



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

«ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ
ΖΗΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΟΜΒΡΟΛΕΞΑΜΕΝΩΝ
ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΠΑΤΜΟ»

Θεοδώρα Χαρδαλιά

Επιβλέπων: Ε. Μπαλτάς, Καθηγητής

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ
ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, Οκτώβριος 2018

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Καθηγητή κ. Ευάγγελο Μπαλτά για την ανάθεση του θέματος. Επιπλέον, για την καθοδήγησή του και την άριστη συνεργασία μας καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής της.

Παράλληλα, ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής: κ. Α. Νάνου, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ, και κ. Β. Τσιχριντζή, Καθηγητή ΕΜΠ, για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στην Ελισσάβετ Φελώνη, Υποψήφια Διδάκτορα ΕΜΠ, για τη συμπαράσταση και τη στήριξη που μου παρείχε, καθώς και για την πολύτιμη βοήθειά της και την ουσιαστική συμβολή της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την στήριξη που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Οκτώβριος 2018

Χαρδαλιά Θεοδώρα

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	iv
Περίληψη.....	viii
Extended abstract	ix
Introduction	ix
Study area.....	ix
Methodology - Development of the Daily water balance model and Sizing of rainwater harvesting tank	xi
Results and Discussion.....	xiii
Conclusions	xxvii
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Το πρόβλημα των υδατικών πόρων	1
1.2 Αντικείμενο της εργασίας.....	1
1.3 Διάρθρωση.....	2
2 Περιοχή μελέτης.....	3
2.1 Επιλογή περιοχής.....	3
2.2 Περιγραφή περιοχής – Γενικά στοιχεία.....	3
2.3 Κλιματικά χαρακτηριστικά.....	5
2.4 Πληθυσμιακά και δημογραφικά στοιχεία.....	5
2.5 Ύδρευση στην Πάτμο.....	11
2.6 Γεωγραφία και γεωλογία περιοχής.....	15
2.7 Η εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ στη νήσο Πάτμο	16
3 Μεθοδολογία και ανάλυση δεδομένων	23
3.1 Συνοπτική περιγραφή μεθοδολογικού πλαισίου	23
3.2 Δεδομένα Βροχόπτωσης.....	24

3.3	Ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλου οικιακής ομβροδεξαμενής.....	25
3.3.1	Γενικά.....	25
3.3.2	Συλλογή ομβρίων υδάτων στην Ελλάδα.....	27
3.3.3	Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα.....	29
3.3.4	Διάταξη συστήματος συλλογής ομβρίων.....	31
3.4	Μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (daily water balance model).....	37
3.4.1	Προσδιορισμός συλλεγόμενου όγκου ομβρίων υδάτων.....	38
3.4.2	Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης.....	38
3.4.3	Διαστασιολόγηση όγκου ομβροδεξαμενής.....	39
3.4.4	Συντελεστής αποδοτικότητας (Re).....	41
3.4.5	Σενάρια προσομοίωσης.....	41
4	Αποτελέσματα - Συζήτηση.....	43
4.1	Εφαρμογή του μοντέλου για την περίοδο 2007-2017 σε τυπική οικία.....	43
4.2	Διερεύνηση αξιοπιστίας συστήματος Ο/Δ για επιμέρους σενάρια.....	48
4.2.1	Σενάριο 1.....	48
4.2.2	Σενάριο 2.....	52
4.2.3	Σενάριο 3.....	57
4.3	Σύγκριση αποτελεσμάτων σε σχέση με άλλα νησιά του Αιγαίου.....	59
4.3.1	Σύγκριση με τα αποτελέσματα για τη νήσο Κίμωλο.....	59
4.3.2	Σύγκριση με τα αποτελέσματα για τη νήσο Θήρα.....	61
5	Συμπεράσματα – Σύνοψη και Μελλοντική έρευνα.....	66
5.1	Σύνοψη.....	66
5.2	Συμπεράσματα.....	68
5.2.1	Σενάριο 1.....	68
5.2.2	Σενάριο 2.....	70

