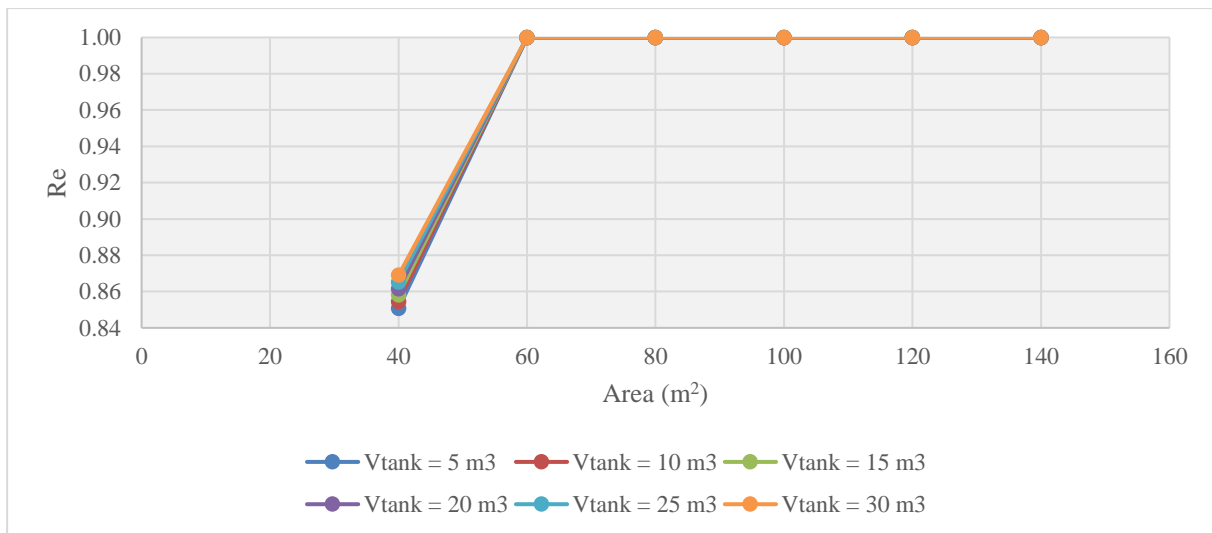
### Scenario 1

At the first case, the system's efficiency is determined using a target  $p=30\%$ , of the total water demand  $q=180$  L/cap/day and number of members ( $N_{cap}$ ) equals to 2. In order to investigate system's reliability for various combinations, the collection area ( $A$ ) and the rainwater tank volume ( $V_{tank}$ ) take the following values:

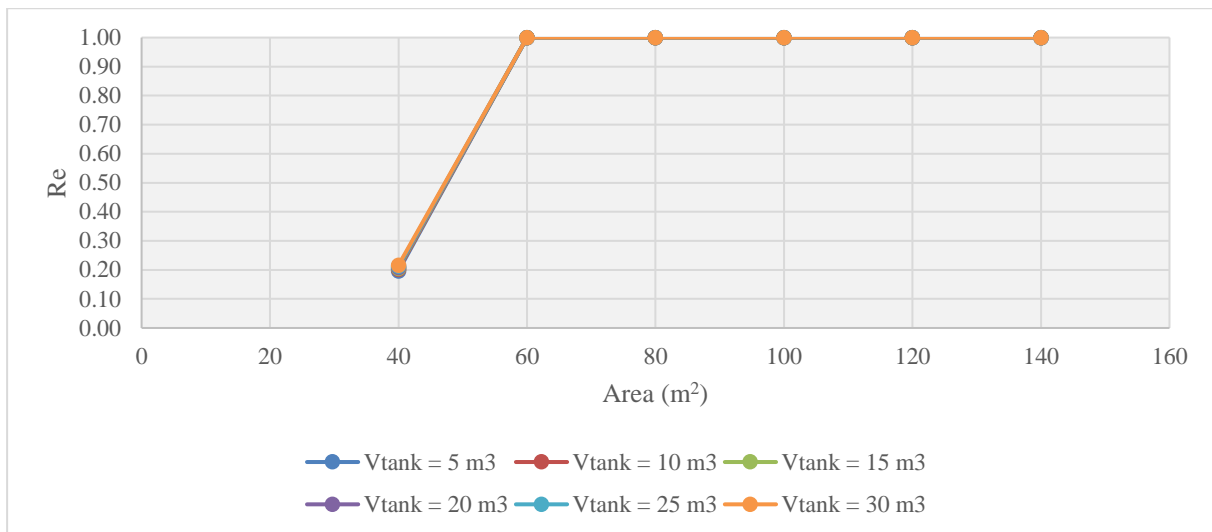
Collection area ( $A$ ): from 40 to 140  $m^2$

Rainwater tank volume ( $V_{tank}$ ): from 5 to 30  $m^3$ .

Figures 3 and 4 show the reliability coefficient ( $Re$ ) for different range of roof area ( $A$ ) and rainwater volume tank ( $V_{tank}$ ) for the island of Corfu and Naxos, respectively.



**Figure 3 Reliability coefficient ( $Re$ ) for different range of roof area ( $A$ ) and rainwater volume tank ( $V_{tank}$ ), for  $N_{cap}=2$ , Corfu**



**Figure 4 Reliability coefficient (Re) for different range of roof area (A) and rainwater volume tank (V<sub>tank</sub>), for N<sub>cap</sub>= 2, Naxos**

As shown, reliability for a given number of household members increases as roof area increases and so does the rainwater tank volume. Also, in both areas, the reliability coefficient (Re) reaches its maximum value, when the collection area (A) exceeds 60 m<sup>2</sup>.

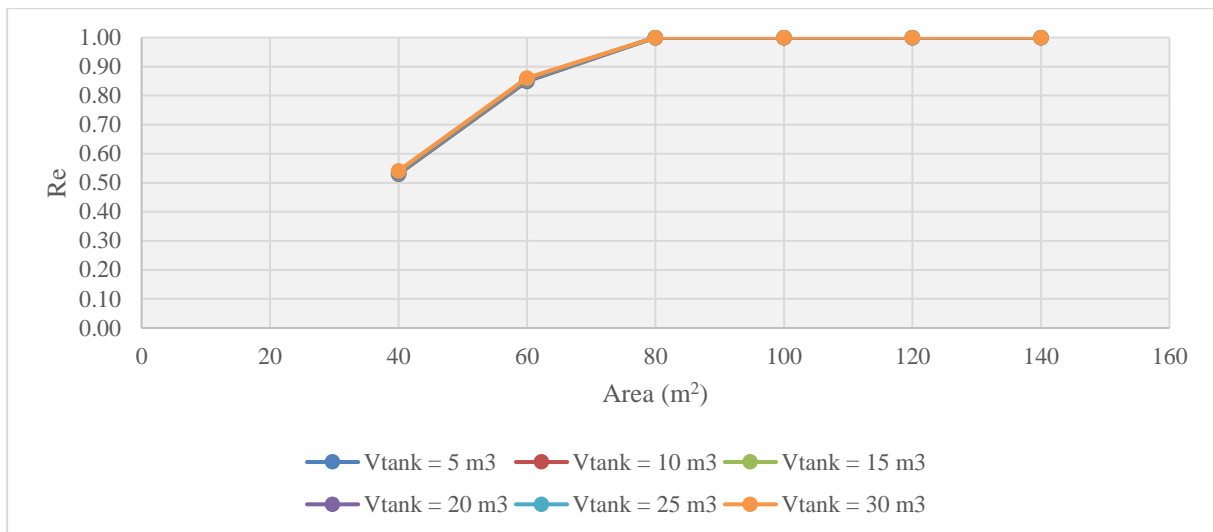
### Scenario 2

At this case, the RWH system's simulation is performed using p=30%, q=180 L/cap/day and N<sub>cap</sub>=3, with changing values of collection area (A) and rainwater tank volume (V<sub>tank</sub>)

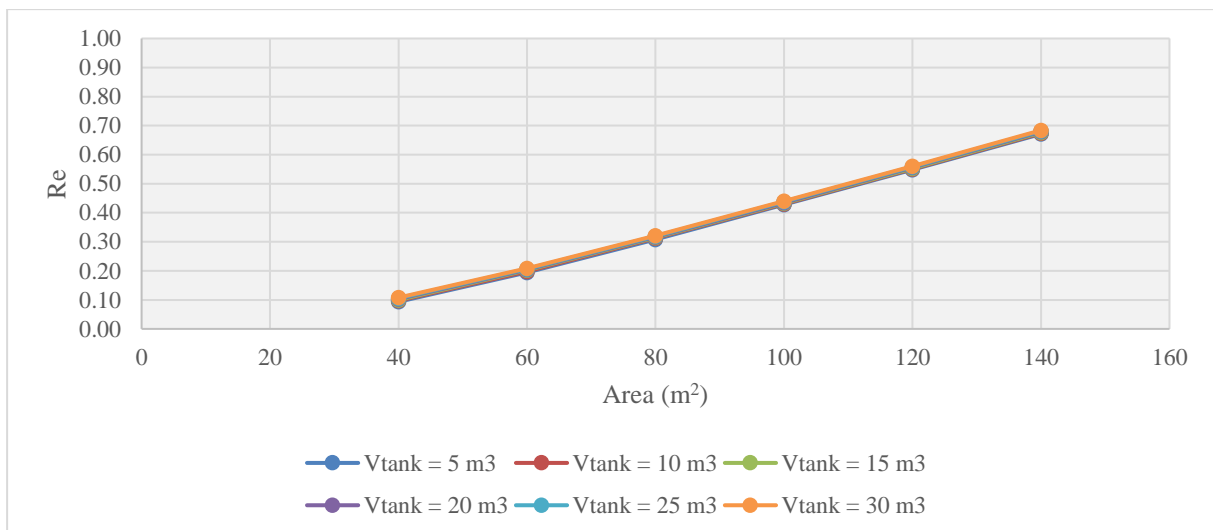
The reliability coefficient (Re) variation for different range of roof area (A) and rainwater volume tank (V<sub>tank</sub>) and for a household of three members is presented in Figures 5 and 6, for Corfu Island and Naxos Island, respectively.

Results show that reliability increases as roof area also increases and so does the rainwater tank volume. However, in Corfu, the system reaches full efficiency when collection areas are larger than 80 m<sup>2</sup>, while in Naxos, the maximum value the reliability coefficient (Re) can take the value of 0.68, or 68%, only for a roof area equal to 140 m<sup>2</sup>.





**Figure 5 Reliability coefficient (Re) for different range of roof area (A) and rainwater volume tank (V<sub>tank</sub>), for N<sub>cap</sub>= 3, Corfu**



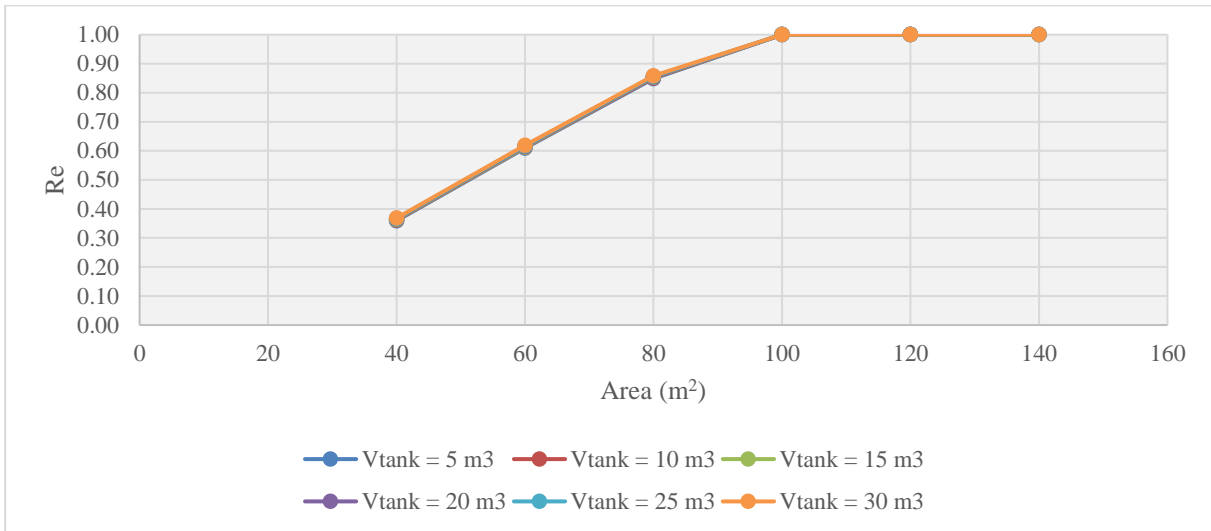
**Figure 6 Reliability coefficient (Re) for different range of roof area (A) and rainwater volume tank (V<sub>tank</sub>), for N<sub>cap</sub>= 3, Naxos**

### Scenario 3

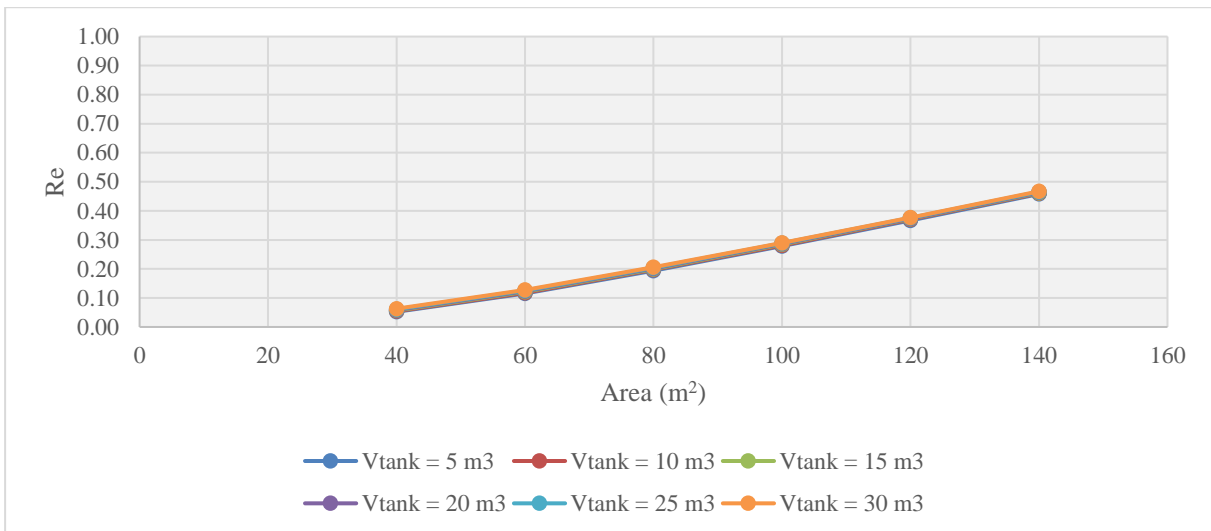
At this case, the RWH system's simulation is performed using  $p=30\%$ ,  $q=180$  L/cap/day and  $N_{cap}=4$ , with changing values of collection area (A) and rainwater tank volume (V<sub>tank</sub>)

The reliability coefficient (Re) variation for different range of roof area (A) and rainwater volume tank (V<sub>tank</sub>) and for a household of three members is presented in Figures 7 and 8, for Corfu Island and Naxos Island, respectively.

As shown, reliability increases as roof area increases and so does the rainwater tank volume. However, same as in the previous scenario, in Corfu, the system reaches full efficiency in areas larger than 100 m<sup>2</sup>, while in Naxos, the maximum value for the reliability coefficient (Re) is 0.47, or 47%, only for a roof area of 140 m<sup>2</sup>. So, the system is not efficient under these conditions, for all examined tank volumes.



**Figure 7 Reliability coefficient (Re) for different range of roof area (A) and rainwater volume tank (V<sub>tank</sub>), for N<sub>cap</sub>= 4, Corfu**



**Figure 7 Reliability coefficient (Re) for different range of roof area (A) and rainwater volume tank (V<sub>tank</sub>), for N<sub>cap</sub>= 4, Naxos**

Finally, the analysis performed under climate change conditions, shows a systematic increase in Re, for all examined combinations and for the three RCP scenarios, as summarized in Table 1.

**Table 1 RWH system’s reliability under historic and climate change scenarios**

Scenario ( $N_{cap}$ )	A	$V_{tank}$	Historic	RCP 2.5	RCP 4.6	RCP 8.5	Historic	RCP 2.5	RCP 4.6	RCP 8.5
			Corfu Island				Naxos Island			
S1 ( $N_{cap}=2$ )	40	5	0.851	1.000	1.000	0.996	0.196	0.515	0.487	0.462
	60	5	1.000	1.000	1.000	1.000	0.370	0.824	0.780	0.744
	80	5	1.000	1.000	1.000	1.000	0.550	0.994	0.997	1.000
	40	10	0.854	1.000	1.000	0.998	0.202	0.517	0.489	0.464
	60	10	1.000	1.000	1.000	1.000	0.374	0.826	0.782	0.746
	80	10	1.000	1.000	1.000	1.000	0.553	0.996	0.999	1.000
	40	15	0.858	1.000	1.000	1.000	0.206	0.518	0.491	0.466
	60	15	1.000	1.000	1.000	1.000	0.377	0.828	0.784	0.748
	80	15	1.000	1.000	1.000	1.000	0.557	0.998	1.000	1.000
	40	20	0.861	1.000	1.000	1.000	0.209	0.521	0.493	0.468
	60	20	1.000	1.000	1.000	1.000	0.381	0.830	0.786	0.750
	80	20	1.000	1.000	1.000	1.000	0.561	1.000	1.000	1.000
	40	25	0.865	1.000	1.000	1.000	0.212	0.523	0.495	0.470
	60	25	1.000	1.000	1.000	1.000	0.385	0.832	0.788	0.751
	80	25	1.000	1.000	1.000	1.000	0.564	1.000	1.000	1.000
40	30	0.869	1.000	1.000	1.000	0.217	0.525	0.497	0.473	
60	30	1.000	1.000	1.000	1.000	0.389	0.834	0.790	0.753	
80	30	1.000	1.000	1.000	1.000	0.568	1.000	1.000	1.000	
S2 ( $N_{cap}=3$ )	40	5	0.529	0.743	0.733	0.670	0.093	0.293	0.274	0.261
	60	5	0.849	1.000	1.000	0.995	0.195	0.514	0.486	0.462
	80	5	1.000	1.000	1.000	1.000	0.308	0.720	0.682	0.651
	40	10	0.532	0.744	0.735	0.671	0.097	0.295	0.276	0.263
	60	10	0.852	1.000	1.000	0.997	0.198	0.515	0.488	0.463
	80	10	1.000	1.000	1.000	1.000	0.312	0.722	0.683	0.652
	40	15	0.534	0.746	0.736	0.672	0.100	0.296	0.277	0.264
	60	15	0.854	1.000	1.000	0.998	0.202	0.517	0.489	0.464
	80	15	1.000	1.000	1.000	1.000	0.315	0.724	0.684	0.654
	40	20	0.536	0.747	0.737	0.674	0.103	0.297	0.279	0.265
	60	20	0.857	1.000	1.000	1.000	0.204	0.518	0.490	0.466
	80	20	1.000	1.000	1.000	1.000	0.317	0.725	0.685	0.655
	40	25	0.539	0.749	0.739	0.676	0.105	0.299	0.280	0.266
	60	25	0.859	1.000	1.000	1.000	0.207	0.519	0.491	0.467
	80	25	1.000	1.000	1.000	1.000	0.319	0.727	0.687	0.656
40	30	0.541	0.750	0.740	1.000	0.108	0.300	0.281	0.268	
60	30	0.861	1.000	1.000	1.000	0.209	0.521	0.493	0.468	
80	30	1.000	1.000	1.000	1.000	0.321	0.728	0.688	0.658	
S3 ( $N_{cap}=4$ )	40	5	0.359	0.522	0.515	0.470	0.052	0.179	0.165	0.162
	60	5	0.610	0.851	0.836	0.767	0.116	0.351	0.329	0.310
	80	5	0.849	1.000	1.000	0.995	0.194	0.514	0.486	0.461
	40	10	0.361	0.524	0.516	0.471	0.054	0.181	0.166	0.163
	60	10	0.611	0.853	0.837	0.768	0.118	0.352	0.330	0.311
	80	10	0.851	1.000	1.000	0.996	0.196	0.515	0.487	0.462
	40	15	0.363	0.525	0.517	0.472	0.057	0.182	0.167	0.164
	60	15	0.613	0.854	0.838	0.769	0.121	0.353	0.331	0.312
	80	15	0.853	1.000	1.000	0.997	0.199	0.516	0.488	0.463
	40	20	0.365	0.526	0.518	0.473	0.058	0.183	0.169	0.165
	60	20	0.615	0.855	0.839	0.770	0.123	0.354	0.332	0.313
	80	20	0.854	1.000	1.000	0.998	0.202	0.517	0.489	0.464
	40	25	0.367	0.527	0.519	0.474	0.061	0.185	0.170	0.166
	60	25	0.617	0.856	0.840	0.771	0.125	0.355	0.333	0.314
	80	25	0.857	1.000	1.000	0.999	0.204	0.518	0.490	0.465
40	30	0.368	0.528	0.519	0.474	0.063	0.185	0.171	0.167	
60	30	0.619	0.857	0.841	0.773	0.127	0.356	0.334	0.315	
80	30	0.858	1.000	1.000	1.000	0.206	0.518	0.491	0.466	

## **Conclusions**

The RWH system simulation that is presented through this undergraduate thesis highlights the variation in reliability after considering various combinations regarding members per household, collection area and tank size. Additionally, as expected, rainfall regime is decisive for the performance, as shown through the analysis for two Greek islands that are characterized by different rainfall regime. A rainwater harvesting system that may operate at the island of Corfu seems to be a very efficient solution for a water supply of 30% of the domestic daily water demand. On the other hand, in Naxos, the system's performance is not satisfactory for the examined tank volumes (up to 30m<sup>3</sup>). As a general conclusion, by increasing the water tank volume and simultaneously increasing the roof area, the system becomes more efficient, in all examined combinations. Finally, the analysis under climate change scenarios shows an increase in the system's reliability, as the corresponding daily rainfall timeseries appear positive trends.

## 1 Εισαγωγή

---

### 1.1 Γενικά

Το πρόβλημα της υδατικής ανεπάρκειας στα ελληνικά νησιά είναι ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στο πλαίσιο της διαχείρισης υδατικών πόρων σε εθνικό επίπεδο. Το πρόβλημα δεν αφορά μόνο στη συνολική και πεπερασμένη ποσότητα γλυκού νερού, αλλά κυρίως στη γεωγραφική, την εποχιακή κατανομή και τη διαθεσιμότητά του, ιδιαίτερα σε σχέση με τις τοπικές ανάγκες και χρήσεις του, που είναι αυξημένες κατά τους θερινούς μήνες λόγω τουρισμού. Οι πρακτικές μεταφοράς νερού με υδροφόρα πλοία στα άνυδρα νησιά κατά τους θερινούς μήνες, πέρα από ιδιαίτερα δαπανηρές για τον προϋπολογισμό του κράτους (συνολικό κόστος που φτάνει τα 13 ευρώ ανά κυβικό νερού), είναι και ζημιογόνα για το περιβάλλον. Σε πολλά νησιά τα τελευταία χρόνια εγκαθίστανται μονάδες αφαλάτωσης, που μπορούν να εξασφαλίσουν αξιοπιστία κάλυψης αναγκών μέχρι και 100%, αλλά δεν παύουν να έχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις (κυρίως από την απομόνωση της άλμης) και να είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρες. Η λειτουργία οικιακών συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων στα ελληνικά νησιά, στη λογική της μείωσης της ζήτησης αλλά και στη διασφάλιση μιας ελάχιστης ποσότητας φρέσκου νερού σε επίπεδο οικίας μπορεί να ενσωματωθεί στο πλαίσιο μιας πιο ολοκληρωμένης διαχείρισης του πόρου, με στόχο τη βιωσιμότητα και την αειφορία. Η συνεχόμενη αύξηση της ζήτησης για νερό οδηγεί σταδιακά στην υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος, με το πρόβλημα να επιδεινώνεται σε περιόδους ξηρασίας, οι οποίες είναι όλο και συχνότερες λόγω της αλλαγής του κλίματος, έτσι η εκμετάλλευση του βρόχινου νερού είναι βέβαιο πως μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση του παγκόσμιου προβλήματος. Η Συλλογή Όμβριων Υδάτων (RainWater Harvesting – RWH) είναι ένας όρος που περιγράφει τις ποικίλες τεχνικές για την εκμετάλλευση των βροχοπτώσεων και την αντιμετώπιση της έλλειψης νερού. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν αντοχή στο χρόνο και προσαρμοστικότητα στις ξεχωριστές υδρολογικές και κλιματικές συνθήκες της περιοχής και η λειτουργία τους μπορεί να προσομοιωθεί μέσω ενός απλού μοντέλου υδατικού ισοζυγίου, λαμβάνοντας υπόψη έναν αριθμό παραμέτρων και φυσικών και τεχνικών περιορισμών, κατά περίπτωση.

## 1.2 Αντικείμενο εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας κάλυψης ποσοστού επί της αστικής χρήσης νερού για τα νησιά της Κέρκυρας και της Νάξου μέσω της λειτουργίας ενός οικιακού συστήματος RWH. Για την επίτευξη του στόχου γίνεται ανάπτυξη και εφαρμογή ενός ημερήσιου μοντέλου υδατικού ισοζυγίου, έχοντας πρώτα επεξεργαστεί τις διαθέσιμες χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης για τα δύο νησιά. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η αποδοτικότητα του συστήματος με χρήση σεναρίων, με βασικές παραμέτρους την επιφάνεια συλλογής και τον αριθμό των ατόμων σε επίπεδο οικίας, τον όγκο της (κλειστής) δεξαμενής αποθήκευσης του βρόχινου νερού, για ένα ποσοστό χρήσης ίσο με 30% επί της συνολικής ζήτησης που αντιστοιχεί σε κάποιες χρήσεις όπως το καζανάκι, οι οποίες μπορούν να καλυφθούν με νερό ανάλογης ποιότητας. Βάσει των αποτελεσμάτων που προκύπτουν, εξάγονται συμπεράσματα αναφορικά με τη διακύμανση του συντελεστή αποδοτικότητας μεταξύ σεναρίων αλλά και συγκρίνοντας τις δύο περιοχές που εμφανίζουν διαφορετικό βροχομετρικό καθεστώς, καθώς η ημερήσια βροχόπτωση αποτελεί και την εισροή του συστήματος. Τέλος, παρουσιάζεται μια ενδεικτική διερεύνηση της αποδοτικότητας ενός τέτοιου συστήματος υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής, λαμβάνοντας υπόψη διαθέσιμες χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης για την περίοδο 2030-2100 για τρία σενάρια εκπομπών (RCP: 2.5, 4.6 και 8.5, ευμενές, μέσο και δυσμενές, αντίστοιχα).

## 1.3 Διάρθρωση εργασίας

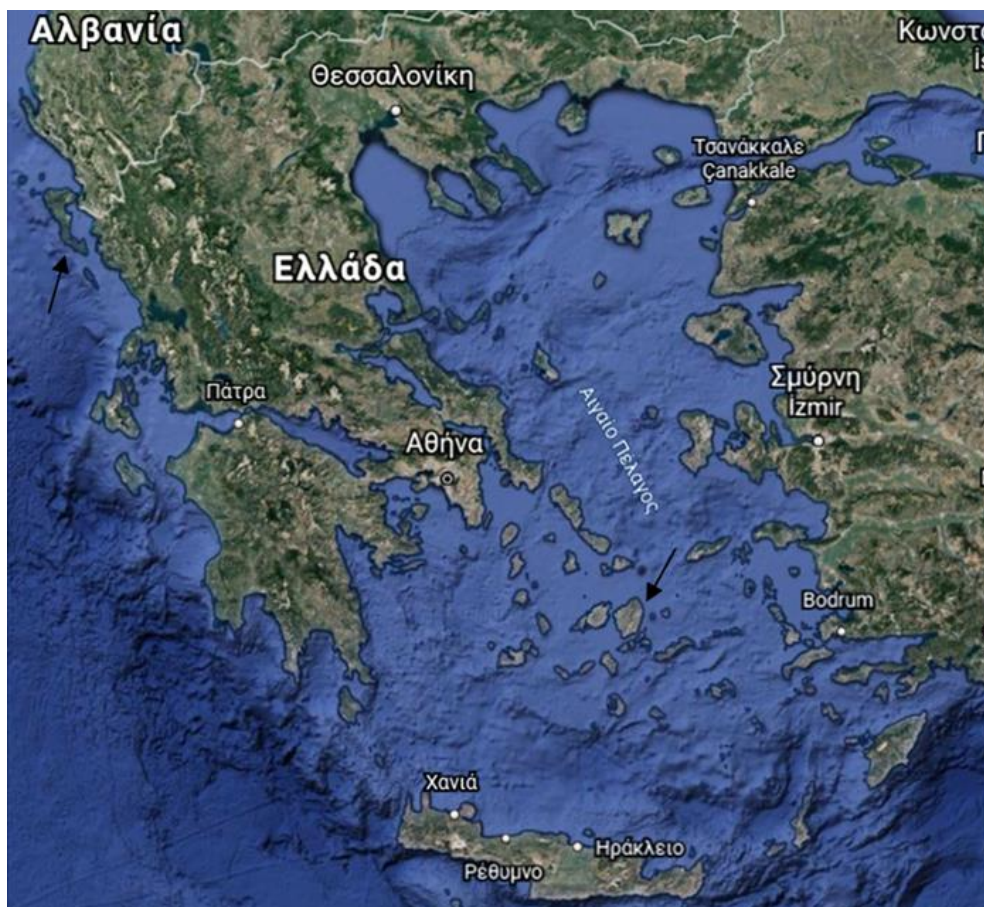
Η εργασία αποτελείται συνολικά από 5 κεφάλαια:

- Στο Κεφάλαιο 1 (παρόν κεφάλαιο) αναφέρεται η εισαγωγή.
- Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των περιοχών που μελετήθηκαν και γίνεται αναφορά στα βροχομετρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.
- Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά στα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων και στο μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας ενός τέτοιου οικιακού συστήματος.
- Στο Κεφάλαιο 4 παρατίθεται η εφαρμογή του μοντέλου, καθώς επίσης παρουσιάζονται και τα σχετικά αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε νησί.
- Στο Κεφάλαιο 5 διατυπώνονται τα συμπεράσματα της εργασίας και ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

## 2 Περιοχές Μελέτης και Δεδομένα

### 2.1 Επιλογή περιοχών μελέτης

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας επιλέχθηκαν τα νησιά της Κέρκυρας και της Νάξου, τα οποία έχουν διαφορετικό βροχομετρικό καθεστώς, λόγω της θέσης τους, με την πρώτη να βρίσκεται στην ομβροπλευρά της Ελλάδας, και τη δεύτερη να ανήκει στις Κυκλάδες, το νησιωτικό σύμπλεγμα που χαρακτηρίζεται από το μικρότερο ετήσιο ύψος βροχής και την υψηλότερη εξατμισοδιαπνοή. Γενικά, η Ελλάδα χωρίζεται σε 14 συνολικά Υδατικά Διαμερίσματα (Υ.Δ). Η Κέρκυρα ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα της Ηπείρου (5° Υ.Δ) και η Νάξος στο Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων του Αιγαίου (14° Υ.Δ). Η θέση των δύο νησιών φαίνεται στο Σχήμα 2.1



Σχήμα 2.1 Θέση Κέρκυρας και Νάξου (ανατολικό και δυτικό βέλος, αντίστοιχα) στον χάρτη της Ελλάδας (Πηγή: Google Earth)

## 2.2 Γεωγραφικά Στοιχεία

### *Κέρκυρα*

Η Κέρκυρα βρίσκεται βόρεια και δυτικά στο Ιόνιο Πέλαγος, στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Επτανήσων, όπου οι βορειοανατολικές της ακτές πλησιάζουν αρκετά την περιοχή των Αγίων Σαράντα, στην Αλβανία. Είναι το δεύτερο μεγαλύτερο νησί των Επτανήσων, έπειτα από την Κεφαλονιά. Το σχήμα του νησιού είναι πλατύ στη βόρεια πλευρά (μήκος: 62 km) και στενεύει προς το νότο (μήκος: 3.5 – 8.5 km), με έκταση 592 km<sup>2</sup> και ακτές με συνολικό μήκος 217 km. Επίσης, η Κέρκυρα μαζί με τα νησιά Οθωνοί, Ερεικούσσα, Παξοί, Αντίπαξοι και Μαθράκι συγκροτούν την «Π.Ε. Κέρκυρας» και μαζί με την Ζάκυνθο, την Ιθάκη, την Κεφαλονιά και την Λευκάδα υπάγονται στην «Περιφέρεια Ιονίων Νήσων». Τέλος, είναι ένα από τα πιο πυκνοκατοικημένα νησιά της Μεσογείου, με την πυκνότητα του πληθυσμού να αντιστοιχεί σε 193 κατοίκους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (Μουζακίτης, 2009).