5.2.3	Σενάριο 3	72
5.2.4	Σύγκριση με άλλα νησιά	73
5.3	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	75
	Βιβλιογραφία.....	77

Περίληψη

Η ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των αποθεμάτων γλυκού νερού στον πλανήτη έχει διαμορφώσει την ανάγκη αποτελεσματικής διαχείρισης και αξιοποίησης των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Τα όμβρια ύδατα παραδοσιακά συλλέγονται, αποθηκεύονται και αξιοποιούνται εδώ και χιλιάδες χρόνια, παράγοντας οικονομικό και περιβαλλοντικό όφελος. Τα συστήματα συλλογής ομβρίων υδάτων είναι μια πρόταση για την αντιμετώπιση του προβλήματος της έλλειψης επάρκειας υδατικών πόρων.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε ένα μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου με σκοπό την ανάλυση αξιοπιστίας κάλυψης αστικής ζήτησης νερού στη νήσο Πάτμο, σε επίπεδο οικίας. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η αποδοτικότητα του συστήματος για διάφορα σενάρια, σε συνάρτηση με την επιφάνεια συλλογής, τον όγκο της δεξαμενής ομβρίων, την ημερήσια κατανάλωση, το ποσοστό χρήσης και των αριθμό των μελών της κατοικίας με βάση τα διαθέσιμα στατιστικά στοιχεία για το νησί. Τέλος, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων του συστήματος της παρούσας εργασίας με αντίστοιχα μεγέθη για τα νησιά Κίμωλος και Θήρα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν, ένα σύστημα συλλογής ομβρίων στη νήσο Πάτμο αναμένεται να είναι ιδιαίτερα αποδοτικό, ειδικά λαμβάνοντας υπόψη και το γεγονός ότι η μείωση του οικονομικού και περιβαλλοντικού κόστους, όπως και του κόστους φυσικού πόρου θα είναι ανάμεσα στα οφέλη που θα προκύψουν από την ανάπτυξη και λειτουργία του εν λόγω συστήματος. Ανάλογες εφαρμογές μπορούν να συμβάλλουν αφενός στον ορθολογικό σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων και αφετέρου στην αξιολόγηση και επέκταση των υφιστάμενων.

Λέξεις κλειδιά: υδατικοί πόροι, όμβρια ύδατα, σύστημα συλλογής ομβρίων υδάτων, μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, αστική ζήτηση, ημερήσια κατανάλωση, αποδοτικότητα, άνυδρα νησιά.

Introduction

In Greece, like in many other countries of the world, there is a water resources inefficiency problem. This problem does not only concern to the total and finite amount of water, but also to the geographical and seasonal distribution. The water availability is affected by the local needs and its uses. The water resources display variations in space and time, leading to the need of an integrated management in order to achieve sustainability.

The modern era living conditions add to the constantly growing problem of water inefficiency. Globally, the need for water use is increasing, while the water supplies are reduced. The climate change and the scaling up of population, are both factors that cannot be disregarded in water resources analysis.

The continuous rise in water needs, gradually leads to the degradation of the natural habitat, especially in periods of drought. The utilization of rain water can add to the solution of the water inefficiency problem.

Rain water harvesting (RWH) is a term used to describe the multiple techniques applied to the utilization of rainwater. In order to deal with water deficiency, RWH systems are developed. These type of systems appear to have durability in time and adaptation to the special hydrogeological and climatic needs of the studied area.

Key words: water resources, water inefficiency, water supplies, climate change, water resources analysis, drought, rain water harvesting (RWH), anhydrous islands

Study area

Patmos is located in the Aegean Sea and lies on the south of the island group of Dodecanese. It is one of the many islands that face the problem of water shortage in Greece. The population of the island is currently 3477 people, but this number increases during the summer months due to the tourism. The deficit of the water resources is a crucial subject for the area, so the island of Patmos was selected to investigate the reliability of a rainwater

harvesting system (RHS) in order to save water for uses such as laundry facilities and irrigation.