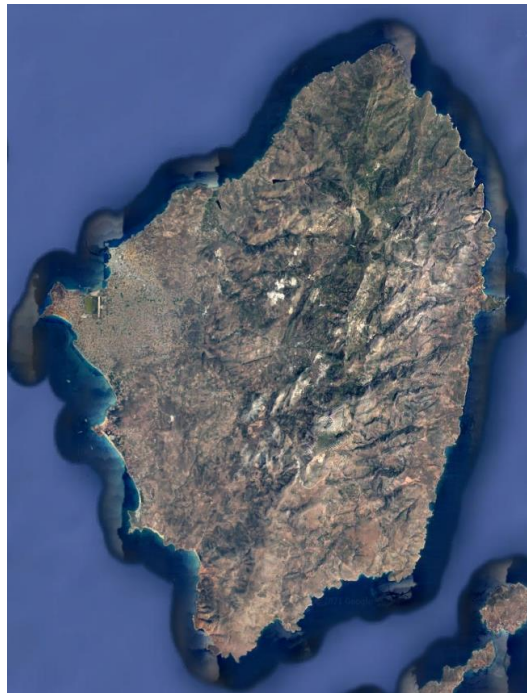
Σχήμα 2.2 Η Κέρκυρα σε φωτογραφία από δορυφόρο

### *Νάξος*

Η Νάξος βρίσκεται στο Αιγαίο Πέλαγος, και ανήκει γεωγραφικά στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων. Με έκταση περίπου 430 km<sup>2</sup> και μήκος ακτών 148 km είναι το μεγαλύτερο



νησί του συμπλέγματος. Ακόμη, το σχήμα του νησιού είναι επίμηκες. Ανήκει στις Νότιες Κυκλάδες και κατέχει κεντρική γεωγραφική θέση στο Αιγαίο. Περιβάλλεται στα νότια από τη Μύκονο, ανατολικά από την Πάρο, δυτικά από τη Δονούσα, βορειοανατολικά από την Ίο και βορειοδυτικά από την Αμοργό. Τέλος, η Νάξος υπάγεται στο «Δήμο Νάξου και Μικρών Κυκλάδων» και χωρίζεται στις Δημοτικές Ενότητες Νάξου και Δρυμαλίας (Προμπονά, 2006, Ευελπίδου, 2001).



Σχήμα 2.3 Η Νάξος σε φωτογραφία από δορυφόρο

## 2.3 Γεωμορφολογικά Χαρακτηριστικά

### *Κέρκυρα*

Το έδαφος της Κέρκυρας είναι κυρίως ορεινό, ιδιαίτερα στο βόρειο τμήμα της. Ωστόσο, χαρακτηρίζεται ως ημιορεινή γενικά, γιατί στο μεγαλύτερο μέρος καλύπτεται από λόφους και χαμηλά βουνά. Το μεγαλύτερο υψόμετρο του νησιού συναντάται στο όρος Παντοκράτορας, στην κορυφή αρχαία Ιστώνη (914 μέτρα). Γενικά, παρατηρείται μείωση του υψομέτρου από τα βόρεια προς τα νότια. Επιπροσθέτως, λόγω της μικρής έκτασης του νησιού, δεν υπάρχει κανένας ποταμός, αλλά εξαιτίας των βροχοπτώσεων δημιουργούνται χείμαρροι, με κυριότερους τον Μεγαπόταμο, τον Τυφλοπόταμο και τον Μεσογγή. Ακόμη, υπάρχει η λίμνη Κορισσίων στο νοτιοδυτικό μέρος της Κέρκυρας. Η λίμνη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες

αποξηραίνεται κατά το ήμισυ και την περίοδο του χειμώνα τα νερά της διοχετεύονται στη θάλασσα.

### *Νάξος*

Το έδαφος της Νάξου είναι ορεινό. Από το βόρειο έως το νότιο άκρο του, το νησί διασχίζεται από την οροσειρά Ζευς, όπου περίπου στο κέντρο της υπάρχει η υψηλότερη κορυφή (Ζευς) του νησιού, με υψόμετρο 1002 μέτρα. Χαρακτηριστικό της οροσειράς είναι ότι από τα ανατολικά οι πλαγιές της είναι απότομες, ενώ από τα δυτικά πιο ομαλές. Όσον αφορά τα παράλια του νησιού, η κεντρική, η ορεινή και η νότια παραλιακή ζώνη, καθώς και ο υγρότοπος της αλυκής, έχουν χαρακτηριστεί τόποι ιδιαίτερης οικολογικής και κοινωνικής αξίας και για το λόγο αυτό εντάχθηκαν στο ευρωπαϊκό δίκτυο «Natura 2000» (Τζιώτης, 2006). Σημαντικό να αναφερθούν είναι και δύο βιότοποι του νησιού, στην ορεινή πλευρά της Νάξου. Αναφορικά είναι οι Αλυκές και όρη Δίας, Μαυροβούνι, Κόρωνος, Νότια Νάξος. Κλείνοντας, το νησί είναι πλούσιο σε πηγές και ρέματα, στα οποία οφείλεται και η πλούσια τοπική βλάστηση.

## **2.4 Κλιματικά Χαρακτηριστικά**

### *Κέρκυρα*

Το κλίμα του νησιού είναι μεσογειακό, με κρύο και βροχερό χειμώνα, θερμό και ξηρό καλοκαίρι. Οι πιο ψυχροί μήνες του έτους είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, ενώ θερμότερος είναι ο Αύγουστος. Ο χειμώνας στο νησί θεωρείται ήπιος, ωστόσο λόγω των δυνατών ανέμων – κυρίως στο βόρειο τμήμα του – το κρύο, αρκετές φορές, είναι έντονο. Η απόλυτη θερμοκρασία την εποχή αυτή έχει φτάσει τους 5.00 °C. Όσον αφορά τις χιονοπτώσεις, σπάνια εμφανίζονται στον ορεινό / ημιορεινό και βόρειο τομέα της Κέρκυρας, όπως επίσης το ίδιο συμβαίνει και με το χαλάζι. Εν αντιθέσει των χιονοπτώσεων, έρχονται οι καταιγίδες, οι οποίες από τον Οκτώβριο έως και τον Φεβρουάριο είναι ιδιαίτερα συχνές. Το φαινόμενο είναι λογικό, αφού το Ιόνιο Πέλαγος λόγω της θέσης του, δέχεται περισσότερες βροχές από οποιοδήποτε άλλο μέρος της χώρας. Αποτέλεσμα των συχνών και μεγάλων σε διάρκεια βροχοπτώσεων είναι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής να υπολογίζεται περίπου στα 1150 mm. Ακολούθως, η άνοιξη δεν είναι τόσο θερμή, όσο το φθινόπωρο κι αυτό οφείλεται στους ανέμους στο νότιο / νοτιοδυτικό τμήμα της Κέρκυρας. Τέλος, η διαφορά μεταξύ της

μέσης θερμοκρασίας του θερμομέτρου και του ψυχρότερου μήνα του έτους (ετήσιο θερμομετρικό εύρος) είναι 15.70 °C.

### *Νάξος*

Το κλίμα του νησιού είναι μεσογειακό, με δροσερά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Ο πιο ψυχρός μήνας είναι ο Ιανουάριος και ο πιο θερμός είναι ο Ιούλιος, με τη θερμοκρασία να μην ξεπερνά τους 26.00 °C. Η τιμή αυτή είναι αναμενόμενη, γιατί η θάλασσα και οι έντονοι άνεμοι στο νησί την επηρεάζουν σημαντικά. Όσον αφορά τις βροχοπτώσεις, το μέσο ύψος βροχής είναι 350-400 mm και στο διάστημα από το Νοέμβρη έως και το Φεβρουάριο σημειώνονται βροχοπτώσεις σε ποσοστό 70% του συνόλου. Τέλος, το χιόνι και το χαλάζι δεν είναι συχνό φαινόμενο στη Νάξο, αλλά όταν συμβεί είναι κυρίως στις ορεινές της περιοχές.

## **2.5 Δημογραφικά Δεδομένα και Στατιστικά χαρακτηριστικά νοικοκυριών**

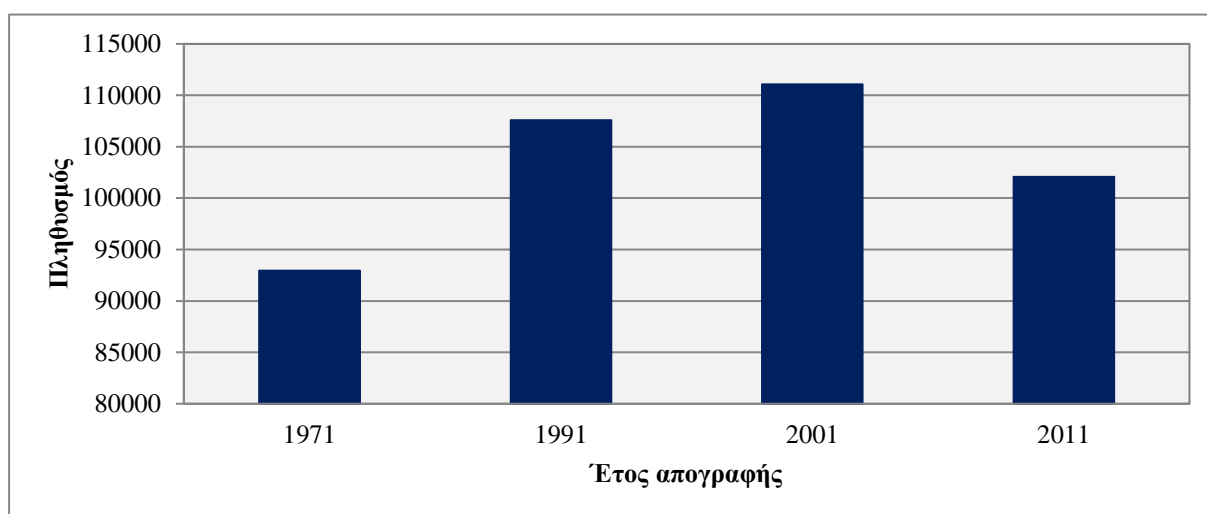
### *Κέρκυρα*

Ο πληθυσμός της Κέρκυρας, κατά τις απογραφές που πραγματοποιούνται από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) παρουσιάζει μια συνεχή μεταβολή. Κατά την απογραφή του 1971, καταγράφεται πληθυσμός ίσος με 92933 κατοίκους. Το έτος 1991 πραγματοποιείται εκ νέου απογραφή, βάσει της οποίας γίνεται αντιληπτή η αύξηση του πληθυσμού, ο οποίος ανέρχεται στα 107592 άτομα. Στην απογραφή του 2001, μετρούνται 111081 κάτοικοι. Τέλος, κατά την τελευταία απογραφή που πραγματοποιήθηκε το 2011, ο πληθυσμός του νησιού μειώθηκε στους 102071 κατοίκους, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.1 και στο Σχήμα 2.4.

Τα νοικοκυριά στο νησί της Κέρκυρας είναι 40058. Οι οικογένειες με δύο μέλη κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό στο νησί, έπειτα είναι οι μονομελείς κι ακολουθούν οι τριμελείς. Σε ποσοστό 16.55% περίπου βρίσκονται τα νοικοκυριά με τέσσερα μέλη κι έπονται αυτά με πέντε. Τέλος, με πολύ χαμηλό ποσοστό κοντά στο 2.00% υπάρχουν κι οικογένειες με έξι μέλη κι άνω. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 2.2.

**Πίνακας 2.1 Μεταβολή του Πληθυσμού της Κέρκυρας (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)**

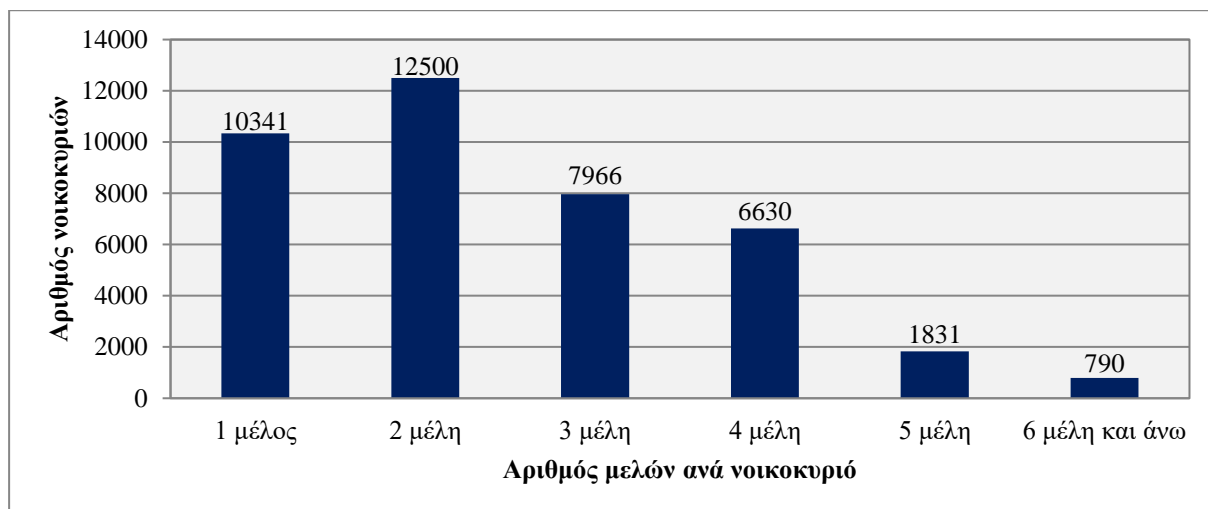
Έτος απογραφής	Πληθυσμός
1971	92933
1991	107592
2001	111081
2011	102071



**Σχήμα 2.4 Γράφημα με την πληθυσμιακή εξέλιξη στο νησί της Κέρκυρας**

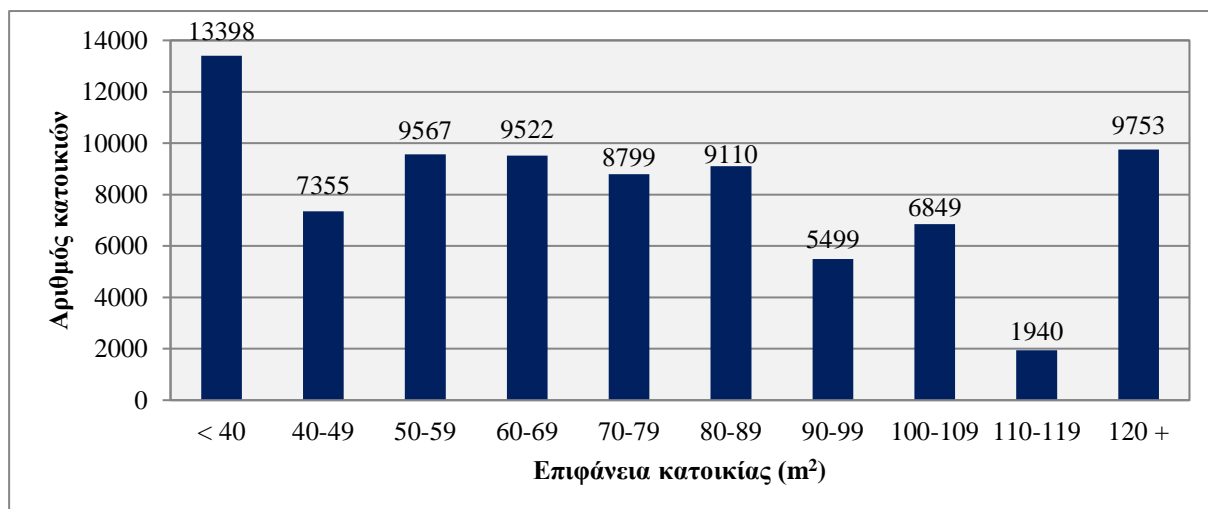
**Πίνακας 2.2 Απογραφή Νοικοκυριών Κέρκυρας και μέλη αυτών (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)**

Δήμος Κέρκυρας	Νοικοκυριά	Ποσοστό (%)
1 μέλος	10341	25.82
2 μέλη	12500	31.20
3 μέλη	7966	19.89
4 μέλη	6630	16.55
5 μέλη	1831	4.57
6 μέλη και άνω	790	1.97
<b>Σύνολο:</b>	<b>40058</b>	<b>100.00</b>



Σχήμα 2.5 Αριθμός νοικοκυριών και η κατανομή των μελών τους

Αναφορικά με το εμβαδό των κατοικιών του νησιού, τα διαθέσιμα στοιχεία, σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011, συνοψίζονται στο Σχήμα 2.6. Είναι εμφανές ότι μεγάλος αριθμός κατοικιών απαντάται στην κλάση με τη μικρότερη συνολική επιφάνεια οικίας, ενώ για τα ενδιάμεσα εμβαδά, ο αριθμός είναι περίπου σταθερός. Λιγότερα σπίτια ανήκουν σε κατηγορίες υψηλότερων εμβαδών και για το λόγο αυτό ομαδοποιήθηκαν σε μια ενιαία κλάση για εμβαδό μεγαλύτερο των 120 τετραγωνικών μέτρων. Η εν λόγω πληροφορία ενώ είναι χρήσιμη για τον καθορισμό λογικών ορίων στις επιφάνειες συλλογής που θα διερευνηθούν στη συνέχεια, δεν είναι όμως και απόλυτα αντιπροσωπευτική, καθώς τα συγκεκριμένα εμβαδά μπορεί να μοιράζονται σε περισσότερα από ένα επίπεδα, και άρα η επιφάνεια συλλογής στην πραγματικότητα να είναι μικρότερη.



Σχήμα 2.6 Αριθμός και επιφάνειες κατοικιών (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

### Νάξος

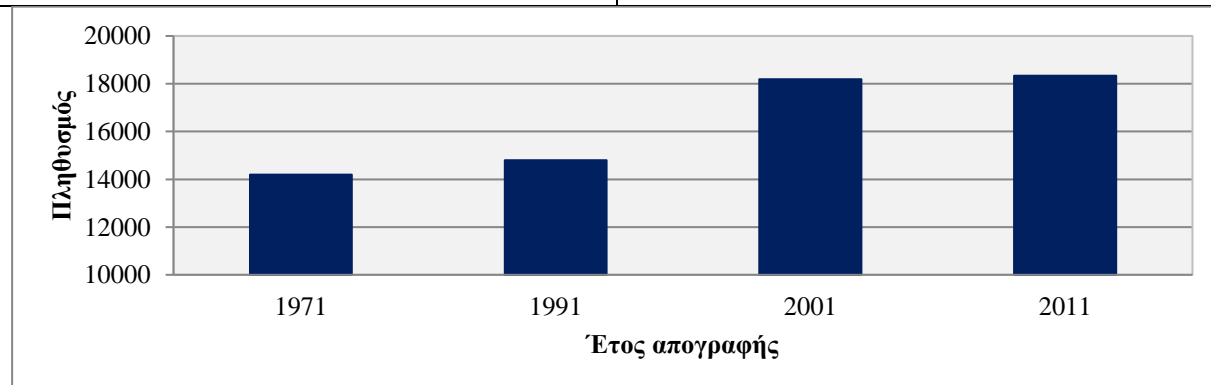
Ο πληθυσμός της Νάξου, κατά τις απογραφές που πραγματοποιούνται και με έτος αναφοράς το 1971, παρουσιάζει σταθερά αυξητική πορεία. Συγκεκριμένα, με τα στοιχεία που έχουν ληφθεί, παρατηρείται ότι από το έτος αναφοράς και για δύο δεκαετίες ο πληθυσμός στο νησί αυξάνεται σε πολύ μικρό βαθμό, κάτι που αλλάζει μέσα στα επόμενα δέκα χρόνια, αφού καταγράφεται μια αισθητή αύξηση. Τέλος, στην τελευταία απογραφή του 2011, ο συνολικός πληθυσμός της Νάξου καταμετρήθηκε στους 18340 κατοίκους.

Το σύνολο των νοικοκυριών του νησιού ανέρχεται στα 7036. Πιο αναλυτικά, το μεγαλύτερο ποσοστό εξ αυτών αποτελείται από 2 μέλη, καθώς ακολουθούν οι μονομελείς και οι τριμελείς οικογένειες. Με ποσοστό 17.52% έπονται τα τετραμελή νοικοκυριά, ενώ στο 7.04% βρίσκονται τα πενταμελή. Τέλος, οι οικογένειες με 6 μέλη κι άνω κατέχουν το μικρότερο ποσοστό στο νησί, με μόλις 3.24%. Αναλυτικά τα στοιχεία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Τέλος, στα Σχήματα 2.8 και 2.9 παρουσιάζονται αντίστοιχα ο αριθμός μελών ανά νοικοκυριό και η κατανομή των νοικοκυριών ανά κλάση επιφάνειας. Στη Νάξο τα περισσότερα νοικοκυριά αποτελούνται από δύο μέλη και η συνολική επιφάνεια οικίας είναι κατά κανόνα μικρότερη – ελάχιστα σπίτια ανήκουν στην κλάση μεγάλης επιφάνειας.

**Πίνακας 2.3 Μεταβολή του Πληθυσμού της Νάξου (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)**

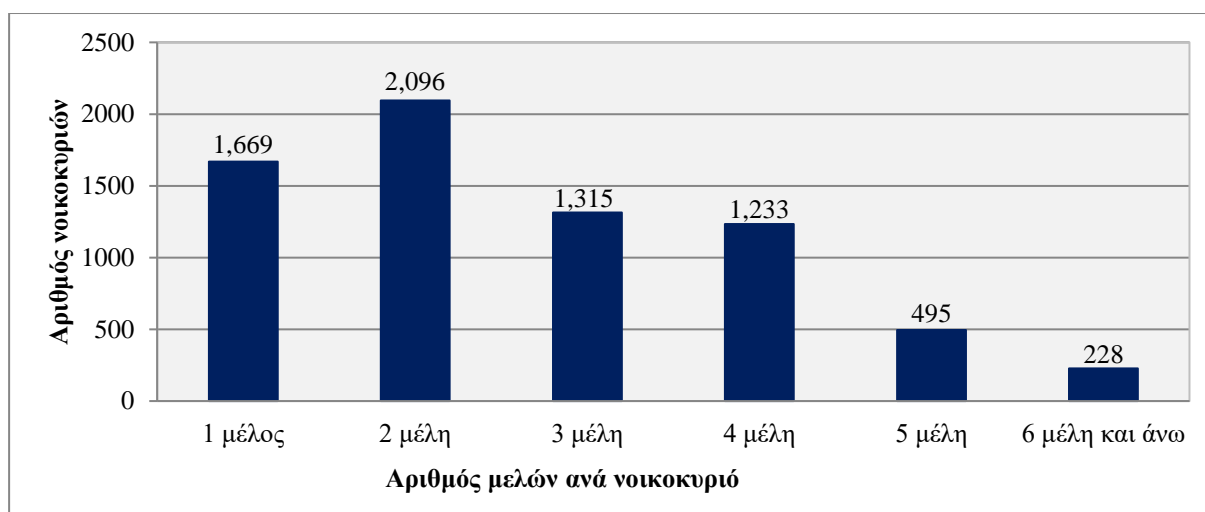
Έτος απογραφής	Πληθυσμός
1971	14201
1991	14792
2001	18188
2011	18340



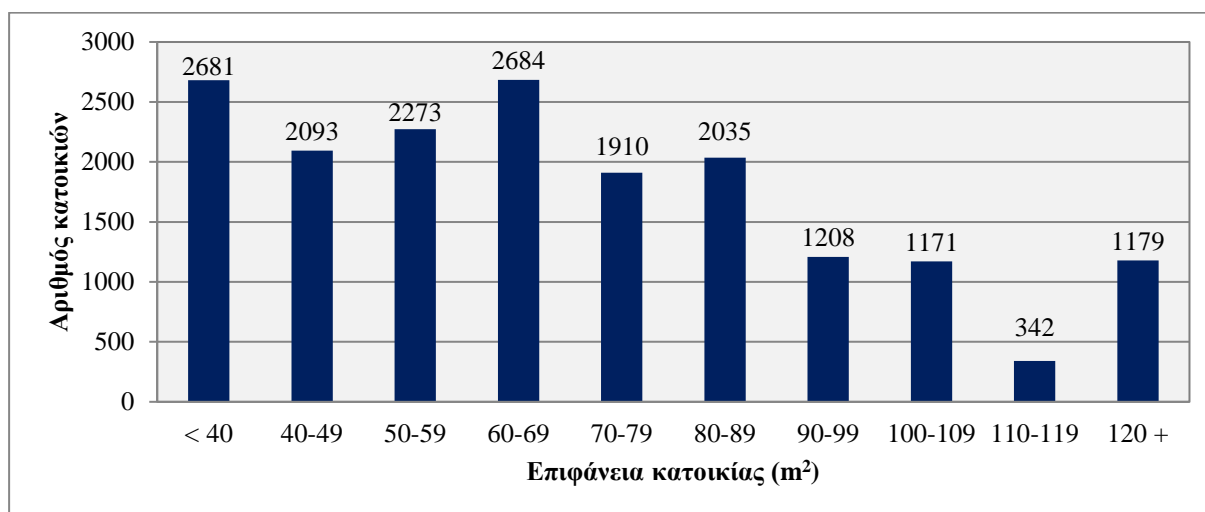
**Σχήμα 2.7 Γράφημα με την πληθυσμιακή εξέλιξη στο νησί της Νάξου**

**Πίνακας 2.4** Απογραφή Νοικοκυριών Νάξου και μέλη αυτών (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

Δήμος Νάξου & Μικρών Κυκλάδων	Νοικοκυριά	Ποσοστό (%)
1 μέλος	1669	23.72
2 μέλη	2096	29.79
3 μέλη	1315	18.69
4 μέλη	1233	17.52
5 μέλη	495	7.04
6 μέλη και άνω	228	3.24
<b>Σύνολο:</b>	<b>7036</b>	<b>100.00</b>



**Σχήμα 2.8** Αριθμός νοικοκυριών και η κατανομή των μελών τους

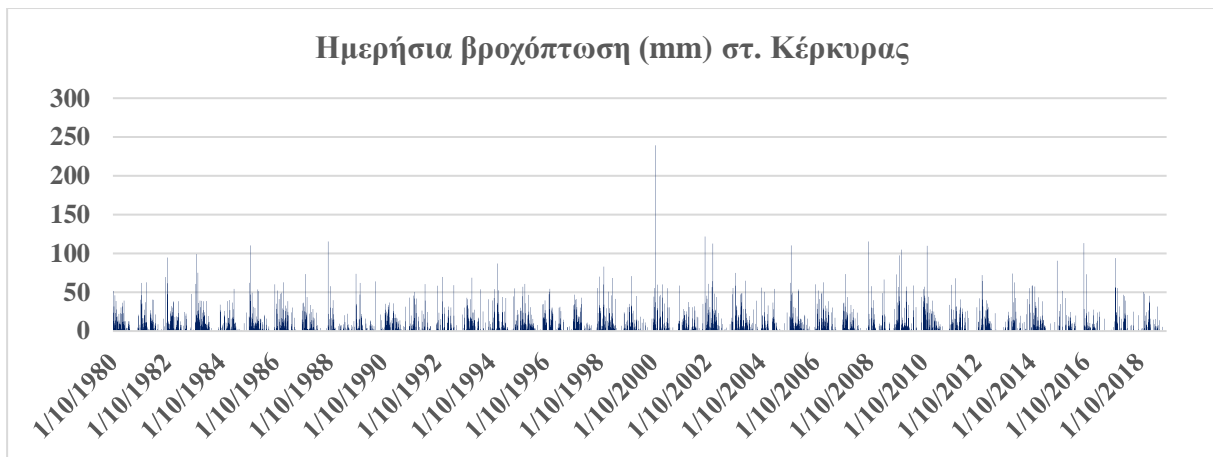


**Σχήμα 2.9** Αριθμός και επιφάνειες κατοικιών (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

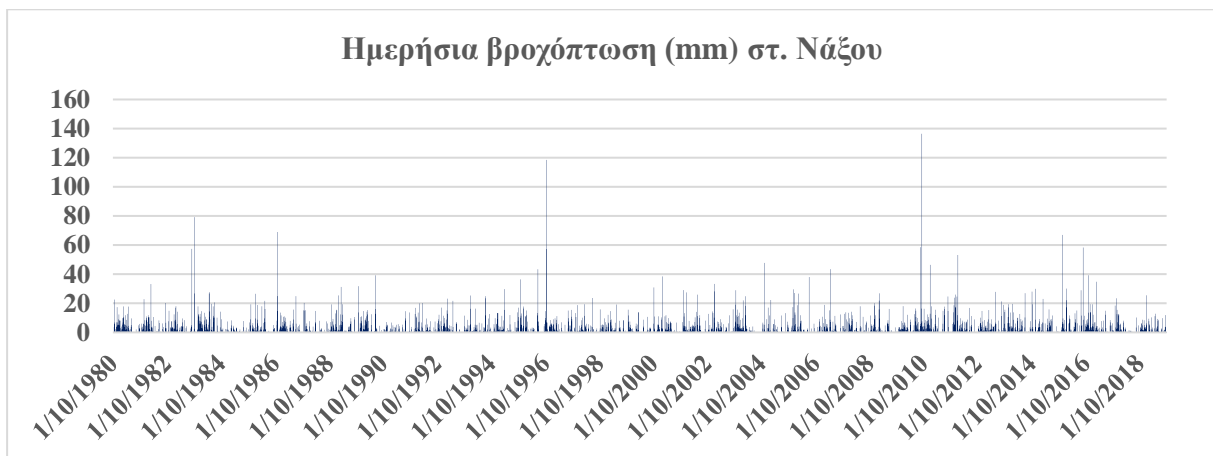
## 2.6 Βροχομετρικά Δεδομένα

Για την εκπόνηση της εργασίας αναζητήθηκαν δεδομένα σχετικά με τις ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης για τις δύο περιοχές μελέτης, όπου τελικά χορηγήθηκαν οι διαθέσιμες χρονοσειρές από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ), για την περίοδο από το 1980 έως και το 2019. Και στις δύο περιοχές επιλέχθηκε χρονική περίοδος ίση με 39 υδρολογικά έτη, με στόχο να καλύψει πλήρως τις προϋποθέσεις για την διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής (τουλάχιστον 30ετία).

Στα Σχήματα 2.10 και 2.11 παρουσιάζεται η ημερήσια διακύμανση του ύψους βροχόπτωσης σε mm για τον σταθμό της Κέρκυρας και της Νάξου, αντίστοιχα, και για την περίοδο Οκτώβριος 1980 – Σεπτέμβριος 2019.



Σχήμα 2.10 Χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης για τον σταθμό της Κέρκυρας  
(Παροχή δεδομένων: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)



Σχήμα 2.11 Χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης για τον σταθμό της Νάξου  
(Παροχή δεδομένων: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)



## 2.7 Τιμολογιακή Πολιτική

### Κέρκυρα

Σύμφωνα με την Δ.Ε.Υ.Α της Κέρκυρας, το τιμολόγιο στο νησί είναι κλιμακωτό. Η κατανάλωση νερού καταμετράται κάθε έξι μήνες και το τιμολόγιο εκδίδεται κάθε τρεις. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφεται η κλίμακα κατανάλωσης που ισχύει για όλους τους καταναλωτές, προσθέτοντας κάθε φορά τα ποσά των προηγούμενων κλιμάκων. Γίνεται αναφορά στις τιμές χρέωσης πέντε περιοχών του νησιού με μεγάλο αριθμό κατοίκων. Ακόμη, για κατανάλωση νερού έως και 12 m<sup>3</sup> το τρίμηνο, υπάρχει πάγιο 18.25€ για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα και ακολούθως, από το 13<sup>ο</sup> m<sup>3</sup>, η τιμολόγηση γίνεται σύμφωνα με την ισχύουσα τιμή ανά κλίμακα και περιοχή.

Τα νοικοκυριά που πραγματοποιούν μεγάλες καταναλώσεις (άνω των 3000 m<sup>3</sup> το τρίμηνο) έχουν την δυνατότητα να ζητήσουν έκδοση του λογαριασμού που τους αναλογεί κάθε μήνα, με το ποσό της ελάχιστης κατανάλωσης να διαμορφώνεται στα 6.08€. Δηλαδή, το 1/3 του ποσού που αντιστοιχεί στην τρίμηνη τιμολόγηση. Τότε, η κλίμακα και τα όριά της διαμορφώνονται όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.6.

**Πίνακας 2.5 Κλιμακωτό τιμολόγιο στην Κέρκυρα ανά τρίμηνο ανά περιοχή**  
(Πηγή: Δ.Ε.Υ.Α Κέρκυρας)

		ΠΕΡΙΟΧΗ (€/m <sup>3</sup> )				
Κλίμακα κατανάλωσης	Όρια κλίμακας (m <sup>3</sup> )	Αγίου Γεωργίου	Αχίλλειων	Κασσωπαίων	Κερκυραίων	Κορισσίων
1	από 0 έως 12	18.25	18.25	18.25	18.25	18.25
2	από 13 έως 25	0.85	0.52	1.00	1.19	0.38
3	από 26 έως 50	1.18	0.84	1.30	1.35	0.43
4	από 51 έως 75	1.22	1.08	1.55	1.80	0.50
5	από 76 έως 100	1.26	1.45	1.90	2.74	0.70
6	από 101 έως 500	1.30	1.75	3.30	3.30	0.85
7	501+	1.33	1.75	3.45	3.45	0.86

**Πίνακας 2.6 Κλιμακωτό τιμολόγιο στην Κέρκυρα ανά μήνα**

(Πηγή: Δ.Ε.Υ.Α Κέρκυρας)

Κλίμακα κατανάλωσης	Όρια κλίμακας (m <sup>3</sup> )
1	από 0 έως 4
2	από 5 έως 8
3	από 9 έως 17
4	από 18 έως 25
5	από 26 έως 33
6	από 34 έως 167
7	168 +

Κλείνοντας, υπάρχει το «Κοινωνικό Οικιακό Τιμολόγιο» και ισχύει μόνο για τα πρώτα 45 m<sup>3</sup> της τριμηνιαίας κατανάλωσης και υπό προϋποθέσεις. Οι προϋποθέσεις αναφέρονται στην ικανοποίηση των αναγκών για κύρια κατοικία, με κατανάλωση μεγαλύτερη των 12 m<sup>3</sup> το τρίμηνο, η παροχή για την ύδρευση να ανήκει στον δικαιούχο και να υπάρχει επίσης η χορήγηση του «Κοινωνικού Τιμολογίου» από την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.).

#### Νάξος

Το τιμολόγιο στο νησί της Νάξου είναι κλιμακωτό. Η κατανάλωση του νερού τιμολογείται κάθε τέσσερις ή έξι μήνες, ανάλογα με την περιοχή που βρίσκεται η κατοικία. Στους Πίνακες 2.7 και 2.8 γίνεται η παρουσίαση των ορίων της κλίμακας που ισχύει στις εκάστοτε περιοχές, όπως επίσης και οι τιμές χρέωσης σε αυτές. Κάτι ακόμα που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι για κατανάλωση νερού έως και 20 m<sup>3</sup> σε τετράμηνο τιμολόγιο, υπάρχει πάγιο 4.00€, ενώ σε εξάμηνο είναι 6.00€, για κατανάλωση έως και 30 m<sup>3</sup>.

Τέλος, όσον αφορά το «Κοινωνικό Τιμολόγιο», δίνεται η δυνατότητα σε πολύτεκνες οικογένειες να έχουν 50% έκπτωση, με όριο κατανάλωσης έως τα 150 m<sup>3</sup> το εξάμηνο. Η ίδια διευκόλυνση ισχύει και για τις τρίτεκνες οικογένειες με προϋπόθεση το 3<sup>ο</sup> παιδί της οικογένειας να μην ξεπερνάει το 25<sup>ο</sup> έτος της ηλικίας του και η κατανάλωση νερού να έχει όριο τα 120 m<sup>3</sup>, όπως επίσης ισχύει και για τα άτομα με ειδικές ανάγκες (ΑμΕΑ) με αναπηρία 80%.

**Πίνακας 2.7 Κλιμακωτό τιμολόγιο στη Νάξο ανά τετράμηνο**

(Πηγή: Απόσπασμα πρακτικού συνεδρίασης Δημοτικού Συμβουλίου Νάξου & Μικρών Κυκλάδων)

	<b>ΠΕΡΙΟΧΗ (€/m<sup>3</sup>)</b>
Όρια κλίμακας (m <sup>3</sup> )	πρώην Δήμος Νάξου, Κουφονήσι, Ηρακλεία, Δονούσα, Σχοινούσα
από 0 έως 20	0.40
από 21 έως 40	0.65
από 41 έως 80	0.90
από 81 έως 160	1.50
από 161 έως 9999	2.50

**Πίνακας 2.8 Κλιμακωτό τιμολόγιο στη Νάξο ανά εξάμηνο**

(Πηγή: Απόσπασμα πρακτικού συνεδρίασης Δημοτικού Συμβουλίου Νάξου & Μικρών Κυκλάδων)

	<b>ΠΕΡΙΟΧΗ (€/m<sup>3</sup>)</b>	
Όρια κλίμακας (m <sup>3</sup> )	Μέλανες, Γαλήνη, Εγγαρές, Κινίδαρος	Λοιπές περιοχές
από 0 έως 30	0.30	0.40
από 31 έως 60	0,40	0.65
από 61 έως 120	0.60	0.90
από 121 έως 240	1.50	1.50
από 241 έως 9999	2.50	2.50

### 3 Συστήματα Συλλογής Ομβριων Υδάτων

---

#### 3.1 Γενικά

Η συλλογή όμβριων υδάτων (RainWater Harvesting, RWH) είναι μία τεχνολογία με στόχο τη συλλογή και την αποθήκευση του νερού της βροχής από στέγες σπιτιών, εδαφικές επιφάνειες, επιφάνειες δρόμων ή πέτρινες επιφάνειες με απλές τεχνικές, όπως δοχεία, δεξαμενές και στέρνες, αλλά και πιο πολύπλοκες τεχνικές όπως υπόγεια ελεγχόμενα φράγματα (Κουμουρά, 2016).

Η συλλογή ομβρίων είναι μία εναλλακτική πηγή για καθαρό νερό, κυρίως για την κάλυψη οικιακών αναγκών, όπως το πλυντήριο, το πότισμα, η τουαλέτα, αλλά όχι η πόση. Ωστόσο, το νερό της βροχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την πόση, αφού, όμως, έχει προηγηθεί η απαραίτητη επεξεργασία. Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων είναι ιδιαίτερα σημαντικά, αφού γίνεται αντιληπτό πως με αυτή την τεχνολογία μπορεί να επέλθει παγκόσμια εξοικονόμηση νερού, αφού σύμφωνα με διεθνείς μελέτες, σε σπίτια με συστήματα συλλογής βρόχινου νερού, μπορεί να επιτευχθεί μείωση χρήσης νερού από το δίκτυο σε ποσοστό 30-92% (Abdulla et al., 2009).

Γενικά, η συλλογή ομβρίων για αστική χρήση θεωρείται μεγάλης σημασίας, καθώς είναι μια σύγχρονη, σχετικά φθηνή και απλή τεχνολογία εξοικονόμησης νερού. Αποτελεί μια από τις πιο υποσχόμενες εναλλακτικές λύσεις παροχής νερού ενάντια στο πρόβλημα της λειψυδρίας και της αυξανόμενης ζήτησης. Παρέχει τη δυνατότητα αύξησης των υδατικών αποθεμάτων επιτρέποντας ταυτόχρονα αυτοδυναμία και αειφορία (Λόντρα, 2014).

Η εφαρμογή της τεχνολογίας συλλογής όμβριων υδάτων έχει αρκετά πλεονεκτήματα (Χαρδαλιά 2018):

1. Το επεξεργασμένο βρόχινο νερό καταναλώνεται κοντά ή στο σημείο συλλογής του, με αποτέλεσμα να μειώνεται η πιθανότητα μόλυνσης κατά τη μεταφορά του. Ακόμη, μειώνονται τα έξοδα παροχής νερού από το δημόσιο δίκτυο.
2. Από το δημόσιο δίκτυο, ένα μεγάλο ποσοστό ζήτησης μπορεί να αντικατασταθεί από ένα τέτοιο σύστημα, ανακουφίζοντάς το.

3. Τα συστήματα συλλογής ομβρίων μπορούν να εγκατασταθούν τόσο σε υπάρχουσες όσο και σε καινούριες κατοικίες.
4. Το κόστος παρακολούθησης και διαχείρισης είναι γενικά χαμηλό, ειδικότερα στην περίπτωση πόσης του νερού.
5. Σε περίπτωση διακοπής στην παροχή νερού από το δημόσιο δίκτυο, η οικία παραμένει αυτόνομη και καλύπτονται οι ανάγκες των μελών της.

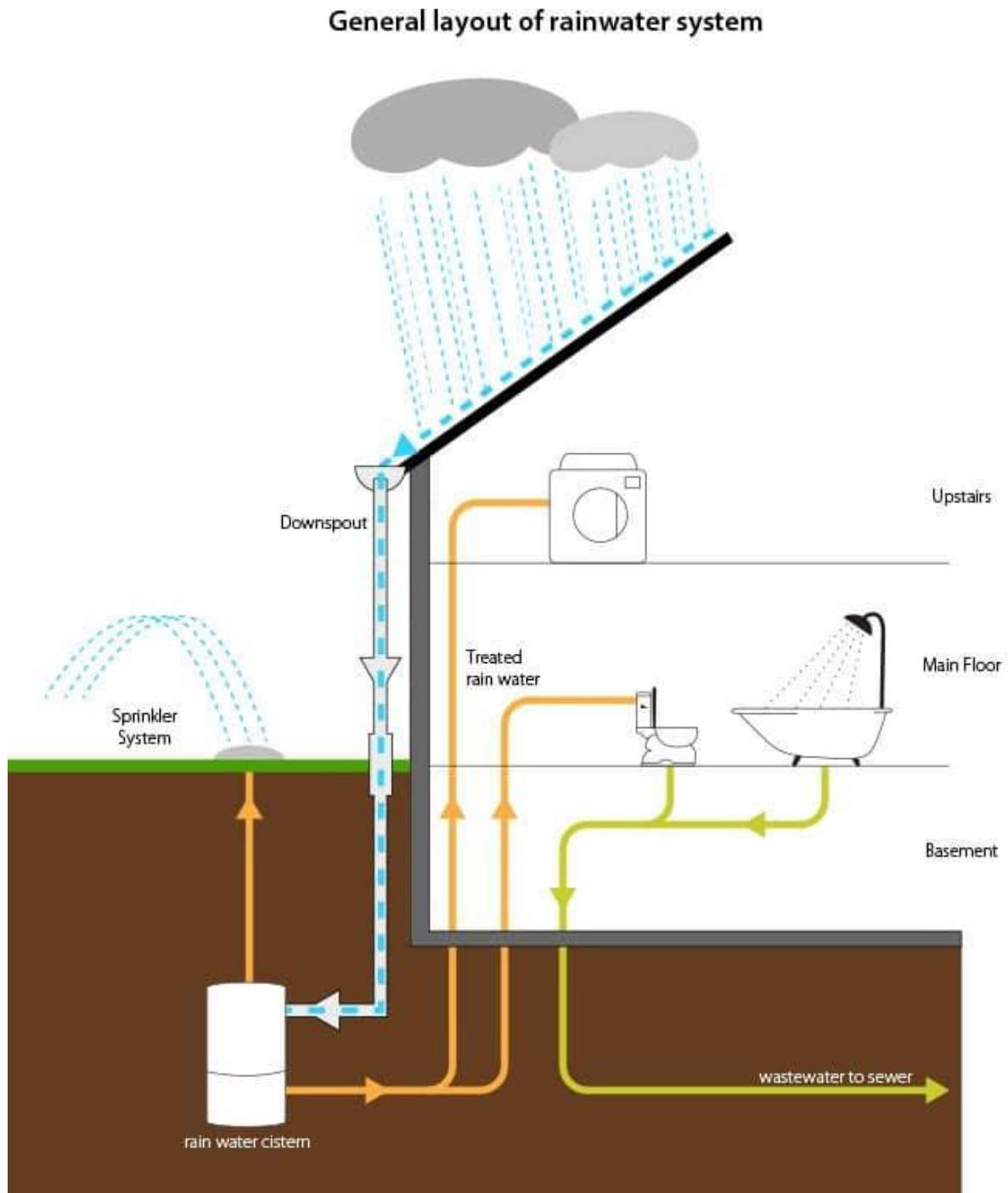
Ωστόσο, παρά τα πλεονεκτήματα στην τεχνολογία αυτή, υπάρχουν και μειονεκτήματα. Σημαντικά να αναφερθούν είναι το υψηλό κόστος της αρχικής επένδυσης και η αβεβαιότητα στην ποσότητα του νερού που θα συλλέγεται, αφού εξαρτάται αποκλειστικά από την βροχόπτωση στην περιοχή.

### **3.2 Διάταξη συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων**

Το βρόχινο νερό μπορεί να συλλεχθεί είτε από φυσικές επιφάνειες (π.χ λίμνες, αυλάκια), είτε από τεχνητές, όπως στέγες. Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων σε γενικές γραμμές αποτελούνται από έξι βασικά στοιχεία (Kinkade-Levario, 2007):

1. Επιφάνεια συλλογής ομβρίων, που μπορεί να είναι η στέγη της οικίας, όπως και διάφορες άλλες επιφάνειες περιμετρικά αυτής.
2. Σύστημα μεταφοράς ομβρίων, δηλαδή σωλήνες από κατάλληλα υλικά που οδηγούν το νερό στις εκάστοτε δεξαμενές.
3. Σύστημα καθαρισμού στέγης, φίλτρα που απομονώνουν τα ανεπιθύμητα υλικά από το νερό, με σκοπό να μην εισέλθουν στη δεξαμενή.
4. Δεξαμενές αποθήκευσης, συνήθως κλειστές, υπέργειες ή υπόγειες, κατασκευασμένες από διάφορα υλικά, ανάλογα και με τη διάστασή τους.
5. Σύστημα διανομής, δηλαδή κατάλληλες διατάξεις για τη μεταφορά του νερού.
6. Σύστημα επεξεργασίας/απολύμανσης, όπου εφαρμόζεται μόνον εάν το νερό προορίζεται για πόση.

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται ενδεικτικά η διάταξη ενός τέτοιου συστήματος και στο Σχήμα 3.2 μια εικόνα ενός πραγματικού τέτοιου συστήματος.



**Σχήμα 3.1** Παράδειγμα συστήματος συλλογής βρόχινου νερού

(Πηγή: <https://www.tendersontime.com/blogdetails/construction-rainwater-harvesting-systems-schools-and-communities-24739/>)



**Σχήμα 3.2** Ρεαλιστική τοποθέτηση και χρήση συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων  
(Πηγή: <https://www.watercache.com/education/rainwater-harvesting-101>)

### 3.3 Ποιοτική υποβάθμιση βρόχινου νερού

Η ποιότητα του νερού της βροχής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως:

→ Το περιβάλλον. Η ποιότητα του βρόχινου νερού εξαρτάται από τα νέφη, η σύσταση των οποίων μπορεί να περιλαμβάνει χημικές ουσίες φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης.

Ανάλογα με το περιβάλλον συχνά το βρόχινο νερό περιλαμβάνει ενώσεις του αζώτου και του θείου, με το pH του να διαμορφώνεται σε ελαφρώς όξινο.

→ Η επιφάνεια συλλογής. Συγκεκριμένα, σημαντικό πρόβλημα δημιουργούν τα υλικά που συσσωρεύονται σε αυτές. Μετά το τέλος μιας ξηρής περιόδου, οι επιφάνειες είναι καλυμμένες με οργανικό υλικό (νεκροί οργανισμοί, συσσώρευση φύλλων, περιττώματα), στοιχείο που προκαλεί σημαντική μείωση στην ποιότητα του νερού. Συνεπώς, είναι αναγκαία η απομάκρυνση των πρώτων βροχοπτώσεων της υγρής περιόδου.

→ Ο χώρος αποθήκευσης, ο οποίος είναι πιθανό να αποτελέσει κι αυτός πηγή μόλυνσης. Για το λόγο αυτό, απαραίτητη προϋπόθεση είναι οι καλές συνθήκες υγιεινής και η σωστή τοποθέτηση της δεξαμενής, από θέμα περιβάλλοντος (Ταλλάρου, 2015).

Μια μέθοδος που αναβαθμίζει την ποιότητα αυτού του νερού προέρχεται από μια ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια, η οποία κατάφερε να αναπτύξει μια τεχνολογία, με σκοπό τη μετατροπή των μολυσμένων ομβρίων σε νερό κατάλληλο για πόση. Αυτό έγινε με τη χρήση ειδικά τροποποιημένης άμμου, δηλαδή άμμου που επικαλύπτεται από μέταλλα που αντιδρούν με τους ρύπους και καταφέρνουν να τους εξουδετερώσουν. Συγκεκριμένα, είναι δύο μορφές μαγγανίου που αντιδρούν μεταξύ τους και σχηματίζουν οξειδίο του μαγγανίου. Αν η επικαλυμμένη άμμος δεν μπορεί να αφαιρέσει όλους τους τύπους ρύπων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με άλλα συστήματα καθαρισμού νερού για να απομακρύνει πολλές από τις μολυσματικές ουσίες που αυτό απορροφά. Το νερό στη συνέχεια μπορεί να αποθηκευτεί για μεταγενέστερη χρήση, π.χ. σε περιόδους ξηρασίας και λειψυδρίας. Σύμφωνα με την ερευνητική ομάδα, με την παραπάνω τεχνολογία μπορεί να αφαιρεθεί η οποιαδήποτε μόλυνση με παθητικό τρόπο και χαμηλό κόστος. Καθώς τα νερά της βροχής τρέχουν πάνω από στέγες, κήπους και δρόμους, προσλαμβάνουν μια σειρά από χημικές ουσίες, όπως ζιζανιοκτόνα, φυτοφάρμακα, τοξικά μέταλλα, πετρέλαιο, ακόμη και περιττώματα ζώων (naftemporiki.gr, 2018).

### **3.4 Συλλογή ομβρίων στην Ελλάδα**

Η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου συλλογής όμβριων υδάτων στον ελλαδικό χώρο χρονολογείται πάνω από 4000 χρόνια. Η διαδικασία πραγματοποιούνταν κυρίως μέσω δεξαμενών, εκ των οποίων πολλές, λόγω της σωστής εγκατάστασης, άντεξαν και να



λειτουργήσαν για αιώνες. Αρχικά, οι δεξαμενές χρησιμοποιήθηκαν ως κύρια πηγή ύδρευσης, ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις, εκμεταλλεύτηκαν και για άλλους σκοπούς, όπως για την εποχιακή ρύθμιση του νερού μεγάλων συστημάτων μεταφοράς (Antoniou et al., 2006).

Στα νησιά του Αιγαίου, η συλλογή όμβριων υδάτων ξεκίνησε την Κυκλαδική περίοδο, όπως μαρτυρούν τα ευρήματα στο νησί της Δήλου. Συγκεκριμένα, κατά τις εκσκαφές, αποκαλύφθηκαν υπόγειες δεξαμενές (στέρνες) στην πλειοψηφία των κτισμάτων, τοποθετημένες στις αυλές τους, γεγονός που αποδεικνύει πως η τεχνολογία αυτή ήταν η κύρια πηγή ύδρευσης του τόπου. Η κεντρική στέρνα του νησιού βρίσκεται μπροστά από ένα θέατρο. Η βροχή έπεφε πάνω στο κοίλο μέρος του θεάτρου και διοχετευόταν σε δεξαμενή που ήταν καλυμμένη με πλάκα (Antoniou et al., 2006, Bitis, 2013).

Γενικά, σε πολλές περιοχές της Ελλάδας οι κάτοικοι εκμεταλλευόμενοι τις φυσικές κλίσεις του εδάφους κατασκεύαζαν δεξαμενές, στις οποίες συνέλεγαν και αποθήκευαν το βρόχινο νερό. Μάλιστα, το μέγεθος και ο αριθμός των δεξαμενών που ανακαλύφθηκαν αργότερα στην περιοχή των Κυκλάδων – οι δεξαμενές ήταν μικρού και μεσαίου μεγέθους – μαρτυράει πως η συλλογή του νερού γινόταν ανάλογα με την επιφάνεια του κτίσματος. Οι αρχαίες τεχνολογίες συλλογής νερού, όπως οι στέρνες, χαρακτηρίζονταν από απλότητα, ευκολία στη χρήση και δεν απαιτούνταν πολύπλοκοι έλεγχοι, γεγονός που τις έκανε πιο βιώσιμες (Mays, 2010). Η δεξιοτεχνία στην κατασκευή των δεξαμενών είναι αξιοθαύμαστη, ειδικότερα όσον αφορά την ποιότητα της επικάλυψης στα εσωτερικά τοιχώματα, για την επίτευξη της στεγανότητάς της. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση εδάφους της Θήρας σαν κονίαμα, που λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε οξείδιο του πυριτίου, πετύχαινε πολύ καλή μόνωση των τοιχωμάτων της στέρνας. Στέρνες που διατηρούν αυτού του είδους την επικάλυψη από έδαφος της Θήρας, διατηρούν την ικανότητα αποθήκευσης νερού μέχρι και σήμερα (Χαρδαλιά, 2018).

Την τεχνολογία συλλογής όμβριων υδάτων μέσω δεξαμενών διατηρούν ακόμα και σήμερα οι άνθρωποι στην Φολέγανδρο, ενώ η πλειοψηφία των νησιών στο σύμπλεγμα των Κυκλάδων περιόρισαν σε μεγάλο βαθμό τη χρήση τους, αφού συνδέθηκαν με δίκτυο ύδρευσης. Ωστόσο, στα νησιά υπάρχουν ακόμα και χρησιμοποιούνται στέρνες και ομβροδεξαμενές.

Στη σύγχρονη εποχή, η συλλογή του βρόχινου νερού επανέρχεται ακόμα και σε αστικές περιοχές και μεγάλες πόλεις. Βέβαια, λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων προσαρμόζεται, έτσι ώστε να αποτελέσει κρίκο στην αλυσίδα της κάλυψης των αναγκών, ειδικά σε μέρη με

αυξημένο τουρισμό, ενώ ανάλογα συστήματα συνδυάζονται με την αντιπλημμυρική θωράκιση των περιοχών (π.χ., SUDs).

#### *Συλλογή όμβριων υδάτων στην Ελλάδα σήμερα*

Με το πρόγραμμα «Αποστολή Νερό», χρηματοδοτούμενο από την Coca-Cola 3E, το 2009 εγκαταστάθηκαν στη Σύρο, στην Τήνο και στη Νάξο πέντε δεξαμενές συνολικής χωρητικότητας 200 m<sup>3</sup>, με τις οποίες θα γίνεται εξοικονόμηση 290 m<sup>3</sup> νερού ετησίως. Μάλιστα, στην περιοχή της Βάρης στη Σύρο, το νερό έπειτα από την απαραίτητη επεξεργασία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για πόση.

Το 2010, η ίδια εταιρεία έκανε επέκταση του προγράμματος σε έξι νέα νησιά στο σύμπλεγμα των Κυκλάδων, με στόχο την ευαισθητοποίηση των κατοίκων και την άμβλυνση του προβλήματος της λειψυδρίας. Αναφέρεται ότι, τα νησιά των Κυκλάδων έχουν ιδιαίτερο πρόβλημα λειψυδρίας, αφού το μέσο ετήσιο ύψος βροχής δε ξεπερνά τα 400 mm. Σε συνεργασία με το Μεσογειακό Σκέλος της Διεθνούς Σύμπραξης για το Νερό (GWP – Med) και τη συμβολή της τοπικής αυτοδιοίκησης, τα νησιά που μέχρι το Σεπτέμβριο του ίδιου έτους θα γινόταν η εγκατάσταση, η χρήση και η συντήρηση 12 συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων ήταν η Ίος, η Σαντορίνη, η Ανάφη, η Ηρακλεία, τα Κουφονήσια και η Νάξος (capital.gr, 2010).

### **3.5 Νομοθετικό Πλαίσιο στην Ελλάδα**

Σύμφωνα με την πολεοδομική νομοθεσία στην Ελλάδα ισχύουν τα παρακάτω:

i. Με το Π.Δ της 16-06-1993 (ΦΕΚ 732Δ/07–07–1993) «Καθορισμός χρήσεων γης και όρων και περιορισμών των εκτός σχεδίου και εκτός ορίων οικισμών περιοχών των νήσων Πάρου και Αντιπάρου (Ν. Κυκλάδων)» και σύμφωνα με το άρθρο 2 παράγραφος 11, επιβάλλεται η κατασκευή δεξαμενών νερού περιορισμένων διαστάσεων, η επικάλυψη των οποίων δεν μπορεί να εξέχει πλέον των 0.80 m από την περίξ φυσική στάθμη του εδάφους. Οι δεξαμενές νερού δεν προσμετρώνται στο συντελεστή δόμησης και την κάλυψη του γηπέδου. Σύμφωνα με την οικ. 17250/2582/24-4-12 (ΦΕΚ 148/Α.Α.Π/2- 5-12) απόφαση του γενικού γραμματέα της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Αιγαίου «Εγκριση του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου του Δήμου Πάρου, νήσου Πάρου, Νομού Κυκλάδων» διατυπώνονται οι διατάξεις για την επιτρεπόμενη διαστασιολόγηση αυτών. Αναλυτικότερα στο ΓΠΣ Πάρου προβλέπονται τα κάτωθι:

Επιβάλλεται σε κάθε νέα οικοδομή, για την εξοικονόμηση ύδρευσης των κτισμάτων, η συλλογή του βρόχινου νερού με την κατασκευή υπόγειας δεξαμενής συγκέντρωσης των όμβριων υδάτων.