The scarcity of water resources in Patmos seems to be a result of many factors. One of the main reasons is the climate conditions, as the average annual rainfall number is 536 mm. Also, its small surface does not allow the creation of large aquifers. Another reason for the condition of the water resources is the rough geological relief of the area. The movement of the water to the sea is a short procedure that does not favor the enrichment of the underground aquifers. Furthermore, the high average annual temperature and the amount of exposure to the sunlight strengthen the water evaporation.

Water demand is covered by many sources. Water boreholes provide an amount of water for irrigation. There is a dam located at the area of Livadi that provides water to cover an amount of the drinking and irrigation needs. There are also two desalinization units at the residential area of Skala that provide drinking water. Another way of covering the water demand of Patmos is by water transportation from the island of Rhodes. Specially formed ships transport the water needed, but this method has a huge cost to the state.

For all the above reasons, Patmos was selected to investigate how a rainwater harvesting system can solve or minimize the deficit of water especially during summer.

Regarding rainfall measurements, 10-min timeseries within the period 2007-2017, were obtained from the Meteorological station of Patmos, in order to produce the rainwater harvesting tank. In Figure 1, the rainfall data within the period 2007-2017 for Patmos Island are shown. The average rainfall per year is 536 mm, which indicates the low rainfall regime of the studied area.

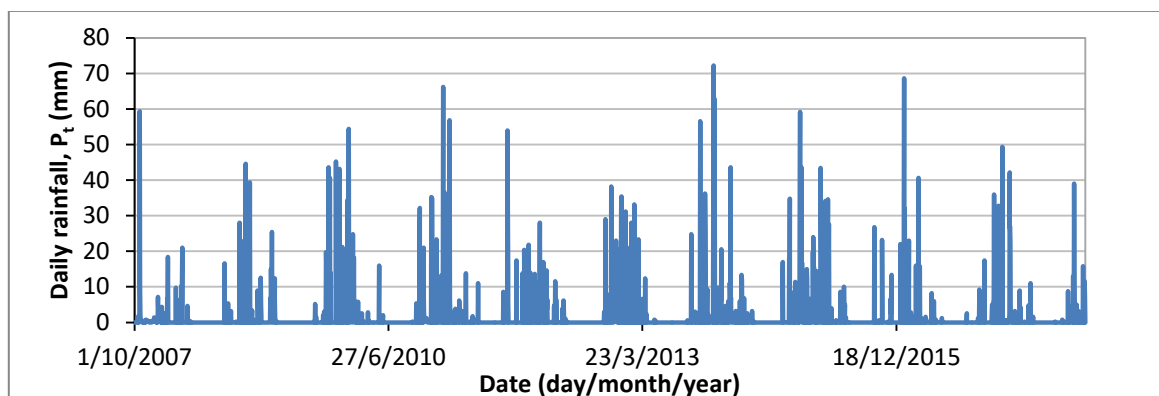


Figure 1 Historical daily rainfall data series for Patmos 2007-2017

Methodology - Development of the Daily water balance model and Sizing of rainwater harvesting tank

In the frame of this study, a daily water balance model was developed for the sizing of rainwater harvesting tank. The water balance equation used is given in Eq. (1) as:

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

Where:

S_t is 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_{tank} the capacity of rainwater tank (m^3).

The daily harvested rainwater volume (runoff), R_t (m^3), from a roof area is calculated as:

$$R_t = C \cdot A \cdot P_{eff,t} \quad (2)$$

Where:

C is the runoff coefficient

A is the rain collection area (m^2) and

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

In this study, the runoff coefficient is assumed equal to 0.9 and daily effective rainfall equal to daily rainfall minus first flush. Taking into account the report of Yaziz et al. (1989) on improving the quality of harvested rainwater from concentrations of dust, leaves and bird droppings in rain collection area, a first flush is assumed equal to 0.33 mm.

$$P_{eff,t} = P_t - 0,33 \text{ (mm)} \quad (3)$$

The daily water demand, D_t , of a household is calculated as:

$$D_t = 10^{-3} \cdot N_{cap} \cdot q \cdot (p/100) \quad (4)$$

Where:

N_{cap} is the number of residents (capita)

q is the daily water use per day and

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

The maximum value of p depends on mean annual rainfall, rainwater collection area size and number of residents served.