- Ο μέγιστος όγκος της δεξαμενής θα πρέπει να είναι  $V=0,5 \cdot E$  (όπου  $E$  η επιφάνεια της πραγματοποιούμενης κάλυψης των κτιρίων). Ισχύουν, ωστόσο, ειδικοί περιορισμοί σε κάποιες περιοχές που περιορίζουν το μέγεθος της ομβροδεξαμενής στα 30 ή 45 m<sup>3</sup>.
- Επίσης, στην περίπτωση της κατασκευής κολυμβητικών δεξαμενών (πισίνες) επιβάλλεται η κατασκευή ομβροδεξαμενής διπλάσιου όγκου από αυτόν της πισίνας.
- Όσον αφορά στην τοποθέτηση και το είδος των δεξαμενών επιτρέπονται κατά περίπτωση τόσο οι υπόγειες όσο και οι υπέργειες δεξαμενές, ενώ προβλέπεται γενικά ότι οι υπόγειες υδατοδεξαμενές δεν μπορούν να βρίσκονται κάτω από τα ισόγεια των κτισμάτων (κύριας ή βοηθητικής χρήσης) ή κάτω από τις βεράντες. Η οροφή τους μπορεί να εξέχει του φυσικού εδάφους το πολύ 50 cm και σε περίπτωση αυτόνομης υδατοδεξαμενής εντός του γηπέδου η απόστασή της από κάθε κτίσμα θα είναι κατ' ελάχιστον 5 m.

ii. Με το ΠΔ της 10-05-2002 (ΦΕΚ 402/Δ/17-05-2002) «Χαρακτηρισμός των νησιών Κίμωλος, Δονούσα, (Άνω) Κουφονήσι, Ηρακλειά, Σχοινούσα, Αμοργός, Ανάφη, Σίκινος, Φολέγανδρος, Τήλος, Νίσυρος, Χάλκη, Μεγίστη, Κάσος, Τέλενδος, Ψέριμος, Αστυπάλαια, Λειψοί, Αγαθονήσι, Αρκοί, Αγ. Ευστράτιος, Οινούσες, Ψαρά, Φούρνοι, Θύμαινα, ως περιοχών που έχουν ανάγκη από ιδιαίτερη προστασία και καθορισμός περιορισμών και ειδικών όρων δόμησης στις εκτός σχεδίου και εκτός οικισμών περιοχές αυτών», επιβάλλεται (αρθ. 2β παρ. 11) η κατασκευή ομβροδεξαμενών σε εκτός σχεδίου και οικισμού κατοικίες σε αυτά τα 25 νησιά του Αιγαίου.

iii. Η ΚΥΑ αριθ. οικ. 146896 (ΦΕΚ Β' 2878/27-10-2014) «Κατηγορίες αδειών χρήσης και εκτέλεσης έργων αξιοποίησης των υδάτων. Διαδικασία και όροι έκδοσης των αδειών, περιεχόμενο και διάρκεια ισχύος τους και άλλες συναφείς διατάξεις» απλοποιεί και προτυποποιεί την αδειοδότηση για τη χρήση και τα έργα αξιοποίησης υδάτων. Στην νέα αυτή ΚΥΑ ορίζονται εξαιρέσεις από την αδειοδότηση, μία από τις οποίες είναι οι ομβροδεξαμενές, η πλήρωση των οποίων γίνεται με νερό βροχής από κτιριακές εγκαταστάσεις ή/και θερμοκήπια.

iv. Το ΥΠΕΚΑ μέσω της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων ξεκίνησε τον Απρίλιο του 2011 να εξετάζει την κατάρτιση Θεσμικού Πλαισίου και Προγράμματος Μέτρων για την κατ' Οίκον Εξοικονόμηση Νερού. Η σχετική μελέτη, που έχει ήδη ολοκληρωθεί, έδειξε ότι απλές

παρεμβάσεις στον εξοπλισμό ενός νοικοκυριού μπορούν να επιτύχουν σημαντική εξοικονόμηση νερού. Τα μέτρα που υποδεικνύονται από τη μελέτη και που βρίσκονται υπό διερεύνηση περιλαμβάνουν εκτός των άλλων και χρήση των όμβριων υδάτων για πότισμα ή άλλες δευτερεύουσες οικιακές χρήσεις, όπως π.χ. χρήση στην τουαλέτα. Επιπλέον, προτείνεται η επέκταση της υποχρεωτικής κατασκευής και χρήσης στερνών και σε άλλες περιοχές προτεραιότητας που ανήκουν σε ελλειμματικά ή οριακά Υδατικά Διαμερίσματα όπως τα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (ΥΔ 7), Θεσσαλίας (ΥΔ 8), Αν. Πελοποννήσου (ΥΔ 3), Κρήτης (ΥΔ 13) και Νήσων Αιγαίου (ΥΔ 14). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση έως 20% σε κάθε νοικοκυριό και συνολικά 3300000 m<sup>3</sup>/έτος (Κυριαζοπούλου, 2012).

### 3.6 Διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών

Για να γίνει σωστά ο σχεδιασμός ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων πρέπει να προσδιοριστούν οι κατάλληλες διαστάσεις της ομβροδεξαμενής. Για να επιτευχθεί ο στόχος, πρέπει να οριστούν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν το σύστημα, όπως το υλικό της επιφάνειας (καθώς επηρεάζει τον συντελεστή απορροής), τα βροχομετρικά δεδομένα για την περιοχή ενδιαφέροντος (που αποτελούν την εισροή), ο αριθμός των κατοίκων που θα εξυπηρετεί (διαμορφώνει την τελική ζήτηση που καλείται να καλύψει το σύστημα), κ.λπ.

Η χρήση τέτοιων συστημάτων για την συλλογή και αποθήκευση ομβρίων, μπορεί να είναι (Λόντρα, 2014):

1. Περιστασιακή, όταν η διαδικασία πραγματοποιείται για μικρό χρονικό διάστημα και χρησιμοποιούνται μικρές δεξαμενές.
2. Περιοδική, όταν η διαδικασία πραγματοποιείται κατά την περίοδο βροχοπτώσεων, με στόχο την κάλυψη όλων των αναγκών οικιακής χρήσης την συγκεκριμένη στιγμή.
3. Μερική, όταν η διαδικασία πραγματοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αλλά η ποσότητα του νερού δεν ανταποκρίνεται στην κάλυψη όλων των αναγκών.
4. Πλήρης, όταν η διαδικασία πραγματοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και καλύπτει όλες τις ανάγκες.

Ένα από τα βασικότερα στοιχεία του σχεδιασμού είναι ο υπολογισμός του βέλτιστου όγκου της δεξαμενής για ένα συνδυασμό τιμών παραμέτρων. Προκύπτει με γνώμονα το υψηλό κόστος κατασκευής, σε συνδυασμό με την κάλυψη των απαραίτητων αναγκών. Με τον τρόπο αυτό αποτρέπεται η εγκατάσταση πολύ μεγαλύτερων δεξαμενών από το αναγκαίο, ενώ η

αποτυχία στην κάλυψη των αναγκών καθορίζει την ελάχιστη χωρητικότητα (Χαρδαλιά, 2018).

Οι μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την διαδικασία της διαστασιολόγησης ποικίλουν και βασίζονται στην ανάπτυξη μοντέλων ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (Fewkes, 2000, Villarreal and Dixon, 2005, Ghisi and Ferreira, 2007, Mitchell, 2007, Zhou et al., 2010, Imteaz et al., 2011, Palla et al., 2011, Ward et al., 2010, Campisano and Modica, 2012, Tsihrintzis and Baltas, 2013, Londra et al., 2015a), ή σε πιθανοτικά μοντέλα (Lee et al., 2000, Tsubo et al., 2005, Guo and Baetz, 2007, Cowden et al., 2008, Su et al., 2009, Basinger et al., 2010, Chang et al., 2011). Τα αποτελέσματα των μοντέλων φανερώνουν ότι η χωρητικότητα της ομβροδεξαμενής δεν μπορεί να τυποποιηθεί, αφού επηρεάζεται από τις εκάστοτε τοπικές μεταβλητές κι έτσι κάθε χώρα λειτουργεί ανάλογα με τα πρότυπά της. Για τον καθορισμό των σχετικών μεγεθών του συστήματος με βάση το μοντέλο προσομοίωσης που αναπτύσσεται, σε ερευνητικό επίπεδο προτείνεται η εφαρμογή ανάλυσης αβεβαιότητας με στοχαστικές προσεγγίσεις, ώστε οι εκτιμήσεις να προκύπτουν λαμβάνοντας υπόψη ένα ευρύτερο φάσμα αναφορικά με τη βροχομετρική συμπεριφορά της εκάστοτε περιοχής και ο όγκος της δεξαμενής να διαστασιολογείται με υψηλή αξιοπιστία για δεδομένη διακινδύνευση συστήματος.

### **3.7 Μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας οικιακού συστήματος RWH**

#### *3.7.1 Μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου*

Η μέθοδος που επιλέχθηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας είναι το μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, το οποίο προσομοιώνει τη λειτουργία της δεξαμενής όμβριων υδάτων ενός συστήματος συλλογής και αποθήκευσης ομβρίων σε ημερήσια βάση. Το σύστημα συλλογής που εξετάζεται αφορά την συλλογή του νερού της βροχής, το οποίο συλλέγεται και αποθηκεύεται από τη στέγη οικίας δεδομένου εμβαδού στην κλειστή δεξαμενή δεδομένου όγκου.

Για να είναι επιτυχής η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος, απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η εύρεση των κατάλληλων διαστάσεων για την ομβροδεξαμενή. Στόχος είναι να συλλεχθεί ο αναγκαίος όγκος νερού, ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες της οικίας και των μελών της, εκτός από την πόση (π.χ., σε ένα ποσοστό 30% με υψηλή αξιοπιστία). Για την επίτευξη του σκοπού, λοιπόν, βασικό εργαλείο θεωρείται η ημερήσια καταγραφή της

αποθηκευμένης ποσότητας νερού στη δεξαμενή. Ταυτόχρονα, μέσω της προσομοίωσης, εξετάζεται και η αποδοτικότητα του συστήματος.

Η ημερήσια αποθηκευμένη ποσότητα βρόχινου νερού στη δεξαμενή δίνεται από την εξίσωση του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου:

$$S_t = S_{t-1} + R_t - D_t, \quad 0 \leq S_{t-1} \leq V_{tank}$$

όπου:

$S_t$ , ο όγκος του νερού που θα αποθηκευτεί στη δεξαμενή την  $t$  ημέρα ( $m^3$ )

$S_{t-1}$ , ο όγκος του αποθηκευμένου νερού στη δεξαμενή την προηγούμενη ημέρα ( $m^3$ )

$R_t$ , ο όγκος του νερού της βροχής που θα απορρεύσει από την επιφάνεια συλλογής και θα εισέλθει στη δεξαμενή την  $t$  ημέρα ( $m^3$ )

$D_t$ , η ζήτηση νερού από τη δεξαμενή την  $t$  ημέρα ( $m^3$ ) και

$V_{tank}$ , η χωρητικότητα της δεξαμενής ( $m^3$ ).

### 3.7.2 Προσδιορισμός όγκου συλλογής ομβρίων ( $R_t$ )

Ο όγκος του νερού που απορρέει από μια επιφάνεια, σε καθημερινή βάση, υπολογίζεται ως εξής:

$$R_t = C \times A \times P_{eff,t} \quad (m^3)$$

όπου:

$C$ , ο συντελεστής απορροής της επιφάνειας συλλογής

$A$ , το εμβαδό της επιφάνειας συλλογής ομβρίων που είναι συνδεδεμένη με τη δεξαμενή ( $m^2$ )

$P_{eff,t}$ , η ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση της  $t$  ημέρας ( $m$ ).

Ο συντελεστής απορροής μπορεί να λάβει διάφορες τιμές, ανάλογα με το υλικό της επιφάνειας συλλογής. Στην παρούσα εφαρμογή, ο συντελεστής απορροής είναι 0.90, συνήθης για σκυρόδεμα. Στον Πίνακα 3.1 γίνεται μια εκτενέστερη αναφορά στις τιμές του συντελεστή απορροής.

**Πίνακας 3.1 Τιμές του συντελεστή απορροής (C) για διαφορετικές επιφάνειες συλλογής  
(Πηγή: Kinkade - Levario, 2007 και UNEP, 2009)**

Υλικό Επιφάνειας	Συντελεστής Απορροής (C)	Υλικό Επιφάνειας	Συντελεστής Απορροής (C)
Λείες, στεγανές στέγες από μέταλλο, κεραμίδι, τσιμέντο	0.90	Με πλακάκια	0.80-0.90
Χαλικόστρωτες στέγες και λιθόστρωτες	0.80	Με μεταλλικά φύλλα	0.70-0.90
Επεξεργασμένο Έδαφος	0.60	Έδαφος από σκυρόδεμα	0.60-0.80
Φυσικό Έδαφος	0.30	Φυσικό	0.10-0.50

Στον υπολογισμό του όγκου πρέπει να σημειωθεί ότι ένα μέρος του νερού που συλλέγεται δεν είναι καθαρό, λόγω του ρυπαντικού φορτίου που εντοπίζεται στις επιφάνειες συλλογής. Ο συγκεκριμένος όγκος δεν είναι καλός ποιοτικά, με αποτέλεσμα να μην πρέπει να γίνεται η συλλογή και η αποθήκευσή του. Η διαδικασία της αφαίρεσης αυτού του όγκου ονομάζεται πρώτη έκπλυση του νερού της βροχής (first flush) και αφαιρείται από την ημερήσια βροχόπτωση, έτσι ώστε να προκύψει η ωφέλιμη ( $P_{eff,t}$ ) (Tsihrintzis and Baltas, 2013).

Τελικά, η ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{eff,t} = P_t - 0.33$$

όπου:

$P_t$ , η ημερήσια βροχόπτωση

0.33 η τιμή για την πρώτη έκπλυση του βρόχινου νερού.

### 3.7.3 Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης ( $D_t$ )

Ο υπολογισμός της ημερήσιας ζήτησης σε νερό σε μια κατοικία γίνεται ως εξής:

$$D_t = N_{cap} \times q \times \left(\frac{p}{100}\right)$$

όπου:

$N_{cap}$ , ο αριθμός των ατόμων που διαμένουν στην κατοικία (cap)

$q$ , η κατανάλωση νερού ανά άτομο ( $m^3/cap/day$ )

$p$ , το ποσοστό της συνολικής χρήσης νερού που ορίζεται ότι θα ικανοποιείται από το αποθηκευμένο νερό της ομβροδεξαμενής.

Στην ανάλυση που πραγματοποιείται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας ορίστηκε ότι σε μια κατοικία μπορούν και διαμένουν από ένα (1) έως και τέσσερα (4) άτομα. Επιπλέον, η τιμή της ημερήσιας κατανάλωσης νερού ορίστηκε σε 180 L/κάτοικο/ημέρα, με κατώτερο όριο τα 100 L/κάτοικο/ημέρα και ανώτερο τα 200 L/κάτοικο/ημέρα, σύμφωνα με την ΚΥΑ, αριθ. Δ11/Φ.16/8500 (ΦΕΚ 174/Β/1991).

### 3.7.4 Διαστασιολόγηση δεξαμενής συλλογής

Σύμφωνα με την γενική εξίσωση του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, ο όγκος του νερού που θα μπορούσε να αποθηκευτεί στη ομβροδεξαμενή οποιαδήποτε ημέρα, λαμβάνοντας τον όγκο που απορρέει από τη δεξαμενή και τη συνολική ζήτηση της οικίας, υπολογίζεται ως εξής (Λόντρα, 2014):

$$S_t = S_{t-1} + C \times A \times P_{eff,t} - N_{cap} \times q \times \left(\frac{p}{100}\right), \text{ με } 0 \leq S_{t-1} \leq V_{tank}$$

Η ημερήσια διαφορά  $\Delta S_t$ , μεταξύ απορροής και ζήτησης ισούται με:

$$\Delta S_t = C \times A \times P_{eff,t} - N_{cap} \times q \times \left(\frac{p}{100}\right)$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι:

$$S_t = S_{t-1} + \Delta S_t$$

Ο υπολογισμός του ημερήσιου αποθηκευτικού όγκου είναι επαναληπτικός και ξεκινάει από μία αρχική τιμή  $S_{t-1}=S_0$  για  $t=0$  και αφορά τον αρχικό αποθηκευμένο όγκο νερού στη δεξαμενή.

Ως κατώτερο άκρο για την τιμή του όγκου λαμβάνεται το μηδέν, αναφερόμενο σε αρχικά άδεια δεξαμενή, (δηλαδή  $S_0=0$ ). Όταν είναι μερικώς γεμάτη, ο όγκος μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή, ενώ η μέγιστη τιμή του όγκου είναι ίση με τον όγκο της ίδιας της δεξαμενής, δηλαδή  $S_0=V_{tank}$ .

Η διαδικασία που επαναλαμβάνεται για τον υπολογισμό της χωρητικότητας της δεξαμενής, παράλληλα με τον υπολογισμό της ποσότητας νερού που συλλέγεται σε καθημερινή βάση, παρουσιάζεται παρακάτω:

$$\text{if } (S_{t-1} + \Delta S_t) > V_{tank} \text{ then } S_{t,tank} = V_{tank},$$



$$\text{if } (S_{t-1} + \Delta S_t) < V_{\text{tank}} \text{ then } 0,$$

$$\text{else } S_t = S_{t,\text{tank}} = S_{t-1} + \Delta S_t$$

όπου:

$S_{t,\text{tank}}$ , ο πραγματικά διαθέσιμος αποθηκευμένος όγκος νερού της δεξαμενής.

Όταν η δεξαμενή συλλογής γεμίσει, είναι λογικό μια ποσότητα του αποθηκευμένου νερού να υπερχειλίσει από αυτή. Ο όγκος αυτός του νερού ( $O_t$ ), υπολογίζεται ως εξής (συνθήκη υπερχειλίσης):

$$\text{if } S_t \geq V_{\text{tank}} \text{ then } O_t = S_t - V_{\text{tank}},$$

$$\text{else } O_t = 0$$

Υπάρχει περίπτωση ο όγκος του βρόχινου νερού που συλλέγεται και αποθηκεύεται στη δεξαμενή ( $S_{t,\text{tank}}$ ) να μην επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών, στην ζήτηση που έχει καθοριστεί. Έτσι, θα πρέπει να υπάρξει συμπληρωματική ποσότητα νερού για την κάλυψη της εν λόγω ζήτησης (εν μέρει ή εξολοκλήρου) από την δημόσια τοπική υπηρεσία παροχής νερού ( $T_t$ ). Ο αλγόριθμος που υπολογίζει την ποσότητα που λαμβάνεται από το δίκτυο είναι:

$$\text{if } (S_t < D_t) \text{ then } T_t = D_t - S_{t,\text{tank}},$$

$$\text{else } T_t = 0$$

Έχοντας διαθέσιμες τις ημερήσιες καταγραφές βροχόπτωσης, η παραπάνω διαδικασία προσδιορισμού του όγκου της ομβροδεξαμενής μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε ένα πρόγραμμα λογιστικών φύλλων. Ενδεικτικά παρουσιάζεται η μορφή του, όπως αυτό διαμορφώθηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.

Family size														S=S <sub>0</sub> +ΔS, m <sup>3</sup>		C Days with no rain			
4		Date, d	Rainfall, mm	Net rainfall R, mm	ER, mm	Σ(VR), m <sup>3</sup>	Daily draft, m <sup>3</sup>	ΣDraft, m <sup>3</sup>	Σ(In-Out), m <sup>3</sup>	ΔS=I-O, m <sup>3</sup>	1.000	Storage, m <sup>3</sup>	Overflow, m <sup>3</sup>	C Tap, m <sup>3</sup>	Days with no rain	0	FLAG (0-1)	Re	
Roof Area (m <sup>2</sup> )	140	01/10/1980	0	0	0	0.000	0.216	0.216	-0.216	-0.216	0.784	0.784	0.000	0.000	0.000	1	1	1	99.99%
Runoff Coefficient C=	0.9	02/10/1980	0	0	0.000	0.000	0.216	0.432	-0.432	-0.216	0.568	0.568	0.000	0.000	0.000	1	2	1	
Tank size (L)	1000.000	03/10/1980	0	0	0.000	0.000	0.216	0.648	-0.648	-0.216	0.352	0.352	0.000	0.000	0.000	1	3	1	
Initial volume in tank (L)	30000.000	04/10/1980	0	0	0.000	0.000	0.216	0.864	-0.864	-0.216	0.136	0.136	0.000	0.080	0.080	1	4	0	
		05/10/1980	0	0	0.000	0.000	0.216	1.08	-1.080	-0.216	0.000	0.000	0.000	0.216	0.296	1	5	0	
		06/10/1980	7.3	6.57	6.570	0.920	0.216	1.296	-0.376	0.704	0.704	0.704	0.000	0.000	0.296	0	0	1	
		07/10/1980	23.6	21.24	27.810	3.893	0.216	1.512	2.381	2.758	3.461	1.000	2.461	0.000	0.296	0	0	1	
		08/10/1980	2.5	2.25	30.060	4.208	0.216	1.728	2.480	0.099	3.560	1.000	2.560	0.000	0.296	0	0	1	
		09/10/1980	0.4	0.36	30.420	4.259	0.216	1.944	2.315	-0.166	3.395	1.000	2.395	0.000	0.296	0	0	1	
		10/10/1980	51.7	46.53	76.950	10.773	0.216	2.16	8.613	6.298	9.693	1.000	8.693	0.000	0.296	0	0	1	
Daily use rate (L/d)	180	11/10/1980	3.1	2.79	79.740	11.164	0.216	2.376	8.788	0.175	9.868	1.000	8.868	0.000	0.296	0	0	1	
Toilet flush %	30%	12/10/1980	12.8	11.52	91.260	12.776	0.216	2.592	10.184	1.397	11.264	1.000	10.264	0.000	0.296	0	0	1	
		13/10/1980	31.7	28.53	119.790	16.771	0.216	2.808	13.963	3.778	15.043	1.000	14.043	0.000	0.296	0	0	1	
		14/10/1980	-1.4	1.26	121.050	16.947	0.216	3.024	13.923	-0.040	15.003	1.000	14.003	0.000	0.296	0	0	1	
Daily draft (m <sup>3</sup> /d)	0.216	15/10/1980	0	0	121.050	16.947	0.216	3.24	13.707	-0.216	14.787	1.000	13.787	0.000	0.296	1	1	1	
		16/10/1980	0	0	121.050	16.947	0.216	3.456	13.491	-0.216	14.571	1.000	13.571	0.000	0.296	1	2	1	
		17/10/1980	0.9	0.81	121.860	17.060	0.216	3.672	13.388	-0.103	14.468	1.000	13.468	0.000	0.296	0	0	1	
		18/10/1980	0.6	0.54	122.400	17.136	0.216	3.888	13.248	-0.140	14.328	1.000	13.328	0.000	0.296	0	0	1	
		19/10/1980	1.3	1.17	123.570	17.300	0.216	4.104	13.196	-0.052	14.276	1.000	13.276	0.000	0.296	0	0	1	

Σχήμα 3.3 Παράδειγμα ανάπτυξης ημερήσιου μοντέλου υδατικού ισοζυγίου στο MS Excel

### 3.7.5 Συντελεστής αποδοτικότητας ( $Re$ )

Ο συντελεστής αποδοτικότητας ορίζεται ως το ποσοστό του συνολικού αριθμού των ημερών που το αποθηκευμένο νερό στην δεξαμενή εξυπηρετεί εξ' ολοκλήρου τις ανάγκες των ατόμων, προς τον συνολικό αριθμό των ημερών που έχουν καταγραφεί τα δεδομένα βροχής και χρησιμοποιούνται στο μοντέλο για την διαστασιολόγηση του συστήματος. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο συντελεστής αναδεικνύει την αποδοτικότητα του συστήματος για την καθορισμένη ζήτηση (π.χ., για ένα ποσοστό ίσο με 30% επί της συνολικής ζήτησης φρέσκου νερού σε επίπεδο οικίας).

$$Re (\%) = \frac{\sum \text{ημερών που δεν χρησιμοποιείται νερό από το δίκτυο}}{\sum \text{ημερών προσομοίωσης}}$$

### 3.7.6 Σενάρια προσομοίωσης

Για να εξετασθεί η προσομοίωση της λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων, δημιουργήθηκαν ρεαλιστικά σενάρια, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των δύο περιοχών με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ).

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν και παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2 (βλ. Πίνακες 2.2 και 2.4) παρατηρείται ότι η πλειοψηφία των νοικοκυριών στις περιοχές μελέτης αποτελούνται από δύο μέλη. Σε αμέσως επόμενο μεγαλύτερο ποσοστό βρίσκονται οι μονομελείς οικογένειες, ενώ ακολουθούν οι τριμελείς. Τέλος, ένα σημαντικό ποσοστό κατέχουν και τα νοικοκυριά με τέσσερα άτομα.

Τα μεγέθη της επιφάνειας μιας κατοικίας ποικίλουν στα νησιά μελέτης. Συγκεκριμένα, στην Κέρκυρα, σύμφωνα με το Σχήμα 2.5, παρατηρείται ότι οι συνήθεις κατοικίες είναι έως 140 m<sup>2</sup>. Αντίστοιχα, στη Νάξο, σύμφωνα με το Σχήμα 2.7, συνηθέστερες είναι οι κατοικίες από 40 m<sup>2</sup> έως και 69 m<sup>2</sup>, ενώ πολλά είναι και τα κτήρια που κυμαίνονται από 80-89 m<sup>2</sup>.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, δημιουργήθηκαν σενάρια με:

- i. Δύο, τρία και τέσσερα μέλη ανά οικία (σημειώνεται ότι δε διερευνήθηκαν νοικοκυριά ενός ατόμου, γιατί ενώ είναι συνήθη στις περιοχές μελέτης, η κάλυψη της ζήτησης ενός ατόμου επιτυγχάνεται με τη μικρότερη δεξαμενή),
- ii. Διερευνήθηκε η συμπεριφορά του συστήματος για επιφάνεια συλλογής ανάμεσα σε 40 και 140 m<sup>2</sup>,

iii. Με δεδομένο όγκο δεξαμενής από 5 έως 30 m<sup>3</sup>, σύμφωνα με τις διαθέσιμες διαστάσεις της αγοράς.

Τα επιμέρους σενάρια που διαμορφώνονται, παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

#### *Σενάριο 1*

Ποσοστό κάλυψης των αναγκών από το σύστημα 30% επί του συνόλου της ζήτησης, μέση ημερήσια κατανάλωση 180 L/κάτοικο/ημέρα, σταθερός αριθμός μελών κατοικίας  $N_{cap}= 2$ , αλλά μεταβαλλόμενος όγκος ομβροδεξαμενής ( $V_{tank}$ ) από 5 έως 30 m<sup>3</sup> και μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) από 40 έως 140 m<sup>2</sup>.

#### *Σενάριο 2*

Ποσοστό κάλυψης των αναγκών από το σύστημα 30% επί του συνόλου, μέση ημερήσια κατανάλωση 180 L/κάτοικο/ημέρα, σταθερός αριθμός μελών κατοικίας  $N_{cap}= 3$ , αλλά μεταβαλλόμενος όγκος ομβροδεξαμενής ( $V_{tank}$ ) από 5 έως 30 m<sup>3</sup> και μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) από 40 έως 140 m<sup>2</sup>.

#### *Σενάριο 3*

Ποσοστό κάλυψης των αναγκών από το σύστημα 30% επί του συνόλου, μέση ημερήσια κατανάλωση 180 L/κάτοικο/ημέρα, σταθερός αριθμός μελών κατοικίας  $N_{cap}= 4$ , αλλά μεταβαλλόμενος όγκος ομβροδεξαμενής ( $V_{tank}$ ) από 5 έως 30 m<sup>3</sup> και μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) από 40 έως 140 m<sup>2</sup>.

## 4 Εφαρμογή μοντέλου & Αποτελέσματα σεναρίων

### 4.1 Εφαρμογή του μοντέλου

Το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου εφαρμόστηκε στα νησιά της Κέρκυρας και της Νάξου για τα σεναρία που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και τα αποτελέσματα των οποίων αναλύονται στην επόμενη παράγραφο, ωστόσο αρχικά παρουσιάζεται μια ενδεικτική προσομοίωση, εξετάζοντας μια κατοικία που αποτελείται από τρία άτομα ( $N_{cap}=3$ ), με επιφάνεια συλλογής ( $A$ ) ίση με  $60 \text{ m}^2$  και χωρητικότητα δεξαμενής ( $V_{tank}$ ) ίση με  $5 \text{ m}^3$ . Επίσης, το ποσοστό επί της ζήτησης ( $p$ ) που τίθεται ως στόχος κάλυψης από το σύστημα ορίστηκε στο 30% της συνολικής ημερήσιας κατανάλωσης ( $q$ ) ανά οικία, η οποία θεωρήθηκε ίση με  $180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$ .

Οι παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν στην εφαρμογή του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου που παρουσιάζεται στην συγκεκριμένη παράγραφο συνοψίζονται στον Πίνακα 4.1.

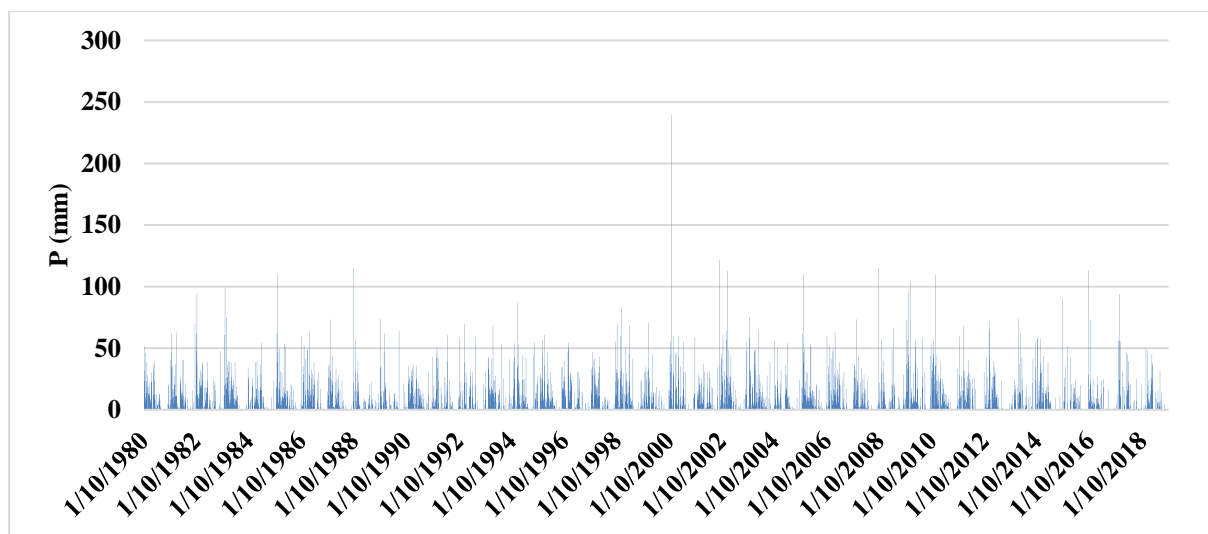
**Πίνακας 4.1** Παράμετροι για την εφαρμογή ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΝΑΞΟΣ
Βροχομετρικά Δεδομένα	από 01/10/1980 έως 30/09/2019 (39 υδρολογικά έτη)	
Μέση κατανάλωση ( $q$ )	180 L/κάτοικο/ημέρα	
Αριθμός μελών ( $N_{cap}$ )	3	
Ποσοστό ζήτησης ( $p$ )	30 %	
Επιφάνεια συλλογής ( $A$ )	$60 \text{ m}^2$	
Χωρητικότητα δεξαμενής ( $V_{tank}$ )	$5 \text{ m}^3$	

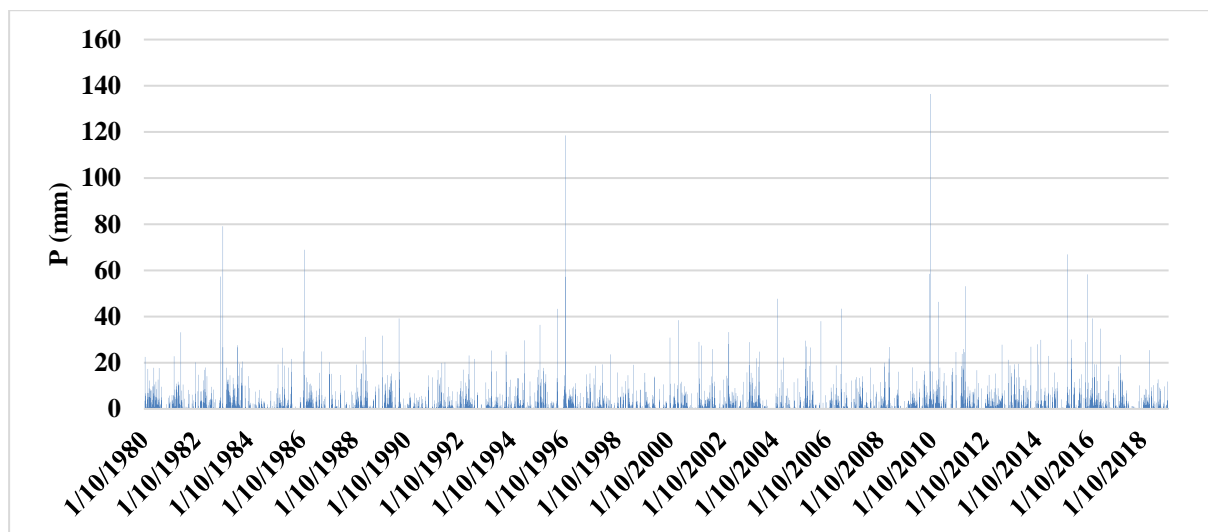
Για το πρώτο βήμα της προσομοίωσης του συστήματος, θεωρείται ότι η δεξαμενή είναι γεμάτη, δηλαδή το απόθεμα θεωρήθηκε ίσο με τον όγκο της δεξαμενής ( $S_0=5 \text{ m}^3$ ). Όπως διερευνήθηκε, η εν λόγω παραδοχή έχει αμελητέα επίδραση στα αποτελέσματα. Εν συνεχεία, έγινε η εφαρμογή του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου, έτσι ώστε να βρεθεί ο συντελεστής αποδοτικότητας ( $Re$ ) του συστήματος. Το ποσοστό αποδοτικότητας στην Κέρκυρα προέκυψε ίσο με 84.92% και στη Νάξο 19.45%.

Οι συνθήκες λειτουργίας του συστήματος εμφανίζονται στα παρακάτω γραφήματα, με τα δύο πρώτα (Σχήματα 4.1-4.2) να απεικονίζουν τις χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης για τα δύο νησιά που αποτελούν και δεδομένο εισόδου για το μοντέλο.

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται η χρονοσειρά για την ημερήσια βροχόπτωση στο νησί της Κέρκυρας, για χρονική διάρκεια 39 υδρολογικών ετών. Βάσει του γραφήματος, το ημερήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 0 έως 239.30 mm, ενώ παρατηρείται ότι υπάρχουν και μικρά χρονικά διαστήματα όπου το φαινόμενο της βροχόπτωσης δε λαμβάνει χώρα. Οι περίοδοι αυτές αναφέρονται σε θερινούς μήνες, όπου βρέχει σπανιότερα. Αντίστοιχα, στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η χρονοσειρά για την ημερήσια βροχόπτωση στη δεύτερη περιοχή μελέτης της εργασίας, τη Νάξο. Η χρονική περίοδος που καλύπτουν τα δεδομένα παραμένει η ίδια, ωστόσο το ημερήσιο ύψος βροχής στο νησί κυμαίνεται από 0 έως 136.42 mm, με ιστορικό μέγιστο μικρότερο συγκριτικά με την Κέρκυρα, κατά 100 mm περίπου. Επιπλέον, όπως και στην Κέρκυρα, παρατηρούνται πιο συχνά διαστήματα ανομβρίας.

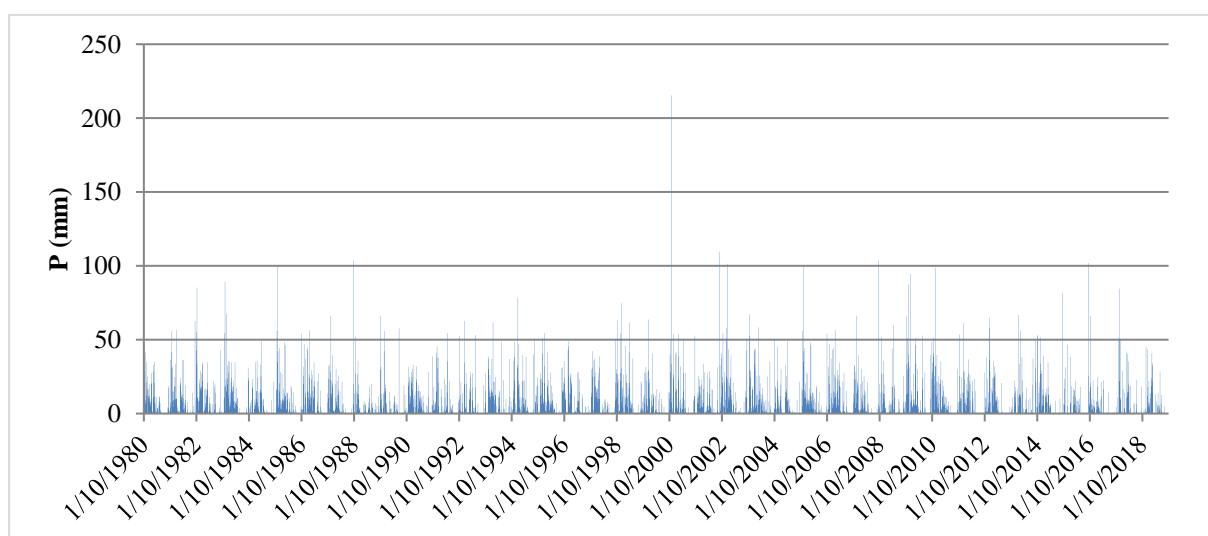


Σχήμα 4.1 Χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης (rainfall) για τον σταθμό της Κέρκυρας

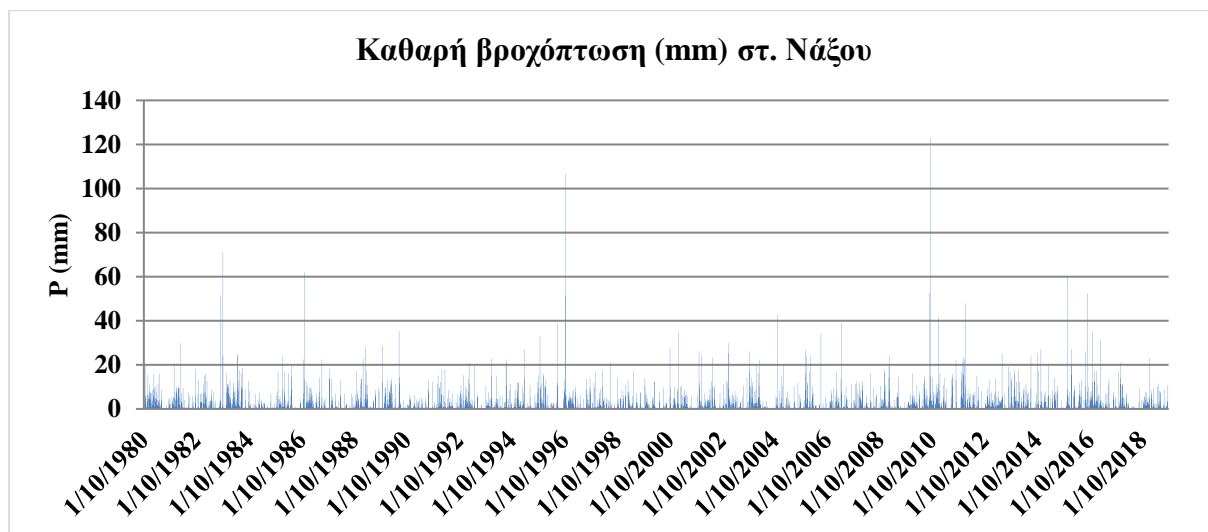


**Σχήμα 4.2 Χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης (rainfall) για τον σταθμό της Νάξου**

Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζεται η χρονοσειρά για την καθαρή ημερήσια βροχόπτωση στο νησί της Κέρκυρας, για το σύνολο της περιόδου προσομοίωσης. Βάσει του γραφήματος, το ημερήσιο ύψος καθαρής βροχής κυμαίνεται από 0 έως 215.37 mm. Ομοίως, στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η χρονοσειρά καθαρής ημερήσιας βροχόπτωσης στο νησί της Νάξου. Το ημερήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται μεταξύ 0 και 122.78 mm. Σε σχέση με την Κέρκυρα, το ύψος της βροχής είναι πολύ μικρότερο, όμως κάτι τέτοιο θεωρείται λογικό, καθώς στη Νάξο, όπου βρίσκεται στην ομβροσκιά της χώρας δε βρέχει με την ίδια ένταση και συχνότητα όπως στην Κέρκυρα, που βρίσκεται στην ομβροπλευρά.

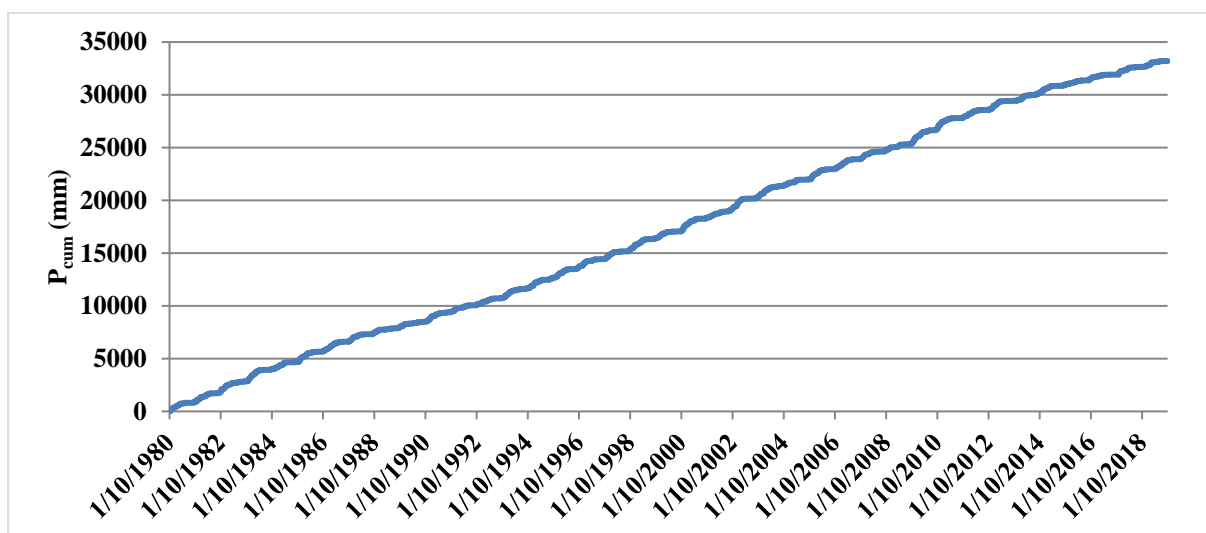


**Σχήμα 4.3 Χρονοσειρά καθαρής / ενεργού ημερήσιας βροχόπτωσης (net rainfall) στην Κέρκυρα**

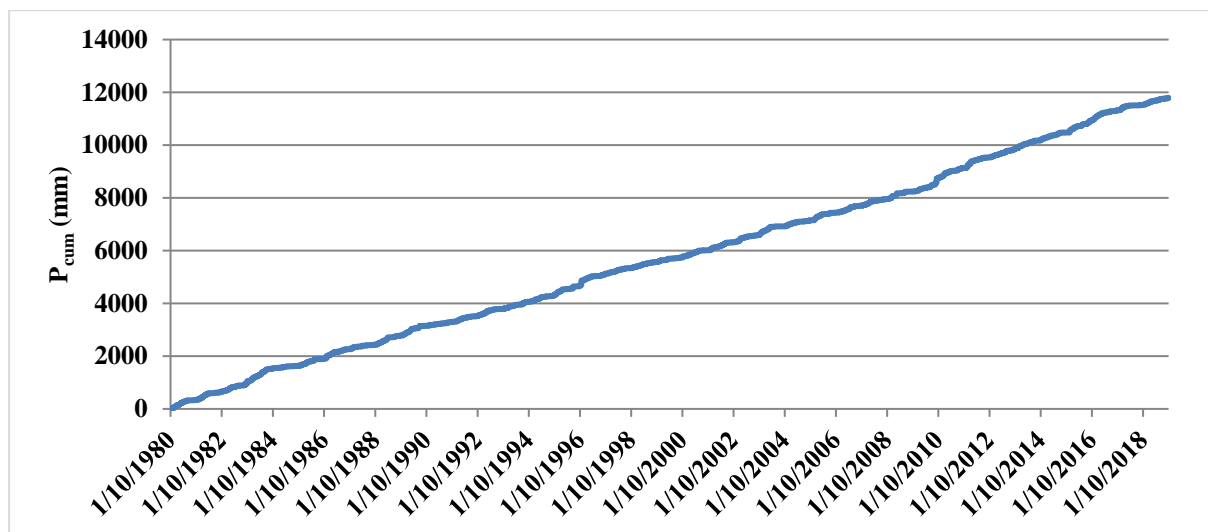


Σχήμα 4.4 Χρονοσειρά καθαρής / ενεργού ημερήσιας βροχόπτωσης (net rainfall) στη Νάξο

Το γεγονός αυτό μπορεί να αναδειχθεί καλύτερα μέσα από τα Σχήματα 4.5 και 4.6, που απεικονίζουν την αθροιστική ενεργή ημερήσια βροχόπτωση στα δύο νησιά. Πιο συγκεκριμένα, στην Κέρκυρα η τελική τιμή (αθροιστική βροχόπτωση για το σύνολο της περιόδου προσομοίωσης) είναι 33200.10 mm, με την αντίστοιχη τιμή για Νάξο να αγγίζει μόλις τα 11789.76 mm. Λογική η διαφορά αυτή, λαμβάνοντας υπόψη την καθαρή βροχόπτωση που υπάρχει στις δύο περιοχές.



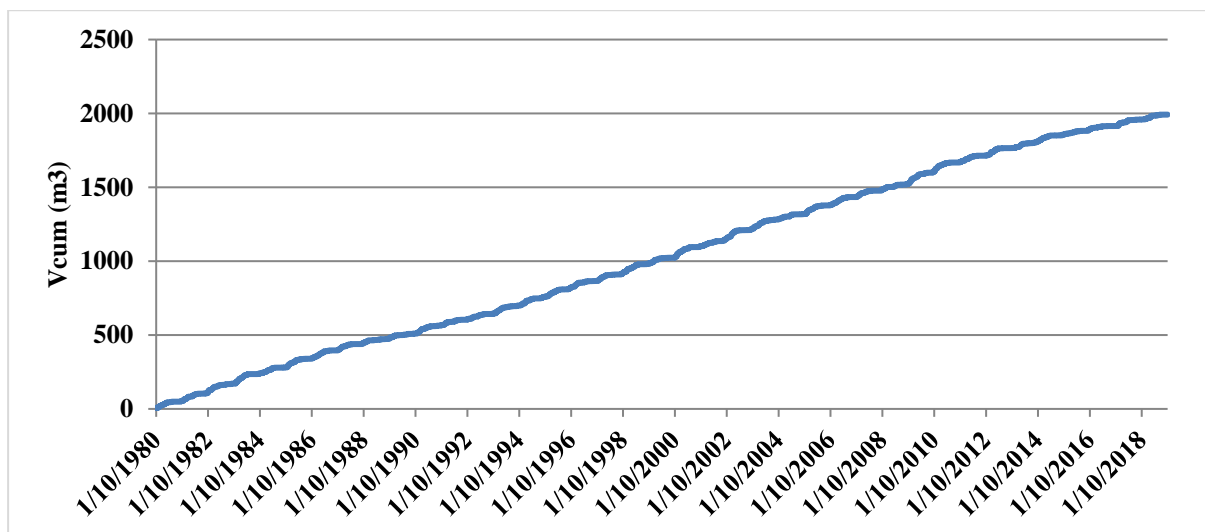
Σχήμα 4.5 Καμπύλη αθροιστικής ενεργής ημερήσιας βροχόπτωσης (ΣR) στην Κέρκυρα



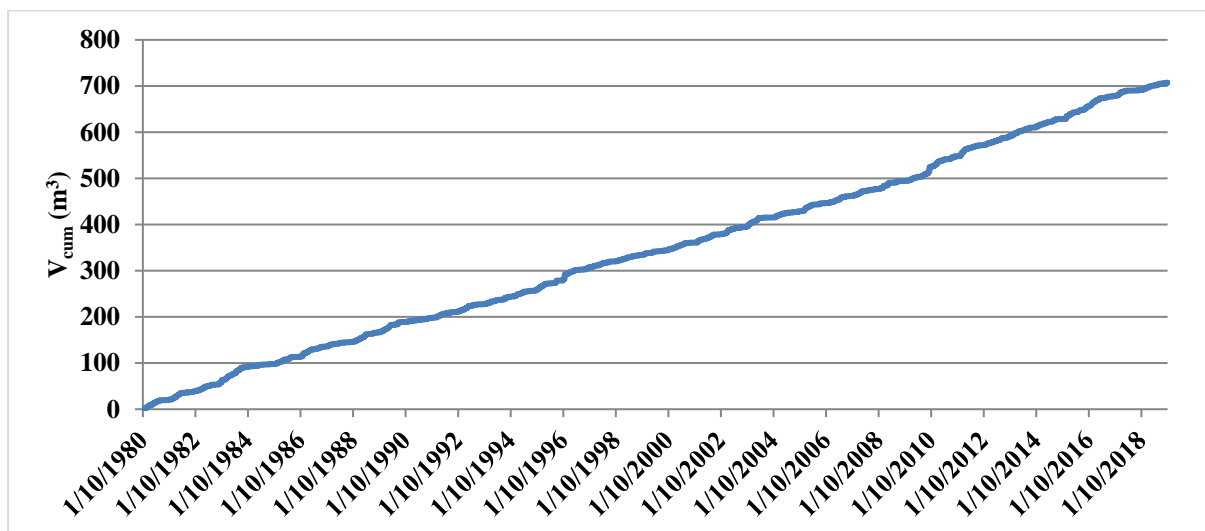
Σχήμα 4.6 Καμπύλη αθροιστικής ενεργής ημερήσιας βροχόπτωσης (ΣΡ) στη Νάξο

Τα Σχήματα 4.7 και 4.8 απεικονίζουν τις καμπύλες για τον αθροιστικό όγκο νερού βροχής που συγκεντρώνεται στην επιφάνεια συλλογής για συστήματα εντός των δύο περιοχών. Οι καμπύλες έχουν την ίδια μορφή με τις αντίστοιχες καμπύλες για την αθροιστική καθαρή βροχή, όμως δεν έχουν την ίδια σημασία. Μέσω των καμπυλών αθροιστικού όγκου παρουσιάζεται η συνολική ποσότητα νερού που δύναται να αποθηκευτεί στη δεξαμενή κατά τη διάρκεια που το σύστημα βρίσκεται σε λειτουργία και μέσω αυτού καλύπτεται το ποσοστό των αναγκών της κατοικίας, το οποίο έχει τεθεί ως στόχος. Σε περιπτώσεις που το νερό στη δεξαμενή δεν επαρκεί για την ικανοποίηση των αναγκών τους, τότε ο κανόνας λειτουργίας ορίζει την κάλυψη της εν λόγω ανάγκης από το δίκτυο. Όπως αναμενόταν, και το εν λόγω μέγεθος, άμεση συνάρτηση της βροχής, εμφανίζει σημαντική διαφορά για τα δύο νησιά.



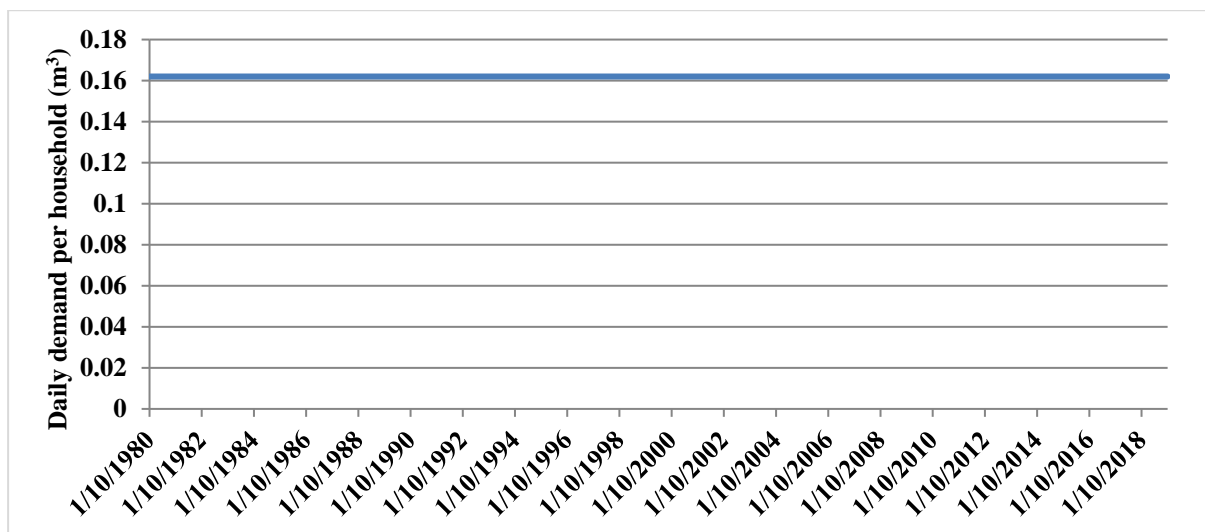


Σχήμα 4.7 Καμπύλη αθροιστικού όγκου (ΣVR) για την Κέρκυρα

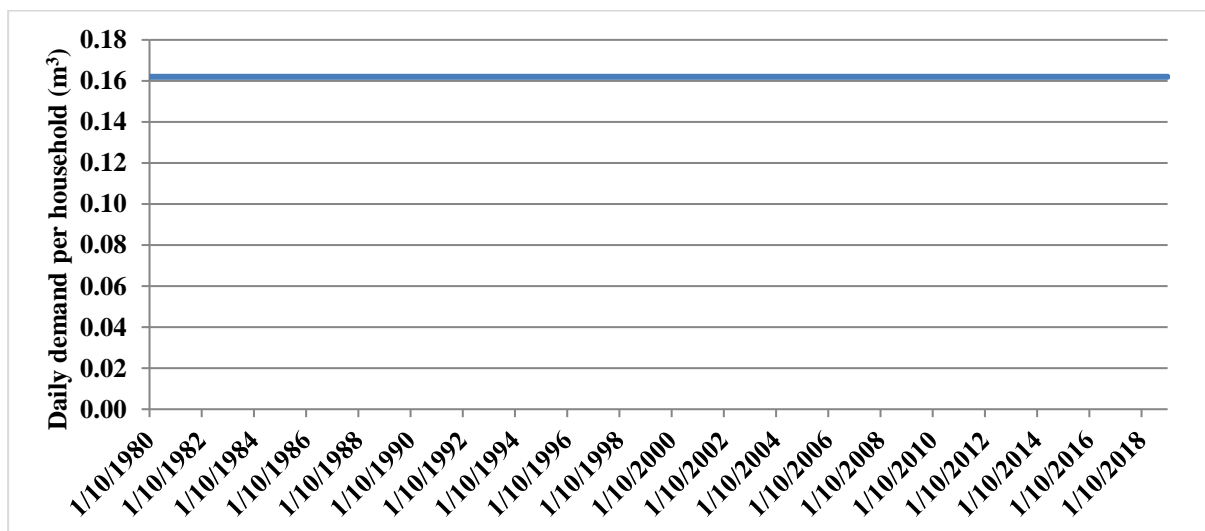


Σχήμα 4.8 Καμπύλη αθροιστικού όγκου (ΣVR) για τη Νάξο

Αναφορικά με το ποσοστό των αναγκών που τέθηκε ως στόχος προς κάλυψη, αυτή η ποσότητα λήφθηκε σταθερή στο χρόνο και στις δύο περιοχές μελέτης, όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.9 και 4.10, και η τιμή της ισούται με  $0.162 \text{ m}^3$  ανά οικία και ανά ημέρα (με συνολική ημερήσια κατανάλωση ανά κάτοικο ίση με 180 λίτρα, για οικία με τρία μέλη και για ποσοστό κάλυψης ζήτησης από το σύστημα RWH ίσο με 30%). Η συγκεκριμένη ποσότητα ωστόσο μπορεί να ληφθεί και μεταβαλλόμενη, πχ. θεωρώντας μικρότερη τη ζήτηση κατά τους χειμερινούς μήνες και αυξημένη το καλοκαίρι.

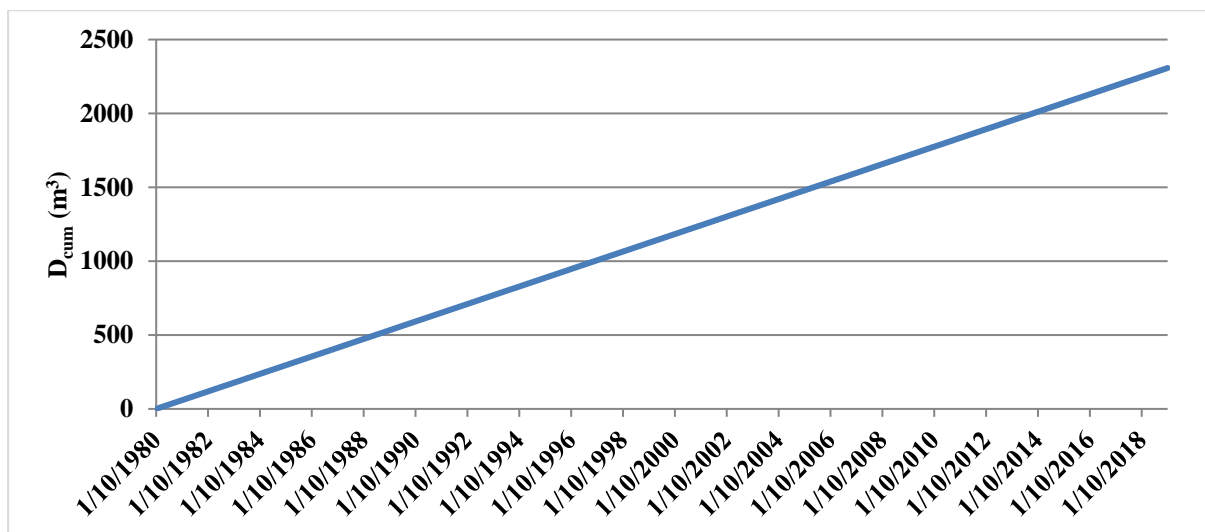


Σχήμα 4.9 Καμπύλη ζήτησης σε νερό ανά ημέρα (daily draft) στην Κέρκυρα

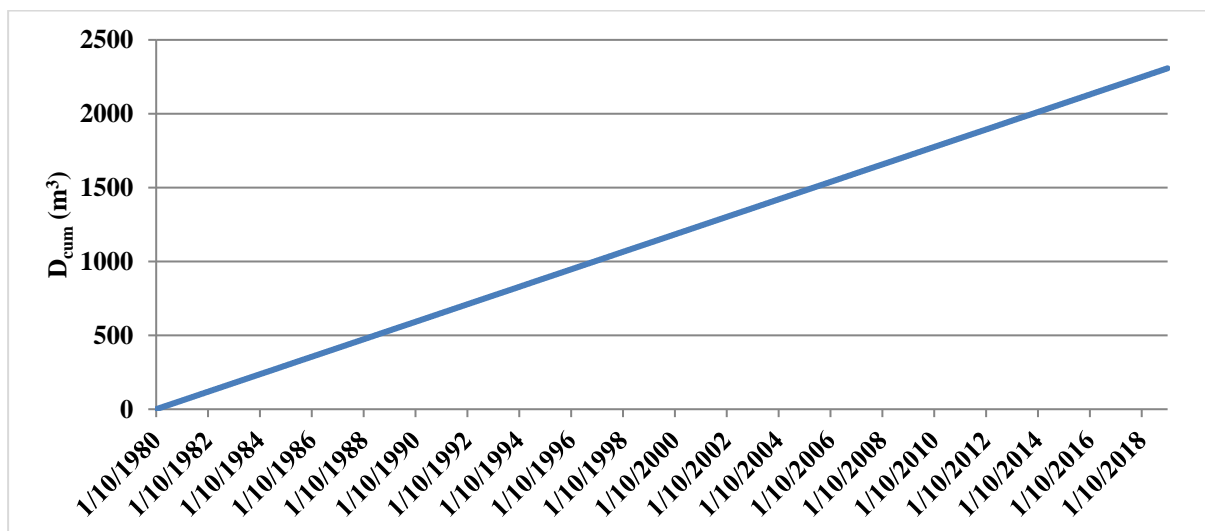


Σχήμα 4.10 Καμπύλη ζήτησης σε νερό ανά ημέρα (daily draft) στη Νάξο

Ομοίως, στα Σχήματα 4.11 και 4.12 παρουσιάζεται η αθροιστική ζήτηση, ίδια για τα δύο νησιά και με γραμμική αύξηση στο χρόνο, καθώς το μέγεθος λήφθηκε σταθερό ανά ημέρα.