Taking into account the Eqs. (1) - (4) the daily rainwater stored volume is calculated as:

$$S_t = S_{t-1} + C \cdot A \cdot P_{eff,t} - N_{cap} \cdot q \cdot (p/100), \quad 0 \leq S_t - 1 \leq V_{tank} \quad (5)$$

The daily difference between runoff (inflow) and demand (outflow) is calculated using Eqs. (2) and (4) as follows:

$$\Delta S_t = C \cdot A \cdot P_{eff,t} - N_{cap} \cdot q \cdot (p/100) \quad (6)$$

Consequently, the Eq. (5) can be rewritten as:

$$S_t = S_{t-1} + \Delta S_t \quad (7)$$

The calculation is iterative and starts from an initial stored water volume $S_{t-1}=S_0$ at time $t=0$. The most conservative value of S_0 is $S_0=0$ for initially empty rainwater tank, the maximum value $S_0=V_{tank}$ for initially full rainwater tank, or any other value S_0 for partially full rainwater tank. In this study, was considered initially full rainwater tank.

To take into account the capacity of rainwater tank, V_{tank} , when calculating the daily stored water in the tank, the following heuristic algorithm can be used iteratively:

$$\begin{aligned}
& \text{if } (S_{t-1} + \Delta S_t) > V_{\text{tank}} \text{ then } S_{t,\text{tank}} = V_{\text{tank}} , \\
& \text{if } (S_{t-1} + \Delta S_t) < V_{\text{tank}} \text{ then } 0, \\
& \text{else } S_t = S_{t,\text{tank}} = S_{t-1} + \Delta S_t
\end{aligned} \tag{8}$$

Where:

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

The volume of water that overflows, O_t , from the tank when the tank is full can be calculated from the following algorithm:

$$\text{if } S_t \geq V_{\text{tank}} \text{ then } O_t = S_t - V_{\text{tank}}, \text{else } O_t = 0 \tag{9}$$

In the case that stored water volume in the tank, $S_{t,\text{tank}}$, is inadequate to meet the demand, D_t , then the demand will be satisfied, in parts or in whole, with water delivered from the public water supply, T_t , that can be calculated as follows:

$$\text{if } (S_t < D_t) \text{ then } T_t = D_t - S_{t,\text{tank}}, \text{else } T_t = 0 \tag{10}$$

Reliability coefficient (Re) is calculated as the percentage of days with water supply from the rainwater harvesting tank to the total amount of days that consist the rainwater time series which are used for dimensioning the rainwater harvesting system:

$$\text{Rc} = \frac{\sum(\text{days without tap water use})}{\sum(\text{days of total timespan})} \tag{11}$$

Results and Discussion

In order to investigate the reliability of the harvesting system, three scenarios were created. Each one of them is a combination of different number of residents, N_{cap} and rain collection area, A. To continue with, the results from the present analysis were compared to the results that came from respective studies for the islands of Kimolos and Thera. The scenarios are described below.

Scenario 1

At this case, the rainwater tank sizing was done using $p=35\%$, $q=180$ L/cap/day, in order to investigate system's reliability, by changing the collection area, A and rainwater tank volume, V_{tank} ($5-50$ m³). Four sub-scenarios were created for different number of residents, N_{cap} .

Scenario 1A: $N_{\text{cap}}=1$

Scenario 1B: $N_{\text{cap}}=2$

Scenario 1C: $N_{\text{cap}}=3$

Scenario 1D: $N_{\text{cap}}=4$

In figures 2-5 is presented the reliability coefficient Re for different range of roof area, A and rainwater volume tank, V_{tank} for each one of the sub-scenarios.

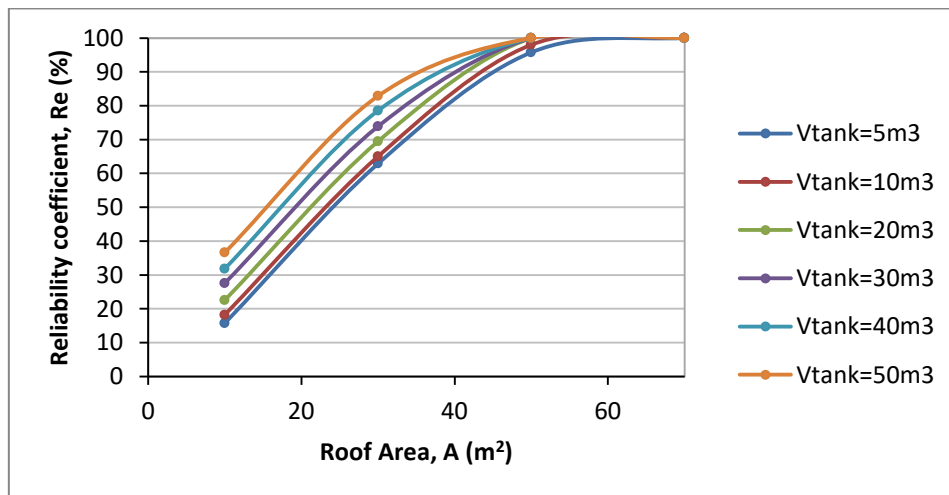


Figure 2 Reliability coefficient Re for different range of roof area A and rainwater volume tank V_{tank} for the Scenario 1A

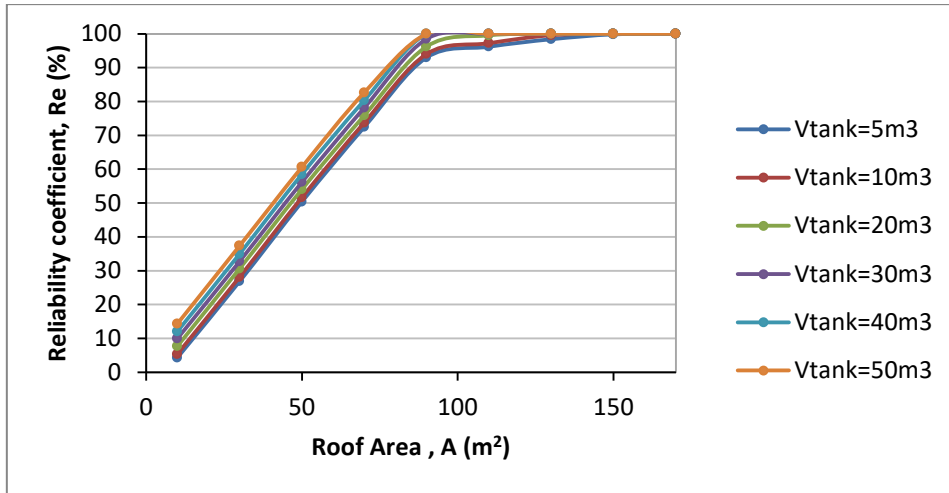


Figure 3 Reliability coefficient Re for different range of roof area A and rainwater volume tank V_{tank} for the Scenario 1B