Σχήμα 4.11 Καμπύλη αθροιστικής ζήτησης στην Κέρκυρα



Σχήμα 4.12 Καμπύλη αθροιστικής ζήτησης στη Νάξο

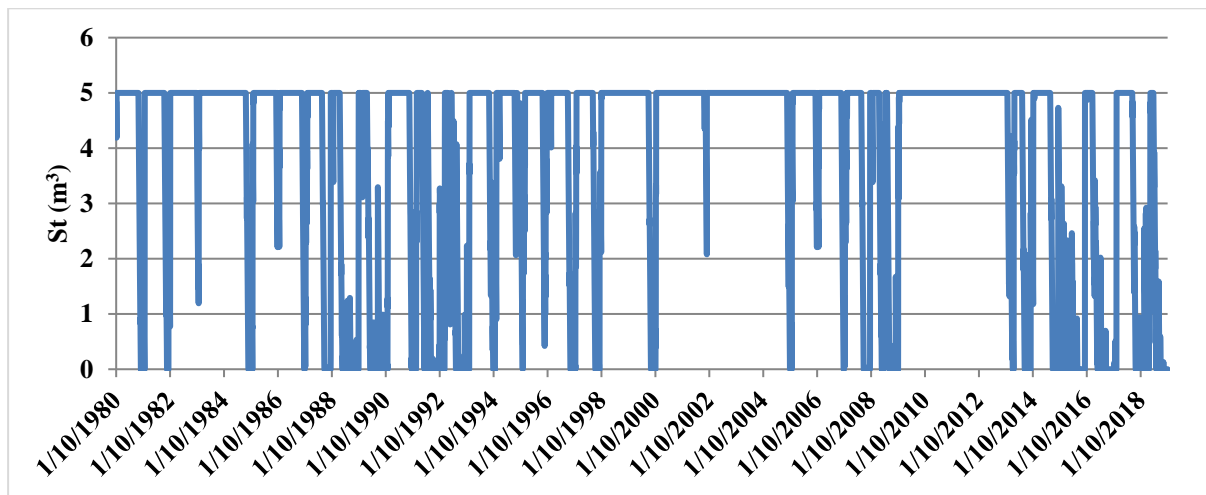
Αναφορικά με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ενδεικτική είναι η διακύμανση του αποθηκευμένου όγκου στη δεξαμενή (εδώ η χωρητικότητα αυτής είναι ίση με  $5 \text{ m}^3$ ). Όπως παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.13 και 4.14, στην Κέρκυρα είναι πολλές οι μέρες όπου η δεξαμενή μπορεί και καλύπτει τον ημερήσιο στόχο ενώ παράλληλα παραμένει γεμάτη, σε αντίθεση με τη Νάξο όπου η βροχόπτωση δεν επαρκεί για να γεμίσει ούτε μια δεξαμενή της τάξης των  $5 \text{ m}^3$ , ενώ είναι και αρκετά περισσότερες οι μέρες που σημειώνεται αστοχία κάλυψης της ζήτησης που τίθεται ως στόχος.

Αναλυτικότερα για τα σχήματα που ακολουθούν, οι διακυμάνσεις που δημιουργούνται δείχνουν ότι η αποθηκευμένη ποσότητα βρόχινου νερού αυξομειώνεται συνεχώς.

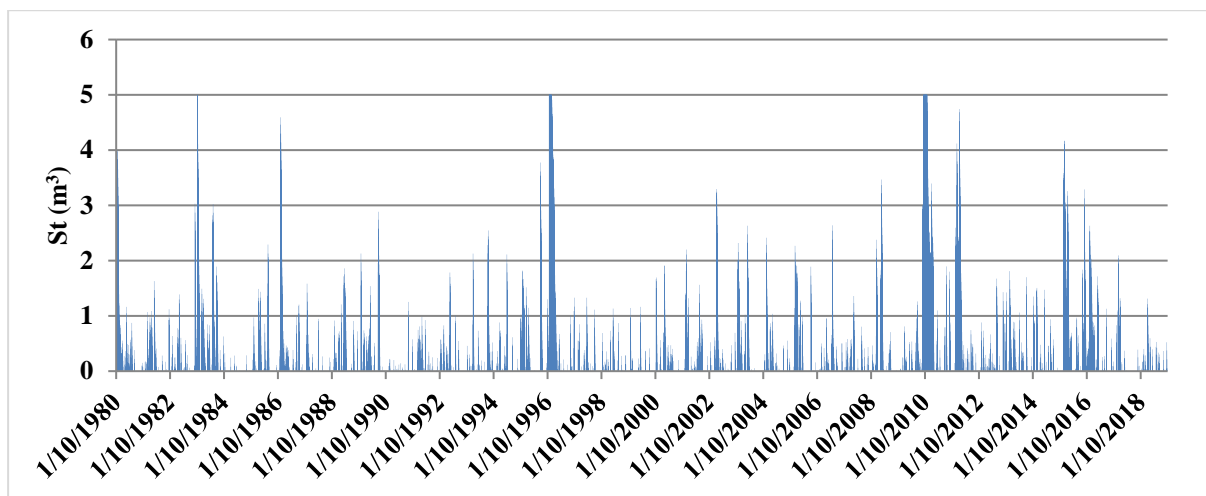
Παρατηρείται ότι, στην χρονική περίοδο μελέτης η δεξαμενή έχει αδειάσει συνολικά 25 φορές. Τα μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα που έχει μείνει χωρίς νερό είναι ενδεικτικά οι περίοδοι: 21/02/1989 – 27/09/1989, 03/03/1990 – 24/10/1990, 08/05/1993 – 04/11/1993, 05/06/2009 – 01/10/2009, 11/04/2016 – 05/09/2016, 17/04/2017 – 06/11/2017, 14/07/2018 – 17/11/2018 και 09/05/2019 – 30/09/2019.

Γίνεται αντιληπτό πως μέσα σε όλα τα χρονικά διαστήματα που αναφέρονται εμπεριέχονται καλοκαιρινοί μήνες, συνεπώς η έλλειψη βρόχινου νερού είναι αναμενόμενη και δικαιολογημένη. Υπάρχουν, όμως, και περίοδοι όπου το νερό γεμίζει στο μέγιστο την δεξαμενή. Στον χρόνο που η δεξαμενή είναι άδεια, τότε την κάλυψη των αναγκών αναλαμβάνει εξ ολοκλήρου η τοπική εταιρεία παροχής ύδρευσης.

Αντίστοιχα, για την περιοχή της Νάξου, μέσα σε αυτά τα 28 χρόνια μελέτης, η δεξαμενή συλλογής όμβριων υδάτων έχει αδειάσει περισσότερες φορές σε σχέση με την Κέρκυρα. Το απόθεμα σε νερό βροχής αναμένεται να είναι ελάχιστο στο νησί της Νάξου, αφού η συχνότητα των βροχοπτώσεων είναι αρκετά μικρότερη από αυτή της Κέρκυρας.

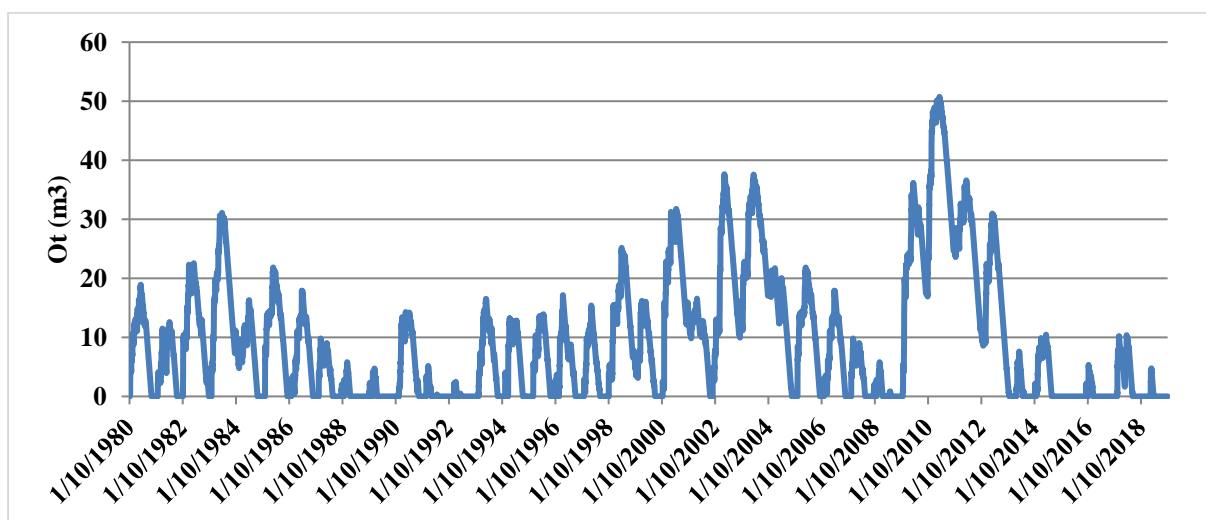


Σχήμα 4.13 Χρονοσειρά Αποθηκευτικότητας Ομβροδεξαμενής ( $S_t$ ) για την Κέρκυρα, με χωρητικότητα  $5 \text{ m}^3$ , επιφάνεια συλλογής  $60 \text{ m}^2$  και 3 μέλη

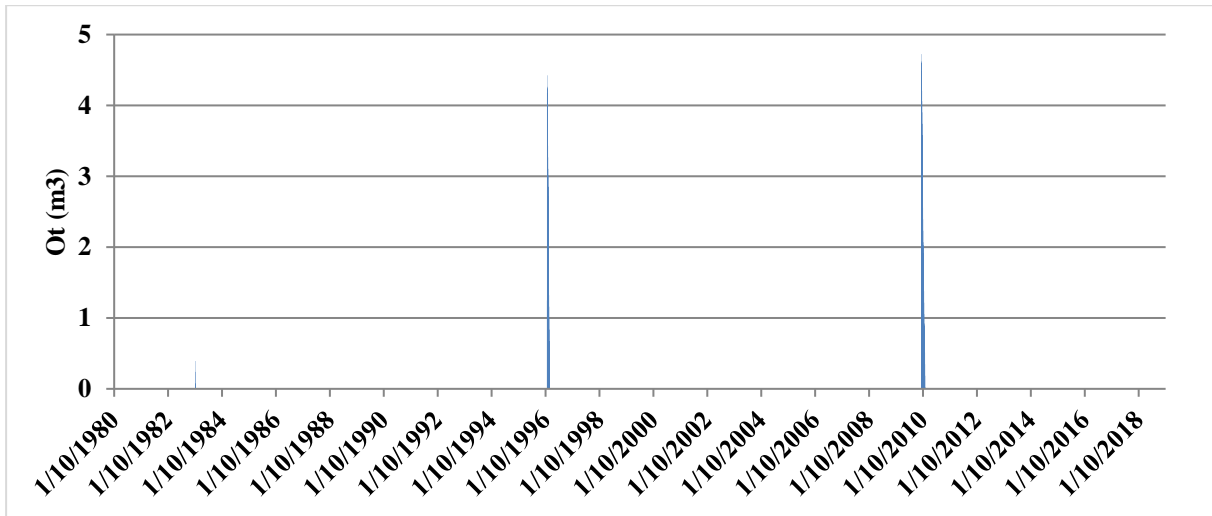


Σχήμα 4.14 Χρονοσειρά Αποθηκευτικότητας Ομβροδεξαμενής ( $S_t$ ) για τη Νάξο, με χωρητικότητα  $5 \text{ m}^3$ , επιφάνεια συλλογής  $60 \text{ m}^2$  και 3 μέλη

Στην περίπτωση της Κέρκυρας, βάσει του Σχήματος 4.15, για μια μικρή ομβροδεξαμενή μεγέθους  $5 \text{ m}^3$  που συνδέεται με επιφάνεια συλλογής  $60 \text{ m}^2$ , παρατηρούνται συχνά φαινόμενα υπερχείλισης. Αντίθετα στο νησί της Νάξου (Σχήμα 4.16) εμφανίζονται ελάχιστες υπερχείλισεις, συγκεκριμένα σε 3 χρονικές περιόδους, με μικρές διακυμάνσεις αναφορικά με τον όγκο νερού που χάνεται από τη δεξαμενή. Συγκεκριμένα, η πρώτη υπερχείλιση πραγματοποιήθηκε τη δεκαετία του 1980 και είχε πολύ μικρό όγκο σε σχέση με τις επόμενες δύο. Ωστόσο, ο όγκος της υπερχείλισης είναι πολύ πιο μικρός, συγκριτικά με αυτόν της Κέρκυρας.

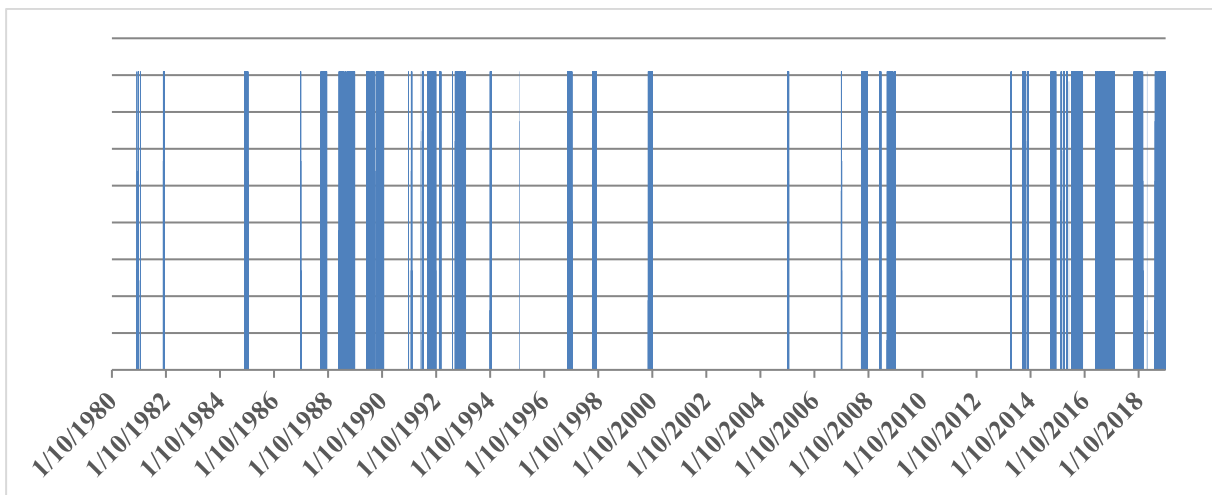


Σχήμα 4.15 Χρονοσειρά Υπερχείλισης Ομβροδεξαμενής ( $O_t$ ) στην Κέρκυρα, επιφάνεια συλλογής  $60 \text{ m}^2$ , χωρητικότητα ομβροδεξαμενής  $5 \text{ m}^3$  και 3 μέλη

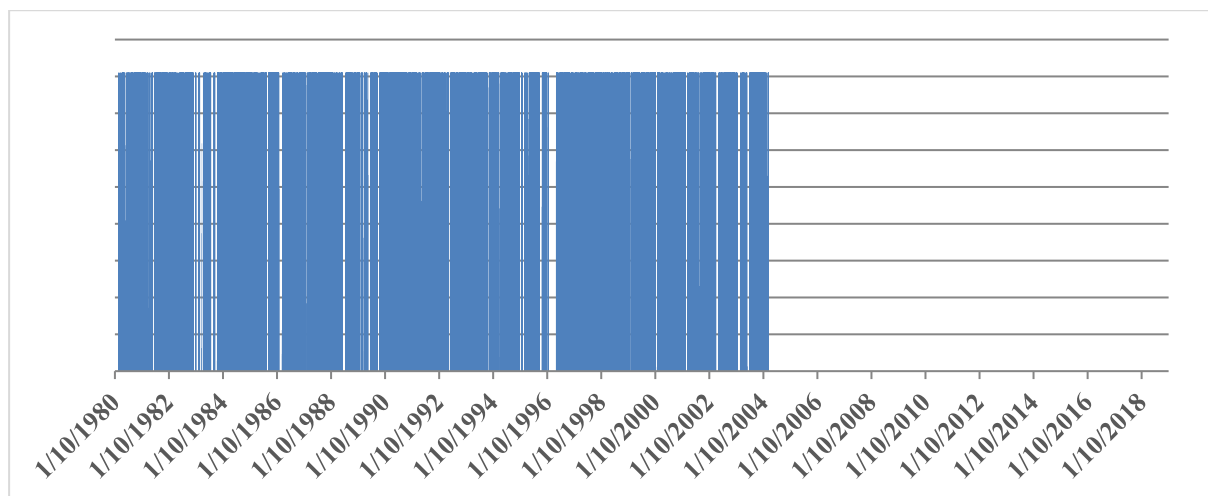


**Σχήμα 4.16 Χρονοσειρά Υπερχείλισης (Ο<sub>i</sub>) στη Νάξο, επιφάνεια συλλογής 60 m<sup>2</sup>, χωρητικότητα ομβροδεξαμενής 5 m<sup>3</sup> και 3 μέλη**

Ακολούθως, στα Σχήματα 4.17 και 4.18 παρουσιάζονται οι ημέρες όπου το σύστημα δεν κατάφερε να καλύψει τη ζήτηση – στόχο, οπότε και για την ποσότητα αυτή γίνεται χρήση του νερού του δικτύου. Τα Σχήματα 4.19 – 4.20, δείχνουν την αθροιστική τιμή των ημερών που εμφανίζεται αστοχία κάλυψης της ζήτησης για το δεδομένο σενάριο.

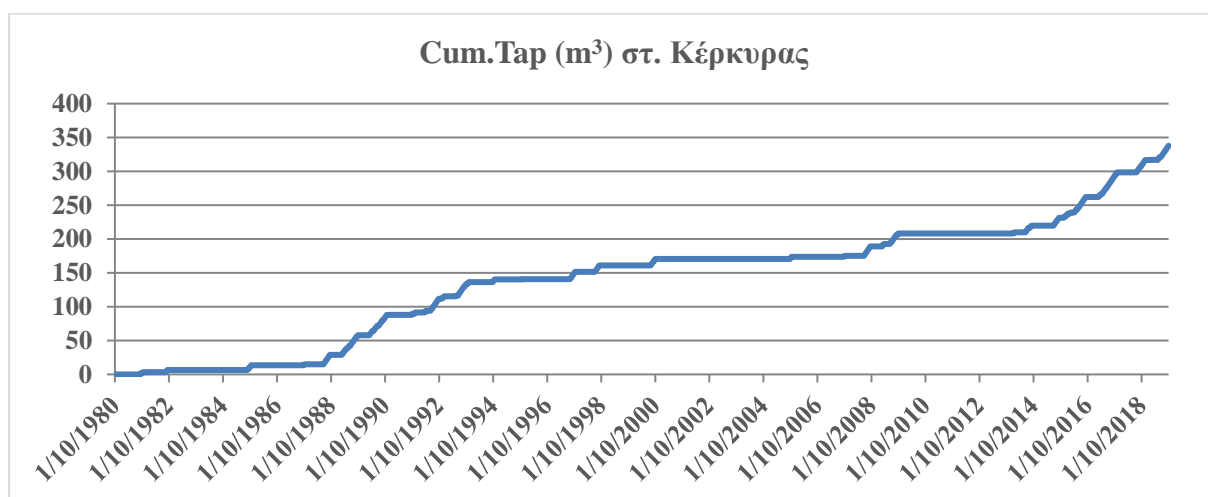


**Σχήμα 4.17 Γράφημα ημερήσιας χρήσης δικτύου ύδρευσης (Tap) στην Κέρκυρα**

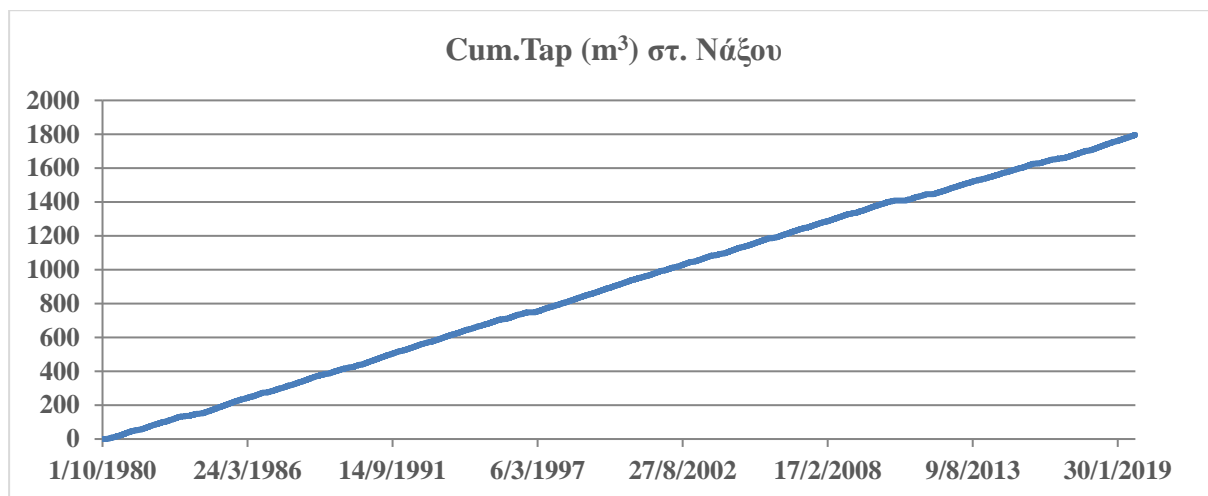


**Σχήμα 4.18** Γράφημα ημερήσιας χρήσης δικτύου ύδρευσης (Tap) στη Νάξο

Στο νησί της Κέρκυρας, λόγω των συχνών κι έντονων βροχοπτώσεων που δέχεται, το σύστημα καταφέρνει να εξασφαλίζει την απαραίτητη αυτονομία για την επίτευξη της κάλυψης των αναγκών. Αυτό γίνεται κατανοητό βλέποντας τα παραπάνω διαγράμματα, αφού οι μέρες που χρειάζεται να ικανοποιηθούν οι ανάγκες του σεναρίου από το δίκτυο ύδρευσης είναι λίγες. Αντίθετα, στη Νάξο η κάλυψη των αναγκών είναι μικρή σε ποσοστό.



**Σχήμα 4.19** Καμπύλη αθροιστικής ζήτησης (CTap) από το δίκτυο στην Κέρκυρα



Σχήμα 4.20 Καμπύλη αθροιστικής ζήτησης (CTap) από το δίκτυο στη Νάξο

## 4.2 Διερεύνηση αποδοτικότητας συστήματος

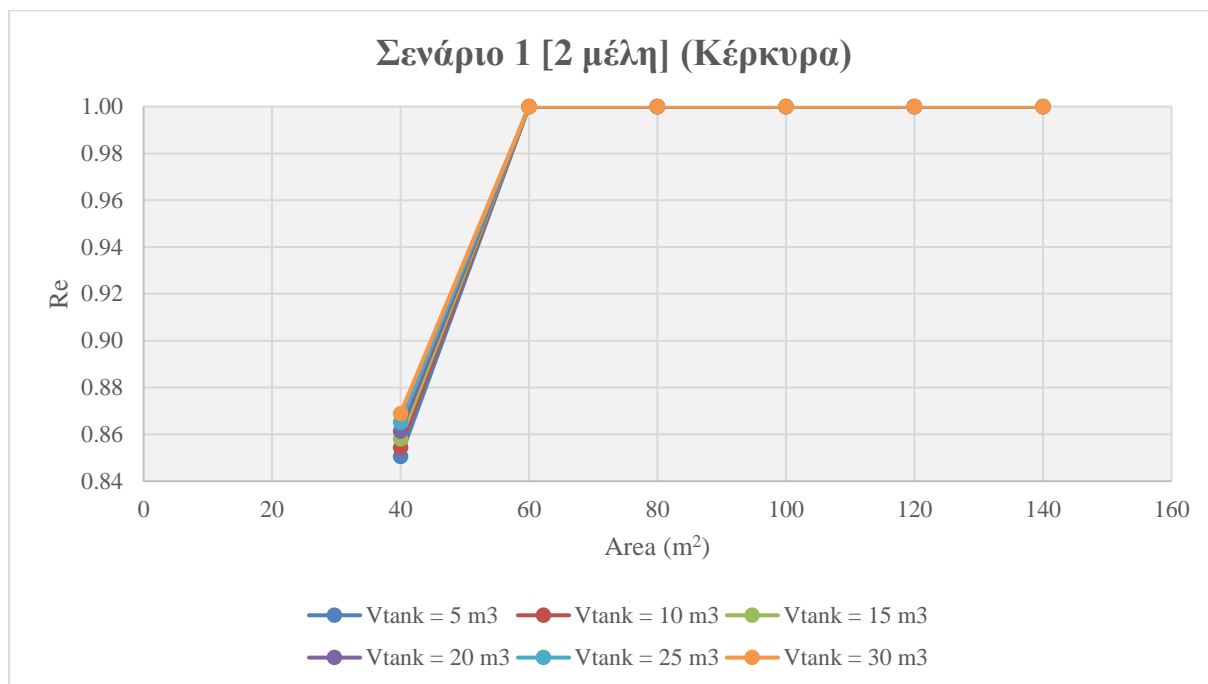
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα δύο νησιά από την εφαρμογή των τριών σεναρίων, τα οποία αναφέρονται σε διαφορετικό αριθμό μελών νοικοκυριού. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται υπό μορφή γραφημάτων που δείχνουν τη μεταβολή της αποδοτικότητας του συστήματος συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής (μεταξύ 40 και 140 m<sup>2</sup>) για διάφορες διαστάσεις ομβροδεξαμενής (5-30 m<sup>3</sup>, με βήμα προσομοίωσης τα 5 m<sup>3</sup>).

### Σενάριο 1

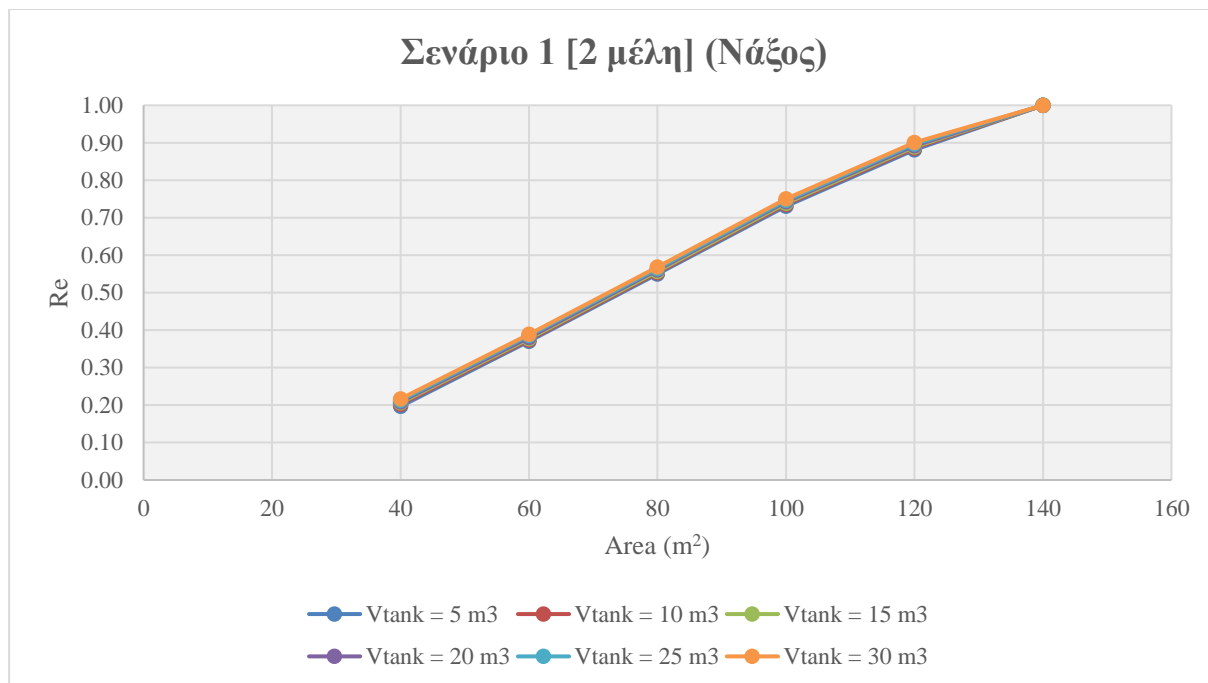
Στο πρώτο σενάριο διερευνήθηκε η αποδοτικότητα του συστήματος για ποσοστό χρήσης (p) 30%, μέση ημερήσια κατανάλωση (q) 180 L/ημέρα/κάτοικο και αριθμό μελών κατοικίας (N<sub>cap</sub>) ίσο με 2. Ο όγκος της δεξαμενής (V<sub>tank</sub>), όπως και η επιφάνεια συλλογής (A) μεταβάλλονται έτσι ώστε να μελετηθεί και να βρεθεί ο συντελεστής αποδοτικότητας (Re) για το σύστημα σε συνάρτηση με αυτά τα δύο μεγέθη.

Στα Σχήματα 4.21 και 4.22 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα γραφήματα του Σεναρίου 1 για την Κέρκυρα και τη Νάξο, αντίστοιχα.