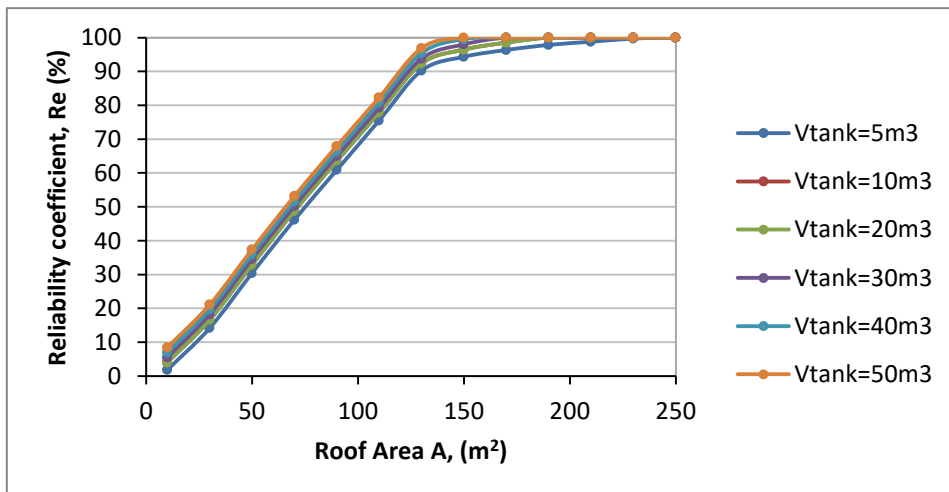


Figure 4 Reliability coefficient Re for different range of roof area A and rainwater volume tank V_{tank} for the Scenario 1C

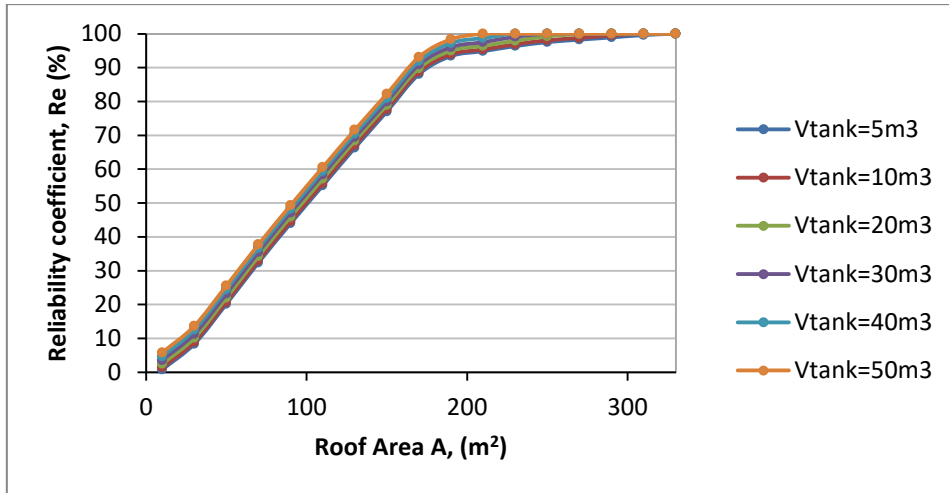


Figure 5 Reliability coefficient Re for different range of roof area A and rainwater volume tank V_{tank} for the Scenario 1D

The general aspect of all charts is that reliability increases as roof area goes larger and so does the rainwater tank volume. Also, by increasing the number of residents the smallest reliability that the system can succeed is getting smaller. Specifically, at the Scenario 1A the minimum reliability is 15%, while at the Scenario 1D it goes down at 1%. Another conclusion is that the increase in the number of residents, requires bigger roof area in order to be the system fully successful.

Scenario 2

At this case, the rainwater tank sizing was done using $p=35\%$ and variable values of daily water use, $q=150, 180, 200$ L/cap/day. The system's reliability is investigated by changing the collection area, A and rainwater tank volume, V_{tank} (5-50 m^3). Two sub-scenarios were created for different number of residents, N_{cap} .

Scenario 2A: $N_{\text{cap}}=2$

In figures 6-8 is presented the reliability coefficient Re for roof areas $A=30, 50, 70$ m^2 and rainwater volume tank V_{tank} for the sub-scenario 2A.