**Σχήμα 4.21** Μεταβολή του συντελεστή αποδοτικότητας ( $Re$ ) σε σχέση με μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής ( $A$ ) και όγκο ομβροδεξαμενής ( $V_{\text{tank}}$ ) και σταθερό αριθμό μελών, νήσος Κέρκυρα



**Σχήμα 4.22** Μεταβολή του συντελεστή αποδοτικότητας ( $Re$ ) σε σχέση με μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής ( $A$ ) και όγκο ομβροδεξαμενής ( $V_{\text{tank}}$ ) και σταθερό αριθμό μελών, νήσος Νάξος

Η τιμή για την απόδοση του συστήματος για την Κέρκυρα κυμαίνεται από 0.85 έως 1.00, ή ποσοστιαία από 85 έως 100%. Για επιφάνεια συλλογής (A) 40 m<sup>2</sup> και για όλους τους όγκους που μελετήθηκαν παρατηρείται μια μικρή αύξηση της απόδοσης, της τάξης περίπου 2.00% με αύξηση του όγκου της δεξαμενής, ενώ για επιφάνειες 60 έως 140 m<sup>2</sup>, αντίστοιχα για όλους τους όγκους της ομβροδεξαμενής επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή απόδοση.

Όσον αφορά τη Νάξο, στις αντίστοιχες συνθήκες γίνεται αντιληπτό πως ο συντελεστής αποδοτικότητας (Re) αναμένεται κατά πολύ μικρότερος, τόσο σε επιφάνεια συλλογής ίση με 40 m<sup>2</sup>, όσο και για μεγαλύτερες επιφάνειες. Η αξιοπιστία κάλυψης της ζήτησης για τους υπό μελέτη συνδυασμούς ξεκινά με τιμή 20.00% και η μέγιστη τιμή επιτυγχάνεται για επιφάνεια συλλογής ίση με 140 m<sup>2</sup> ανεξαρτήτως όγκου δεξαμενής. Όπως αναμενόταν με βάση τα βροχομετρικά χαρακτηριστικά των δύο περιοχών, παρατηρείται ότι στην Κέρκυρα η μέγιστη αποδοτικότητα του συστήματος επιτυγχάνεται πιο γρήγορα σε σχέση με τη Νάξο, ωστόσο και στις δύο περιοχές το σύστημα για δύο μέλη δύναται να επιτύχει τη μέγιστη απόδοση τουλάχιστον για ένα συνδυασμό.

### *Σενάριο 2*

Στο δεύτερο σενάριο γίνεται διερεύνηση στην αποδοτικότητα του συστήματος για ίδιο ποσοστό χρήσης (p) και μέση ημερήσια κατανάλωση (q), όμως ο αριθμός των μελών της οικίας (N<sub>cap</sub>) είναι 3. Ο όγκος της δεξαμενής (V<sub>tank</sub>), όπως και η επιφάνεια συλλογής (A) παραμένουν μεταβλητά και όλες οι παράμετροι ισχύουν και για τις δύο περιοχές μελέτης. Αναφορικά με την προσομοίωση, μια παράμετρος που επηρεάζεται σημαντικά είναι το απόθεμα ημέρας, καθώς πλέον το σύστημα καλείται να καλύψει μια ημερήσια ζήτηση κατά 50% αυξημένη.

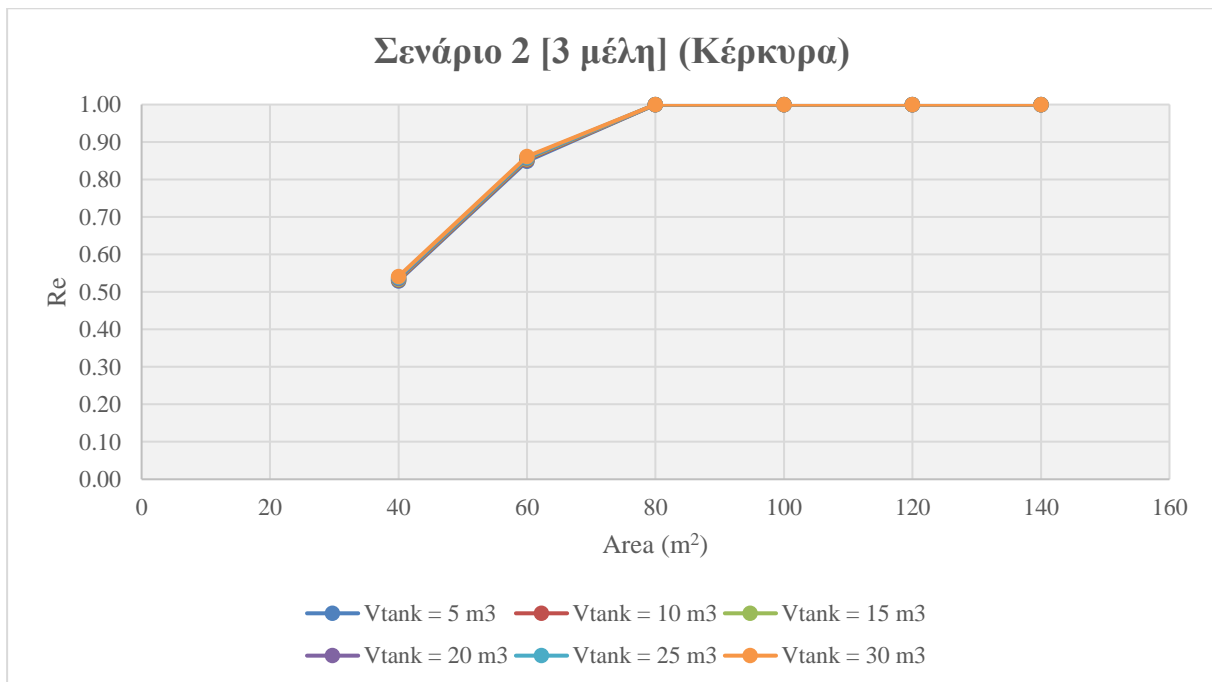
Στα Σχήματα 4.23 και 4.24 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα γραφήματα για την αποδοτικότητα του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων, για κατοικία 3 μελών και όγκο δεξαμενής από 5 m<sup>3</sup> έως 30 m<sup>3</sup>.

Στην Κέρκυρα, η τιμή για την απόδοση του συστήματος κυμαίνεται από 52.90 έως 100.00%. Για επιφάνεια συλλογής (A) ίση με 40 m<sup>2</sup> και για όλους τους όγκους που μελετήθηκαν παρατηρείται μια μικρή αύξηση του συντελεστή αποδοτικότητας, της τάξης περίπου 2.00% συναρτήσει της αύξησης του όγκου δεξαμενής. Για επιφάνεια 60 m<sup>2</sup>, αντίστοιχα για όλους τους όγκους της ομβροδεξαμενής, το ποσοστό της απόδοσης αυξάνεται και παίρνει τιμές από

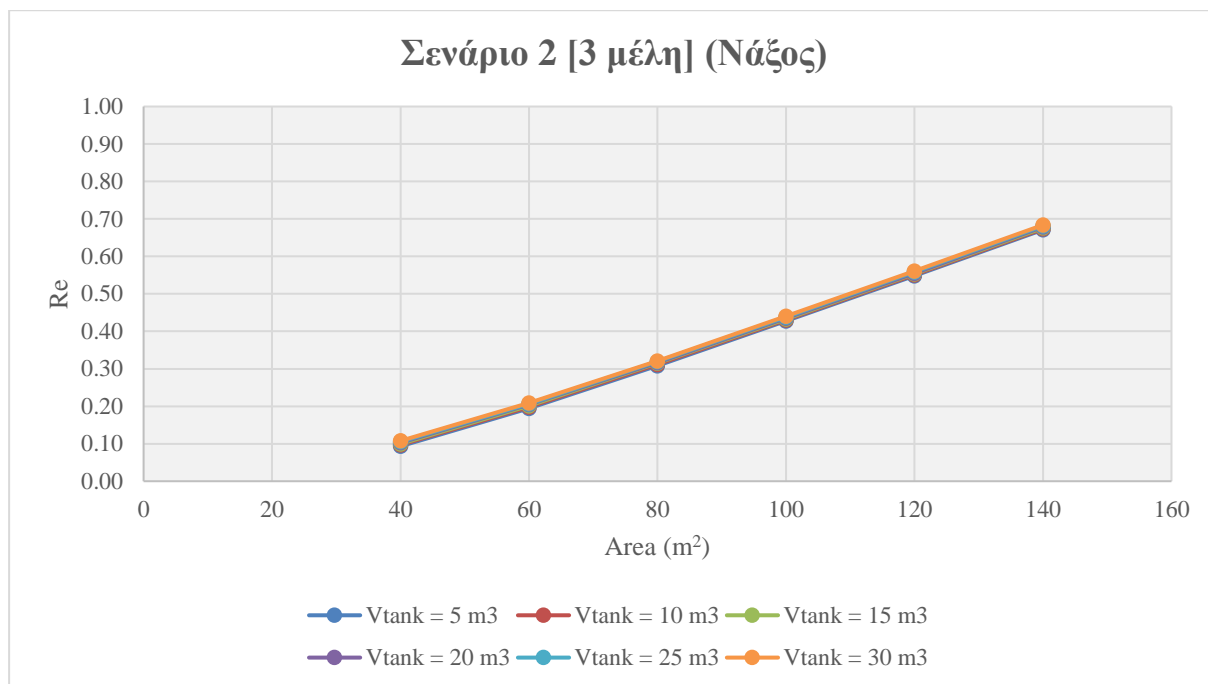
0.85 έως 0.86, ενώ για επιφάνειες από 80 m<sup>2</sup> και άνω το σύστημα φτάνει σε πλήρη αποδοτικότητα.

Όσον αφορά τη Νάξο, η μεταβολή της τιμής στην απόδοση του συστήματος είναι σταθερά αυξητική και κυμαίνεται από 0.09 έως 0.68. Συγκεκριμένα, για επιφάνεια συλλογής (A) ίση με 40 m<sup>2</sup> και για όλους τους όγκους που μελετήθηκαν, η αποδοτικότητα του συστήματος είναι 0.09 έως 0.11, για 60 m<sup>2</sup> είναι 0.19 έως 0.21, για 80 m<sup>2</sup> επιτυγχάνεται απόδοση μεταξύ 0.31 και 0.32, για 100 m<sup>2</sup> αυτή κυμαίνεται από 0.43 έως 0.44, για 120 m<sup>2</sup> 0.55 έως 0.56 και για επιφάνεια 140 m<sup>2</sup> από 0.67 έως 0.68. Παρατηρείται ότι στο παρόν σενάριο προσομοίωσης, η απόδοση του συστήματος δεν αγγίζει ποτέ το μέγιστο δυνατό ποσοστό, δηλαδή πλήρη κάλυψη τα ζήτησης για το σύνολο των ημερών προσομοίωσης.

Συνοπτικά, στο νησί της Κέρκυρας, σε οικία 3 μελών, επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση του συστήματος με βάση τους περισσότερους συνδυασμούς που διερευνήθηκαν, ενώ στη Νάξο η απόδοσή του φτάνει το 68.40% για τον συνδυασμό μέγιστης επιφάνειας συλλογής και όγκου δεξαμενής.



**Σχήμα 4.23** Μεταβολή του συντελεστή αποδοτικότητας (Re) σε σχέση με μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) και όγκο ομβροδεξαμενής (V<sub>tank</sub>) και σταθερό αριθμό μελών, νήσος Κέρκυρα



**Σχήμα 4.24 Μεταβολή του συντελεστή αποδοτικότητας (Re) σε σχέση με μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) και όγκο ομβροδεξαμενής (V<sub>tank</sub>) και σταθερό αριθμό μελών, νήσος Νάξος**

### Σενάριο 3

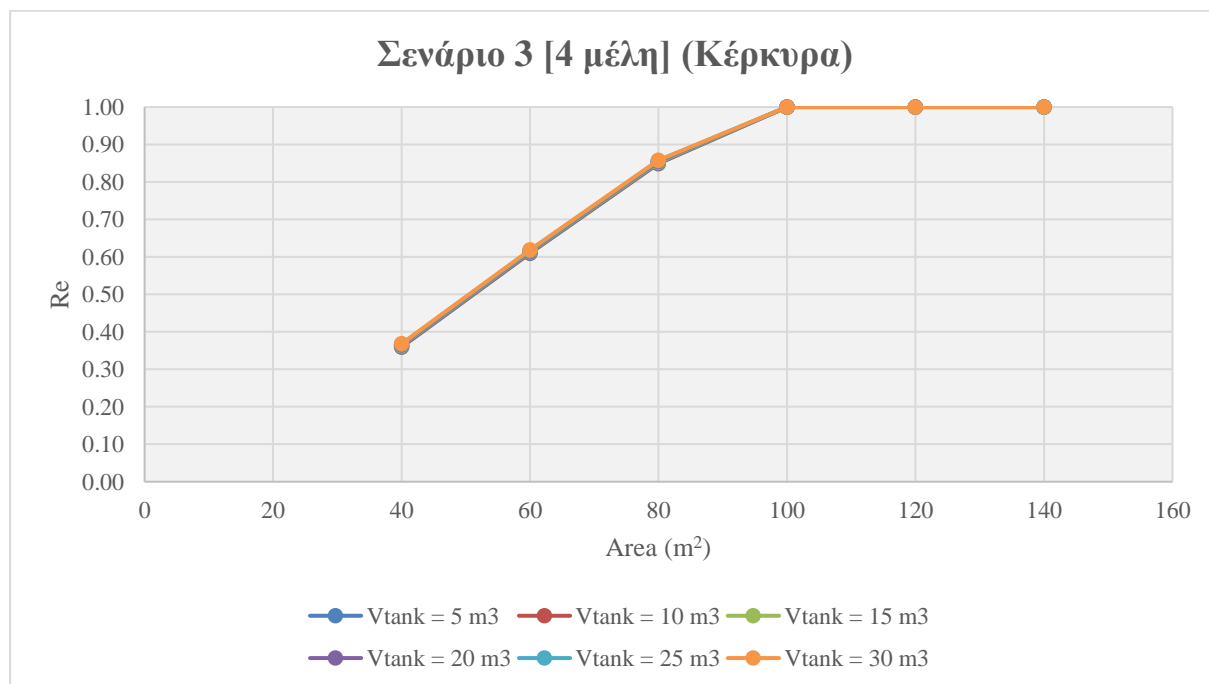
Στο τρίτο και τελευταίο σενάριο γίνεται διερεύνηση στην απόδοση του συστήματος για τετραμελές νοικοκυριό ( $N_{cap}=4$ ), ενώ παραμένει ίδιο το ποσοστό χρήσης (p) και η μέση ημερήσια κατανάλωση (q). Ο όγκος της δεξαμενής (V<sub>tank</sub>) και η επιφάνεια συλλογής (A) είναι μεταβλητά μεγέθη, όπως στα δύο προηγούμενα σενάρια.

Στα Σχήματα 4.25 και 4.26 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα γραφήματα για την αποδοτικότητα του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων, για κατοικία 4 μελών και όγκο δεξαμενής από 5 m<sup>3</sup> έως 30 m<sup>3</sup>. Η απόδοση του συστήματος για την περιοχή της Κέρκυρας κυμαίνεται σε ποσοστά από 35.91 έως και 100.00%. Η ελάχιστη τιμή του Re (%) που επιτυγχάνεται για τη μικρότερη επιφάνεια συλλογής και τον μικρότερο όγκο, όπως αναμενόταν είναι μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή του προηγούμενου σεναρίου τριμελούς νοικοκυριού. Για επιφάνεια συλλογής (A) από 40 έως 80 m<sup>2</sup>, η απόδοση του συστήματος αυξάνει σταδιακά και παίρνει τιμές από 0.36 έως 0.86, ενώ ο συντελεστής Re (%) αγγίζει τη μέγιστη τιμή σε επιφάνειες από 100 έως 140 m<sup>2</sup> και για όλους του όγκους που διερευνήθηκαν. Γενικότερη παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι η παράμετρος της επιφάνειας συλλογής (A) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη, όπως προκύπτει και από τα επιμέρους αποτελέσματα, καθώς είναι και εκείνη που

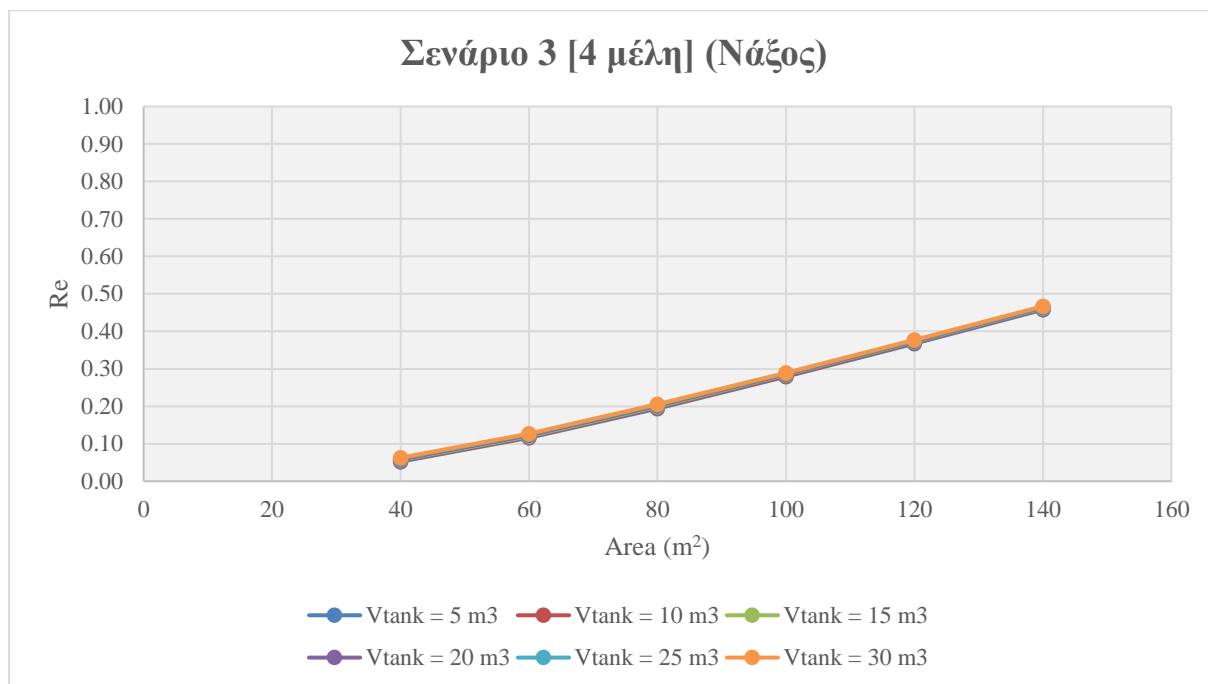
καθορίζει τελικά τον όγκο της βροχόπτωσης που μεταφράζεται ως εισροή στη δεξαμενή για το σύστημα. Αντιθέτως, ο όγκος της δεξαμενής για δεδομένη επιφάνεια συλλογής φαίνεται να είναι μια λιγότερο κρίσιμη παράμετρος για τους συνδυασμούς που μελετήθηκαν.

Στη Νάξο, όπως και στο Σενάριο 2, η μεταβολή στην απόδοση του συστήματος αυξάνει σταδιακά, με ποσοστά από 5.20 έως 46.70%. Συγκεκριμένα, για επιφάνεια συλλογής (A) ίση με 40 m<sup>2</sup> και για όλους τους όγκους δεξαμενής, η αποδοτικότητα του συστήματος είναι 0.05 έως 0.06, για 60 m<sup>2</sup> είναι 0.12 έως 0.13, για 80 m<sup>2</sup> είναι 0.19 έως 0.21, για 100 m<sup>2</sup> είναι 0.28 έως 0.29, για 120 m<sup>2</sup> είναι 0.37 έως 0.38 και, τέλος, για επιφάνεια 140 m<sup>2</sup> αυτή κυμαίνεται μεταξύ 0.46 και 0.47. Καθώς το εν λόγω σενάριο είναι και το δυσμενέστερο από άποψη ζήτησης, η απόδοση του συστήματος για τετραμελή οικογένεια στη Νάξο δεν αγγίζει τη μέγιστη τιμή της.

Συμπερασματικά, λοιπόν, ο αριθμός των μελών μιας οικίας, όπως επίσης και η επιφάνεια συλλογής του συστήματος είναι ευαίσθητες παράμετροι, καθώς ορίζουν την είσοδο (εισροή) και την έξοδο (ζήτηση) του μοντέλου προσομοίωσης. Επίσης, μέσω των σεναρίων και με τη βοήθεια των γραφημάτων φαίνεται ότι η μεταβολή των μεγεθών είναι γραμμική, σε όλους τους συνδυασμούς που παρουσιάστηκαν και υιοθετήθηκε δεδομένο βήμα κατά την ανάλυση.



**Σχήμα 4.25** Μεταβολή του συντελεστή αποδοτικότητας (Re) σε σχέση με μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) και όγκο ομβροδεξαμενής (V<sub>tank</sub>) και σταθερό αριθμό μελών, νήσος Κέρκυρα



**Σχήμα 4.26** Μεταβολή του συντελεστή αποδοτικότητας ( $Re$ ) σε σχέση με μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής ( $A$ ) και όγκο ομβροδεξαμενής ( $V_{\text{tank}}$ ) και σταθερό αριθμό μελών, νήσος Νάξος

### 4.3 Μεταβολή αποδοτικότητας υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής

#### 4.3.1 Γενικά – Κλιματικά σενάρια

Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό, η κλιματική αλλαγή ορίζεται ως μια στατιστικά σημαντική διακύμανση είτε στη μέση κατάσταση του κλίματος είτε στη μεταβλητότητά του, που παραμένει για παρατεταμένη περίοδο (συνήθως δεκαετίες ή περισσότερο). Στην Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change) διατυπώθηκε πως η βροχόπτωση κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα αναμένεται να παρουσιάσει έντονη χωρική μεταβλητότητα, με τη μέση ετήσια βροχόπτωση να προβλέπεται να αυξηθεί στις περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη καθώς και στις υγρές περιοχές μέσου γεωγραφικού πλάτους, και να μειωθεί στις ξηρές περιοχές μέσου γεωγραφικού πλάτους (IPCC, 2014).

Καθώς η ανάλυση που παρουσιάστηκε στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης, και δεδομένης της αλλαγής του κλίματος που επιδρά σημαντικά στη βροχόπτωση, κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστεί μια

πρόσθετη, ενδεικτική, ανάλυση αναφορικά με διαφοροποιήσεις στις εκτιμήσεις που παρουσιάζονται, λαμβάνοντας υπόψη σενάρια για την αλλαγή του κλίματος και τελικά να μελετηθεί η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη διαστασιολόγηση τέτοιων συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων.

Για την τελική αυτή προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα κατακρήμνισης του ερευνητικού προγράμματος CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment) για τις νήσους Κέρκυρα και Νάξο, τα οποία είναι διαθέσιμα από την ιστοσελίδα DEAR-Clima (Data Extraction Application for Regional Climate) μέσα από τον ιστότοπο: <http://meteo3.geo.auth.gr:3838/>. Το DEAR-Clima είναι μια διαδικτυακή εφαρμογή με φιλικό στον χρήστη περιβάλλον (Σχήματα 4.27 και 4.28) που οπτικοποιεί και παρέχει στον χρήστη χρονοσειρές για μια σειρά από κλιματικές παραμέτρους και χρονικές κλίμακες και για μεγάλο αριθμό μοντέλων (συνδυασμού Μοντέλου Γενικής Κυκλοφορίας και Περιοχικού Κλιματικού Μοντέλου) σε υψηλή χωρική ανάλυση, με βάση τις προσομοιώσεις του μεγάλου Ευρωπαϊκού Ερευνητικού Προγράμματος Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX). Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα για την χρονική περίοδο 1950 έως 2100. Το κάθε σετ δεδομένων περιλαμβάνει χρονοσειρά αναφοράς για την χρονική περίοδο 1950 - 2004 και μελλοντική περίοδο 2006 – 2100, σύμφωνα με τα τρία RCPs (IPCC, 2014; AR5): rcp26, rcp45 και rcp85.

The screenshot displays the DEAR-Clima web application interface. At the top, there is a navigation bar with links for Home, Domain, Experiments, Scenarios, Variables, Application, About, and Contact. Below the navigation bar, there are buttons for 'Guidelines' and 'Subscribe'. The main interface is divided into three sections: 1. Temporal & Variable Selection, 2. Grid Selection, and 3. Initiate Processing. In the '1. Temporal & Variable Selection' section, there are dropdown menus for 'Temporal Selection' (set to 'Daily'), 'Variable' (set to 'Precipitation'), 'Regional Climate Model' (set to 'MPI-CSC-REMO2009'), and 'Global Climate Model (Driver)' (set to 'MPI-M-MPI-ESM-LR'). In the '2. Grid Selection' section, there are buttons for 'Insert Coordinates' and 'Select on Map', and input fields for 'Insert Longitude' (25.3777) and 'Insert Latitude' (37.1036). In the '3. Initiate Processing' section, there is a 'Process' button.

**Σχήμα 4.27** Περιβάλλον DEAR-Clima για την επιλογή δεδομένων/χρονοσειράς. Η ανάπτυξη του διαδικτυακού εργαλείου χρηματοδοτήθηκε από το διεθνές πρόγραμμα GEO-GRADLE και φιλοξενείται στον server του Τομέα Μετεωρολογίας του Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ.



**Σχήμα 4.28 Περιβάλλον DEAR-Climate για την οπτικοποίηση των στατιστικών χαρακτηριστικών της χρονοσειράς**

Αναφορικά με τα σενάρια εκπομπών, τον συντονισμό της προσπάθειας και την εκπόνηση των κατάλληλων Σεναρίων Εκπομπών έχει αναλάβει η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Τα αποτελέσματα ερμηνεύονται, περιγράφονται και δημοσιεύονται σε μεγάλες, κομβικές εκθέσεις «Assessment Reports» (IPCC, 1992; 2001; 2007; 2014). Στην πιο πρόσφατη, έγιναν επιστημονικές προτάσεις που οδήγησαν στην κατασκευή νέων σεναρίων που ονομάζονται Αντιπροσωπευτικές Κατευθύνσεις Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways – RCPs). Δημιουργήθηκαν, λοιπόν, τέσσερα νέα σενάρια που χρησιμοποιούν αναβαθμισμένα ολοκληρωμένα μοντέλα βραχυπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης προσομοίωσης των κλιματικών συνθηκών (Κυπραίου, 2018). Τα νέα σενάρια αντλούν το όνομα τους από την τιμή της επίδρασης της ακτινοβολίας (radiative forcing) που αναμένεται κατά την διάρκεια ή και κοντά στο τέλος του 21ου αιώνα. Έτσι από τα επίπεδα ακτινοβολίας 8.5, 6, 4.5 και 2.6  $W/m^2$ , προέκυψαν τα σενάρια RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5, RCP2.6 (Moss et al., 2010; Van Vuuren et al., 2011).

- Το σενάριο RCP 2.6 (κωδική ονομασία: rcp26), είναι ένα σενάριο χαμηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, υποθέτει ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα μειωθούν έως και 70% την περίοδο 2010 έως 2100 σε σύγκριση με ένα βασικό σενάριο μελέτης (π.χ., ύστερα από αλλαγές στην χρήση και στην παραγωγή ενέργειας, χρήση αερίων εκτός του  $CO_2$ , εφαρμογή τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα, κ.λπ.).



- Το σενάριο RCP 4.5 (κωδική ονομασία: rcp45) στοχεύει στη σταθεροποίηση της παγκόσμιας ακτινοβολικής ώθησης στα  $4.5 \text{ W/m}^2$  χωρίς να ξεπεράσει αυτήν την τιμή έως το 2100. Σύμφωνα με αυτό, η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου κορυφώνεται το 2040 και από εκεί και έπειτα μειώνεται.

- Το σενάριο RCP 8.5 (κωδική ονομασία: rcp85), είναι ένα σενάριο υψηλών εκπομπών, συχνά αναφερόμενο «business as usual», και υποθέτει ένα μέλλον με υψηλό πληθυσμό παγκοσμίως, έλλειψη περιβαλλοντικών και κλιματικών αλλαγών, σχετικά χαμηλή οικονομική ευημερία σε συνδυασμό με μέτριο ρυθμό τεχνολογικών εξελίξεων που δεν επιλύουν αποτελεσματικά τις ενεργειακές ανάγκες.

Τα κλιματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται ως προγνωστικά εργαλεία για μελλοντικές κλιματικές εκτιμήσεις. Οι μελλοντικές εκτιμήσεις όλων των κλιματικών μοντέλων χαρακτηρίζονται από σημαντική αβεβαιότητα. Η ικανότητα πρόγνωσης των μοντέλων αυτών πλήττεται κυρίως από το πρόβλημα των αρχικών και πλευρικών συνθηκών. Το πρώτο βασίζεται στο γεγονός ότι η ακριβής γνώση της αρχικής κατάστασης της ατμόσφαιρας δεν είναι εφικτή, ενώ το δεύτερο αφορά στην αδυναμία ακριβούς γνώσης των εξωτερικών παραγόντων που επιδρούν στο κλίμα. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι ο βασικός στόχος των μελλοντικών κλιματικών προσομοιώσεων δεν είναι η ακριβής πρόγνωση του κλίματος, αλλά η ανάλυση ευαισθησίας του κλίματος για δεδομένα σενάρια ανάπτυξης.

Η τελική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για τρεις χρονοσειρές, ενός ευμενούς, ενός μέσου και ενός δυσμενούς σεναρίου (rcp26, rcp45 και rcp85) που προέκυψαν από τον συνδυασμό του περιοχικού κλιματικού μοντέλου MPI-CSC-REMO-2009 και του μοντέλου γενικής κυκλοφορίας MPI-M-MPI-ESM. Κατ' αντιστοιχία με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται με βάση την ιστορική χρονοσειρά για τις δύο περιοχές μελέτης, υπολογίστηκε ο συντελεστής αποδοτικότητας (%) με βάση τις νέες χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης για καθένα από τους συνδυασμούς που εξετάστηκαν στα Σενάρια 1, 2 και 3. Τα αποτελέσματα δίνονται υπό μορφή πίνακα για όλους τους όγκους δεξαμενής ( $5-30 \text{ m}^3$ ) και για εμβαδό επιφάνειας συλλογής  $40-80 \text{ m}^2$ , καθώς στο συγκεκριμένο εύρος και με βάση την ιστορική δεν επετεύχθη πλήρης κάλυψη της ζήτησης από το σύστημα.

#### 4.3.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην παράγραφο αυτή αντιπροσωπεύουν ένα νέο σύνολο προσομοιώσεων, με βάση το ημερήσιο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, εισάγοντας ως δεδομένο τις χρονοσειρές βροχόπτωσης που αποκτήθηκαν μέσω της εφαρμογής DEAR-Clima, επιλέγοντας τις κατάλληλες παραμέτρους και συγκεκριμένα:

- την παράμετρο (βροχόπτωση)
- το βήμα της χρονοσειράς (ημερήσιο)
- το περιοχικό κλιματικό μοντέλο MPI-CSC-REMO-2009
- το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας MPI-M-MPI-ESM
- τις συντεταγμένες των δύο θέσεων (Κέρκυρα: 39.6243° N, 19.9217° E, Νάξος: 37.1036° N, 25.3777° E).

Οι χρονοσειρές δίνονται για τα τρία σενάρια (rcp26, rcp45 και rcp85) που περιεγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Κατόπιν εφαρμογής των χρονοσειρών στο μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας του υπό μελέτη συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων για κάθε νησί, πραγματοποιήθηκε ανάλυση για μέση ημερήσια ζήτηση,  $q=180$  l/cap/day, ποσοστό κάλυψης,  $p=30\%$ , αριθμό μελών νοικοκυριού,  $N_{cap}=2, 3$  και  $4$ , και επιφάνειες συλλογής βρόχινου νερού,  $A$ , από  $40$  έως  $80$  m<sup>2</sup> για τα δύο νησιά, προκειμένου να προσδιοριστεί η μεταβολή στην αποδοτικότητα υπό καθεστώς κλιματικής αλλαγής. Καθώς και στις δύο περιπτώσεις (Κέρκυρα, Νάξο), οι χρονοσειρές των κλιματικών σεναρίων δείχνουν μια μικρή αυξητική τάξη, κρίθηκε σκόπιμο να διερευνηθούν οι τιμές επιφάνειας συλλογής που δεν εξασφαλίζουν μέγιστη απόδοση με βάση την ιστορική χρονοσειρά, καθώς για τους υπόλοιπους συνδυασμούς το αριθμητικό αποτέλεσμα θα ήταν αναμενόμενο ( $Re=1$ , με βάση την ιστορική και άρα ίδιο με βάση την αυξημένη βροχόπτωση των σεναρίων). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.1 και 4.2, συγκριτικά για την ιστορική χρονοσειρά και τα τρία σενάρια.

Όπως γίνεται σαφές από τα αποτελέσματα που προκύπτουν:

- και για τα δύο νησιά τα σενάρια κλιματικής αλλαγής που διερευνήθηκαν προβάλλουν μια δυνητική αύξηση (διαφορετική τάση ανά σενάριο) στην παράμετρο της ημερήσιας

βροχόπτωσης, κι ως εκ τούτου οι αναλύσεις οδηγούν σε αύξηση του συντελεστή αποδοτικότητας του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

- όπως αναμενόταν, με βάση το ευμενές σενάριο, η αύξηση της απόδοσης σε σχέση με το αντίστοιχο ποσοστό που προσδιορίζεται εφαρμόζοντας την ιστορική χρονοσειρά είναι μέγιστη. Ακολουθεί εκείνη με το μέσο σενάριο και τη μικρότερη αύξηση δίνει το δυσμενές σενάριο.

- στο νησί της Κέρκυρας στις περισσότερες περιπτώσεις επιτυγχάνεται μέγιστη απόδοση του συστήματος, δηλαδή το σύστημα μπορεί και ικανοποιεί τη ζήτηση-στόχο (30% της συνολικής ζήτησης της οικίας) για το σύνολο των ημερών της προσομοίωσης (περίοδος 2030-2100). Για επιφάνεια συλλογής ίση με 80 m<sup>2</sup>, υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής, όλα τα σενάρια δίνουν  $Re=1$ , ενώ για μικρότερες επιφάνειες, αν και η αποδοτικότητα είναι αυξημένη σε σχέση με την ιστορική, δεν αγγίζει πάντα τη μέγιστη δυνατή τιμή.

- στη Νάξο, όπου για τους υπό μελέτη συνδυασμούς η αποδοτικότητα βρέθηκε ιδιαίτερα χαμηλή με βάση την ιστορική χρονοσειρά, παρατηρείται συγκριτικά μεγαλύτερη αύξηση με βάση τα κλιματικά σενάρια. Στο Σενάριο 1 (διμελές νοικοκυριό) επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή απόδοση, όταν με βάση την ιστορική χρονοσειρά αυτή κυμαίνεται μεταξύ 0.196 και 0.568. Στα επόμενα δύο σενάρια (3 ή 4 μέλη), δεν επιτυγχάνεται 100% κάλυψη των αναγκών για το σύνολο των ημερών προσομοίωσης με κανένα κλιματικό σενάριο. Συγκεκριμένα, για το Σενάριο 2, η αποδοτικότητα κυμαίνεται μεταξύ 0.261 και 0.728, όταν η μέγιστη για την ιστορική ήταν 0.321, και για το Σενάριο 3 μεταξύ 0.162 και 0.518, όταν η μέγιστη με βάση την ιστορική ήταν 0.206.

**Πίνακας 4.1 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο, νήσος Κέρκυρα**

	AREA	ΟΓΚΟΣ	Historic	RCP 2.5	RCP 4.6	RCP 8.5
<b>Σενάριο 1</b> (N <sub>cap</sub> =2)	40	5	0.851	1.000	1.000	0.996
	60	5	1.000	1.000	1.000	1.000
	80	5	1.000	1.000	1.000	1.000
	40	10	0.854	1.000	1.000	0.998
	60	10	1.000	1.000	1.000	1.000
	80	10	1.000	1.000	1.000	1.000
	40	15	0.858	1.000	1.000	1.000
	60	15	1.000	1.000	1.000	1.000
	80	15	1.000	1.000	1.000	1.000
	40	20	0.861	1.000	1.000	1.000
	60	20	1.000	1.000	1.000	1.000
	80	20	1.000	1.000	1.000	1.000
	40	25	0.865	1.000	1.000	1.000
	60	25	1.000	1.000	1.000	1.000
	80	25	1.000	1.000	1.000	1.000
<b>Σενάριο 2</b> (N <sub>cap</sub> =3)	40	5	0.529	0.743	0.733	0.670
	60	5	0.849	1.000	1.000	0.995
	80	5	1.000	1.000	1.000	1.000
	40	10	0.532	0.744	0.735	0.671
	60	10	0.852	1.000	1.000	0.997
	80	10	1.000	1.000	1.000	1.000
	40	15	0.534	0.746	0.736	0.672
	60	15	0.854	1.000	1.000	0.998
	80	15	1.000	1.000	1.000	1.000
	40	20	0.536	0.747	0.737	0.674
	60	20	0.857	1.000	1.000	1.000
	80	20	1.000	1.000	1.000	1.000
	40	25	0.539	0.749	0.739	0.676
	60	25	0.859	1.000	1.000	1.000
	80	25	1.000	1.000	1.000	1.000
<b>Σενάριο 3</b> (N <sub>cap</sub> =4)	40	5	0.359	0.522	0.515	0.470
	60	5	0.610	0.851	0.836	0.767
	80	5	0.849	1.000	1.000	0.995
	40	10	0.361	0.524	0.516	0.471
	60	10	0.611	0.853	0.837	0.768
	80	10	0.851	1.000	1.000	0.996
	40	15	0.363	0.525	0.517	0.472
	60	15	0.613	0.854	0.838	0.769
	80	15	0.853	1.000	1.000	0.997
	40	20	0.365	0.526	0.518	0.473
	60	20	0.615	0.855	0.839	0.770
	80	20	0.854	1.000	1.000	0.998
	40	25	0.367	0.527	0.519	0.474
	60	25	0.617	0.856	0.840	0.771
	80	25	0.857	1.000	1.000	0.999
40	30	0.368	0.528	0.519	0.474	
60	30	0.619	0.857	0.841	0.773	
80	30	0.858	1.000	1.000	1.000	

**Πίνακας 4.2 Συντελεστής αποδοτικότητας (%) του συστήματος για κάθε σενάριο, νήσος Νάξος**

	AREA	ΟΓΚΟΣ	Historic	RCP 2.5	RCP 4.6	RCP 8.5
<b>Σενάριο 1</b> (N <sub>cap</sub> =2)	40	5	0.196	0.515	0.487	0.462
	60	5	0.370	0.824	0.780	0.744
	80	5	0.550	0.994	0.997	1.000
	40	10	0.202	0.517	0.489	0.464
	60	10	0.374	0.826	0.782	0.746
	80	10	0.553	0.996	0.999	1.000
	40	15	0.206	0.518	0.491	0.466
	60	15	0.377	0.828	0.784	0.748
	80	15	0.557	0.998	1.000	1.000
	40	20	0.209	0.521	0.493	0.468
	60	20	0.381	0.830	0.786	0.750
	80	20	0.561	1.000	1.000	1.000
	40	25	0.212	0.523	0.495	0.470
	60	25	0.385	0.832	0.788	0.751
	80	25	0.564	1.000	1.000	1.000
40	30	0.217	0.525	0.497	0.473	
60	30	0.389	0.834	0.790	0.753	
80	30	0.568	1.000	1.000	1.000	
<b>Σενάριο 2</b> (N <sub>cap</sub> =3)	40	5	0.093	0.293	0.274	0.261
	60	5	0.195	0.514	0.486	0.462
	80	5	0.308	0.720	0.682	0.651
	40	10	0.097	0.295	0.276	0.263
	60	10	0.198	0.515	0.488	0.463
	80	10	0.312	0.722	0.683	0.652
	40	15	0.100	0.296	0.277	0.264
	60	15	0.202	0.517	0.489	0.464
	80	15	0.315	0.724	0.684	0.654
	40	20	0.103	0.297	0.279	0.265
	60	20	0.204	0.518	0.490	0.466
	80	20	0.317	0.725	0.685	0.655
	40	25	0.105	0.299	0.280	0.266
	60	25	0.207	0.519	0.491	0.467
	80	25	0.319	0.727	0.687	0.656
40	30	0.108	0.300	0.281	0.268	
60	30	0.209	0.521	0.493	0.468	
80	30	0.321	0.728	0.688	0.658	
<b>Σενάριο 3</b> (N <sub>cap</sub> =4)	40	5	0.052	0.179	0.165	0.162
	60	5	0.116	0.351	0.329	0.310
	80	5	0.194	0.514	0.486	0.461
	40	10	0.054	0.181	0.166	0.163
	60	10	0.118	0.352	0.330	0.311
	80	10	0.196	0.515	0.487	0.462
	40	15	0.057	0.182	0.167	0.164
	60	15	0.121	0.353	0.331	0.312
	80	15	0.199	0.516	0.488	0.463
	40	20	0.058	0.183	0.169	0.165
	60	20	0.123	0.354	0.332	0.313
	80	20	0.202	0.517	0.489	0.464
	40	25	0.061	0.185	0.170	0.166
	60	25	0.125	0.355	0.333	0.314
	80	25	0.204	0.518	0.490	0.465
40	30	0.063	0.185	0.171	0.167	
60	30	0.127	0.356	0.334	0.315	
80	30	0.206	0.518	0.491	0.466	

## 5 Συμπεράσματα

---

### 5.1 Σύνοψη

Με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας διερευνήθηκε η αποδοτικότητα ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων στην Κέρκυρα και τη Νάξο, μέσω της ανάπτυξης και εφαρμογής κατάλληλου ομοιώματος. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για να διαστασιολογηθούν οι ομβροδεξαμενές ήταν αυτή του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, όπου διερευνήθηκαν επιμέρους συνδυασμοί διάστασης ομβροδεξαμενής, επιφάνειας συλλογής και αριθμού μελών νοικοκυριού, βασιζόμενοι στα αντίστοιχα βροχομετρικά δεδομένα περιόδου 39 ετών για τις δύο περιοχές μελέτης.

Για την επίτευξη του στόχου, συλλέχθηκαν και μελετήθηκαν δεδομένα αναφορικά με τα κύρια χαρακτηριστικά των περιοχών, όπως τη γεωμορφολογία, τον πληθυσμό, το κλίμα και βάσει αυτών, σχηματίστηκαν σενάρια που αντικατοπτρίζουν τις ιδιαιτερότητες του κάθε νησιού. Στόχος της δημιουργίας των σεναρίων ήταν η μελέτη του συντελεστή αποδοτικότητα (απόδοσης) ή αξιοπιστίας (Re) που εκφράζει τον αριθμό των ημερών που το σύστημα καλύπτει τη ζήτηση-στόχο ως προς το σύνολο των ημερών προσομοίωσης.

Τα σενάρια που εξετάστηκαν αναλύονται ακολούθως.

Σενάριο 1: ποσοστό κάλυψης των αναγκών 30%, μέση ημερήσια κατανάλωση 180 L/κάτοικο/ημέρα, σταθερός αριθμός μελών κατοικίας  $N_{cap}= 2$ , μεταβαλλόμενος όγκος ομβροδεξαμενής ( $V_{tank}$ ) από 5 έως 30  $m^3$ , με βήμα 5  $m^3$ , και μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) από 40 έως 140  $m^2$ , με βήμα 20  $m^2$ .

Σενάριο 2: ποσοστό κάλυψης των αναγκών 30%, μέση ημερήσια κατανάλωση 180 L/κάτοικο/ημέρα, σταθερός αριθμός μελών κατοικίας  $N_{cap}= 3$ , μεταβαλλόμενος όγκος ομβροδεξαμενής ( $V_{tank}$ ) από 5 έως 30  $m^3$ , με βήμα 5  $m^3$ , και μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) από 40 έως 140  $m^2$ , με βήμα 20  $m^2$ .

Σενάριο 3: ποσοστό κάλυψης των αναγκών 30%, μέση ημερήσια κατανάλωση 180 L/κάτοικο/ημέρα, σταθερός αριθμός μελών κατοικίας  $N_{cap}= 4$ , μεταβαλλόμενος όγκος ομβροδεξαμενής ( $V_{tank}$ ) από 5 έως 30  $m^3$ , με βήμα 5  $m^3$ , και μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής (A) από 40 έως 140  $m^2$ , με βήμα 20  $m^2$ .

Με την εξαγωγή των αποτελεσμάτων και τη δημιουργία των αντίστοιχων γραφημάτων, για κάθε σενάριο έγινε συγκριτική μελέτη μεταξύ των περιοχών μελέτης.

Τέλος, διερευνήθηκε η μεταβολή του συντελεστή αποδοτικότητας υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής, και συγκεκριμένα εξετάστηκαν τρία σενάρια για τους ως άνω συνδυασμούς, τα οποία πρακτικά αντιπροσωπεύονται από τρεις χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης, ενός ευμενούς, ενός μέσου και ενός δυσμενούς σεναρίου (rcp26, rcp45 και rcp85). Καθώς η εκτίμηση και για τις δύο περιοχές συνδέεται με αυξητική τάση για την εν λόγω κλιματική παράμετρο, η συγκεκριμένη διερεύνηση έδειξε αύξηση του συντελεστή αποδοτικότητας που σε πολλές περιπτώσεις έλαβε τη μέγιστη δυνατή τιμή.

## 5.2 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην εργασία, συμπεραίνεται ότι η χρήση δεξαμενών που συλλέγουν το νερό της βροχής, με σκοπό την επιμέρους κάλυψη των αναγκών σε μια οικία είναι σημαντικά αποδοτική στο νησί της Κέρκυρας, δεν ισχύει το ίδιο όμως και στη Νάξο. Το βασικό, αυτό συμπέρασμα κρίθηκε αναμενόμενο, καθώς οι βροχοπτώσεις στην πρώτη είναι συχνές, με μεγάλη διάρκεια και ένταση, ενώ στη δεύτερη δε συμβαίνει το ίδιο. Μεγάλο ρόλο στη διαφοροποίηση αυτή κατέχει η γεωγραφική τους θέση. Από τα σενάρια που εξετάστηκαν εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα.

- Σενάριο 1: Η τιμή της ημερήσιας κατανάλωσης ( $q$ ) ορίστηκε ίση με 180 L/κάτοικο/ημέρα, με ποσοστό κάλυψης αναγκών ( $p$ ) 30% και τα άτομα που διαμένουν στην κατοικία ( $N_{cap}$ ) να είναι 2. Η αποδοτικότητα του συστήματος μελετάται συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής ομβρίων ( $A$ ) και του όγκου ομβροδεξαμενής ( $V_{tank}$ ). Η επιφάνεια συλλογής θεωρήθηκε από 40 έως 140 m<sup>2</sup> και ο όγκος από 5 έως 30 m<sup>3</sup>. Η απόδοση του συστήματος, στην Κέρκυρα κυμαίνεται από 85 έως 100%, ενώ στη Νάξο από 20 έως 100%. Όταν η επιφάνεια συλλογής ( $A$ ) παίρνει τιμές από 40 έως 60 m<sup>2</sup>, παρατηρείται απότομη αύξηση της αξιοπιστίας για κάθε όγκο ομβροδεξαμενής που μελετήθηκε. Ακόμη, το σύστημα καταφέρνει να φτάσει στη μέγιστη απόδοση, δηλαδή 100% και στις δύο περιοχές, για επιφάνειες από 60 έως 140 m<sup>2</sup> και για όγκους από 5 έως 30 m<sup>3</sup>, δηλαδή τους διαθέσιμους προς μελέτη.

- Σενάριο 2: Η τιμή ημερήσιας κατανάλωσης ( $q$ ) και το ποσοστό κάλυψης ( $p$ ) παρέμειναν ίδια, όμως τα μέλη της οικίας ( $N_{cap}$ ) αυξήθηκαν σε 3 και διερευνήθηκε η

αποδοτικότητα του συστήματος, με μεταβαλλόμενα τα μεγέθη της επιφάνειας συλλογής (A) και τον όγκο της ομβροδεξαμενής ( $V_{\text{tank}}$ ). Το συμπέρασμα που εξάγεται από τη μελέτη του παρόντος σεναρίου είναι ότι ένα τέτοιο σύστημα στην Κέρκυρα καταφέρνει πάλι να αποδώσει στο μέγιστο δυνατό. Αυτό επιτυγχάνεται σε επιφάνεια συλλογής ίση με  $80 \text{ m}^2$ , όταν ακόμα ο όγκος έχει στη ελάχιστη τιμή. Άρα, το σύστημα δεν επηρεάζεται αισθητά από την αύξηση των μελών, συνεπώς και των αυξημένων αναγκών τους. Αντίθετα στη Νάξο, το σύστημα δεν ανταποκρίνεται με τον ίδιο τρόπο, αφού η μέγιστη απόδοση που δίνει είναι κοντά στο 70%, ακόμα και στη μέγιστη ορισμένη επιφάνεια συλλογής, αλλά και τον όγκο.

- Σενάριο 3: Η τιμή ημερήσιας κατανάλωσης (q) και το ποσοστό κάλυψης (p) παρέμειναν ίδια, αλλά τα μέλη της οικίας ( $N_{\text{cap}}$ ) αυξήθηκαν σε 4. Και σε αυτό το σενάριο διερευνήθηκε η αποδοτικότητα του συστήματος, με μεταβαλλόμενα τα μεγέθη της επιφάνειας συλλογής (A) και τον όγκο της ομβροδεξαμενής ( $V_{\text{tank}}$ ). Το σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων στην Κέρκυρα, όπως και στα προηγούμενα σενάριο, αποδίδει στο 100% για την ικανοποίηση των αναγκών των μελών της οικογένειας στην οικία. Η τιμή διακρίνεται σε επιφάνεια συλλογής μεγαλύτερη από  $100 \text{ m}^2$  και για όλους τους όγκους, από 5 έως και  $30 \text{ m}^3$ . Από την άλλη πλευρά, στη Νάξο, ένα σύστημα με τις παραπάνω προδιαγραφές αποδίδει σε πολύ χαμηλό βαθμό και συγκεκριμένα μόλις στο 47%, όταν η επιφάνεια συλλογής είναι η μέγιστη δυνατή ( $140 \text{ m}^2$ ) και ο όγκος ( $30 \text{ m}^3$ ), επίσης.

Από τα Σενάριο 2 και 3 – κυρίως – γίνεται αντιληπτό ότι, ο αριθμός των ατόμων που μένουν σε μια κατοικία παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση ενός συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

Ενδεικτικά με βάση τους συνδυασμούς που εξετάστηκαν, η επιλογή του κατάλληλου όγκου δεξαμενής θα πρέπει να γίνεται με βάση τον επιθυμητό συντελεστή αποδοτικότητας. Για πλήρη κάλυψη της ζήτησης-στόχου, σε ορισμένα σενάρια η μέγιστη διάσταση δεξαμενής που εξετάστηκε (με τεχνικό περιορισμό τα  $30 \text{ m}^3$ ) δε δύναται να επιτύχει το στόχο, ιδίως όταν η επιφάνεια συλλογής βρόχινου νερού είναι μικρή, και άρα ο όγκος της εισροής περιορισμένος. Συμπερασματικά, ένα σύστημα συλλογής όμβριων υδάτων, δεδομένων των ανωτέρω χαρακτηριστικών, στην Κέρκυρα αποδεικνύεται πολύ πιο αποτελεσματικό σε σχέση με τη Νάξο, κάτι που βασίζεται στο διαφορετικό βροχομετρικό καθεστώς των δύο περιοχών και που εμφανίζει συστηματικότητα, κατόπιν και της πρόσθετης διερεύνησης που πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη σενάρια κλιματικής αλλαγής.



### **5.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα**

Το πρόβλημα στη ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση των υδάτων είναι σε παγκόσμια κλίμακα και η αντιμετώπισή της πρέπει να είναι άμεση και ουσιώδης, ιδίως σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από υδατική ανεπάρκεια.

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι στα νησιά της Ελλάδας που στην πλειοψηφία τους χαρακτηρίζονται από υδατικό έλλειμμα, κατά τους θερινούς μήνες η κατάσταση επιδεινώνεται καθώς η ζήτηση σε νερό είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με την χειμερινή περίοδο, λόγω του τουρισμού. Μερική λύση στο πρόβλημα θα μπορούσε να δώσει η εφαρμογή ανάλογων οικιακών (ή τοπικών) συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων, και για το λόγο αυτό προτείνεται περαιτέρω διερεύνηση εξετάζοντας μια σειρά από διαφορετικές παραμέτρους. Ενδεικτικά προτείνεται η προσομοίωση με μεταβαλλόμενη τιμή για την ημερήσια ζήτηση σε νερό (π.χ., διαφορετική για το χειμώνα και το καλοκαίρι). Βασική παράμετρος σε αυτή τη διαφοροποίηση θα μπορούσε να είναι ο αριθμός των ατόμων προς εξυπηρέτηση, όπως και η θερμοκρασία (που διαφοροποιεί τις κατά κεφαλήν ημερήσιες ανάγκες). Ακόμα, προτείνεται η βαθύτερη διερεύνηση σεναρίων κλιματικής αλλαγής, συναξιολογώντας και εκείνα που εκτιμούν αρνητική τάση στις βροχοπτώσεις. Αναφορικά με τη χωρική κλίμακα εφαρμογής, θα είχε ενδιαφέρον η συγκριτική διερεύνηση τέτοιων συστημάτων που εφαρμόζονται σε κλίμακα οικίας αλλά και οικοδομικού τετραγώνου, με μια πρόσθετη ανάλυση από οικονομική σκοπιά.

## Βιβλιογραφία

---

### Ελληνική

- Ευελπίδου, Ν. (2001). Γεωμορφολογικές και Περιβαλλοντικές παρατηρήσεις στη νήσο Νάξο, με τη χρησιμοποίηση μεθόδων τηλεανίχνευσης και G.I.S. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- Κουμουρά, Κ. (2016). Ανάλυση αβεβαιότητας στη διαστασιολόγηση δεξαμενών ομβρίων υδάτων για τη νήσο Κίμωλο. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Κυπραίου, Ε. (2018). Διερεύνηση της επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις κυματικές συνθήκες και την υδροδυναμική κυκλοφορία του κορινθιακού κόλπου. Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Κυριαζοπούλου, Ι.-Μ. (2012). Αποτελέσματα έργου ΕΓΥ για την κατάρτιση προγράμματος μέτρων και θεσμικού πλαισίου για την κατ' οίκον εξοικονόμηση νερού. Ημερίδα: Εξοικονόμηση νερού – Μια σύγχρονη πρόκληση εν όψει της κλιματικής αλλαγής, 13 Ιανουαρίου 2012, Αθήνα.
- Λόντρα, Π. (2014). Διαστασιολόγηση δεξαμενών όμβριων υδάτων στην Ελλάδα για αστική χρήση. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μουζακίτης, Α. (2009). Υδρολογική – Περιβαλλοντική μελέτη της ευρύτερης περιοχής της Βόρειας Κέρκυρας. Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Προμπονά, Α. (2006). Μελέτη των υδατικών πόρων της νήσου Νάξου. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- Ταλλάρου, Μ. (2015). Τεχνικές και Τεχνολογίες συλλογής και επαναχρησιμοποίησης βρόχινου νερού. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- Τζιώτης, Α. (2006). Φιλώτι Νάξου. Αθήνα, 2006.

Χαρδαλιά, Θ. (2018). Ανάλυση αξιοπιστίας κάλυψης αστικής ζήτησης νερού με χρήση ομβροδεξαμενών στη νήσο Πάτμο. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

## Αγγλική

Abdulla, F. A., & Al-Shareef, A. W. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, 243(1-3), 195-207.

Antoniou, G., Xarchakou, R., & Angelakis, A. N. (2006, October). Water cistern systems in Greece from Minoan to Hellenistic period. In *Proceedings of 1st IWA International Symposium on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations*, National Foundation for Agricultural Research, Institute of Iraklion, Iraklion, Greece (pp. 28-30).

Basinger, M., Montalto, F., & Lall, U. (2010). A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. *Journal of Hydrology*, 392(3-4), 105-118.

Bitis, I. (2013). Water supply methods in Ancient Thera: the case of the sanctuary of Apollo Karneios. *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(3), 638-645.

Campisano, A., & Modica, C. (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, 63, 9-16.

Chang, N. B., Rivera, B. J., & Wanielista, M. P. (2011). Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties. *Journal of Cleaner Production*, 19(11), 1180-1188.

Cowden, J. R., Watkins Jr, D. W., & Mihelcic, J. R. (2008). Stochastic rainfall modeling in West Africa: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment. *Journal of Hydrology*, 361(1-2), 64-77.

Fewkes, A. (2000). Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach. *Urban water*, 1(4), 323-333.

- Ghisi E. and Ferreira D.F. (2007). Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-story residential building in southern Brazil. *Building and Environment*, 42(4), 2512-22.
- Guo, Y., & Baetz, B. W. (2007). Sizing of rainwater storage units for green building applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(2), 197-205.
- Imteaz, M. A., Shanableh, A., Rahman, A., & Ahsan, A. (2011). Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 1022-1029.
- I.P.C.C., 2014. Adaptation and Vulnerability, IPCC WGII AR5 Summary for Policymakers.
- Kinkade-Levario, H. (2007). Design for water: rainwater harvesting, stormwater catchment, and alternate water reuse. New society publishers.
- Lee, K. T., Lee, C. D., Yang, M. S., & Yu, C. C. (2000). SW—soil and water: probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems. *Journal of agricultural engineering research*, 77(3), 343-348.
- Londra, P. A., Theocharis, A. T., Baltas, E., & Tsihrintzis, V. A. (2015). Optimal sizing of rainwater harvesting tanks for domestic use in Greece. *Water resources management*, 29(12), 4357-4377.
- Mays, L. (Ed.). (2010). *Ancient water technologies*. Springer Science & Business Media.
- Mitchell, V. G. (2007). How important is the selection of computational analysis method to the accuracy of rainwater tank behaviour modelling?. *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(21), 2850-2861.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., Van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T. and Meehl, G.A., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), pp.747-756.

- Palla, A., Gnecco, I., & Lanza, L. G. (2011). Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. *Journal of Hydrology*, 401(1-2), 65-76.
- Su, M. D., Lin, C. H., Chang, L. F., Kang, J. L., & Lin, M. C. (2009). A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(7), 393-399.
- Tsihrintzis, V., & Baltas, E. (2013, September). Sizing of rainwater harvesting tank for in-house water supply. In 13th International Conference on Environmental Science and Technology, Athens, Greece (pp. 5-7).
- Tsubo, M., Walker, S., & Hensley, M. (2005). Quantifying risk for water harvesting under semi-arid conditions: Part I. Rainfall intensity generation. *Agricultural water management*, 76(2), 77-93.
- U. N. E. P. (2009). Rainwater harvesting: A lifeline for human well-being.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F. and Masui, T., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109(1), pp.5-31.
- Villarreal, E. L., & Dixon, A. (2005). Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40(9), 1174-1184.
- Ward, S., Memon, F. A., & Butler, D. (2010). Rainwater harvesting: model-based design evaluation. *Water Science and Technology*, 61(1), 85-96.
- Zhou, Y. C., Shao, W. Y., & Zhang, T. Q. (2010). Analysis of a rainwater harvesting system for domestic water supply in Zhoushan, China. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 11(5), 342-348.

## Ιστότοποι

[dlib.statistics.gr/Book/GRESYE\\_02\\_0101\\_00059.pdf](http://dlib.statistics.gr/Book/GRESYE_02_0101_00059.pdf) (Accessed November 2020)

<https://e-naxos.eu/wp-content/uploads/2016/01/381.pdf> Απόσπασμα πρακτικού συνεδρίασης  
Δημοτικού Συμβουλίου Νάξου & Μικρών Κυκλάδων (Accessed February 2021)

[www.capital.gr](http://www.capital.gr) (2010) «Coca-Cola 3E: Συστήματα συλλογής βρόχινου νερού» (Accessed  
February 2021)

[www.deya-ker.gr/exypiretisi/timologisi-ypiresion.html](http://www.deya-ker.gr/exypiretisi/timologisi-ypiresion.html) Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και  
Αποχέτευσης Κέρκυρας (Accessed February 2021)

[www.google.com/earth/](http://www.google.com/earth/) (Accessed December 2020)

[www.naftemporiki.gr](http://www.naftemporiki.gr) (2018) «Τροποποιημένη άμμος για τη μετατροπή όμβριων υδάτων σε  
πόσιμο νερό» (Accessed February 2021)

[www.statistics.gr/](http://www.statistics.gr/) Ελληνική Στατιστική Αρχή (Accessed November 2020)