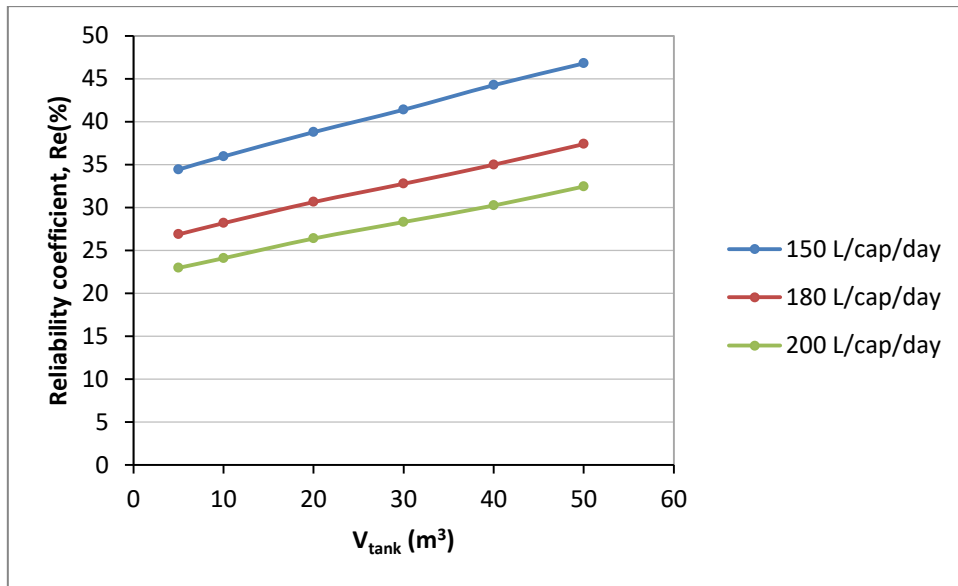


Figure 6 Reliability coefficient Re for different range of rainwater volume tank V_{tank} and daily use q for roof area $A=30 \text{ m}^2$

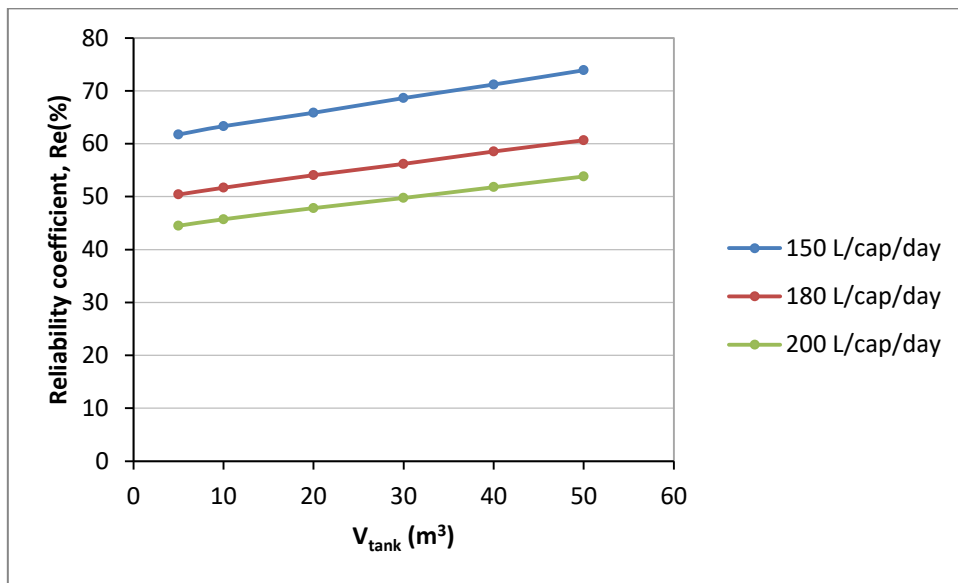


Figure 7 Reliability coefficient Re for different range of rainwater volume tank V_{tank} and daily use q for roof area $A=50 \text{ m}^2$

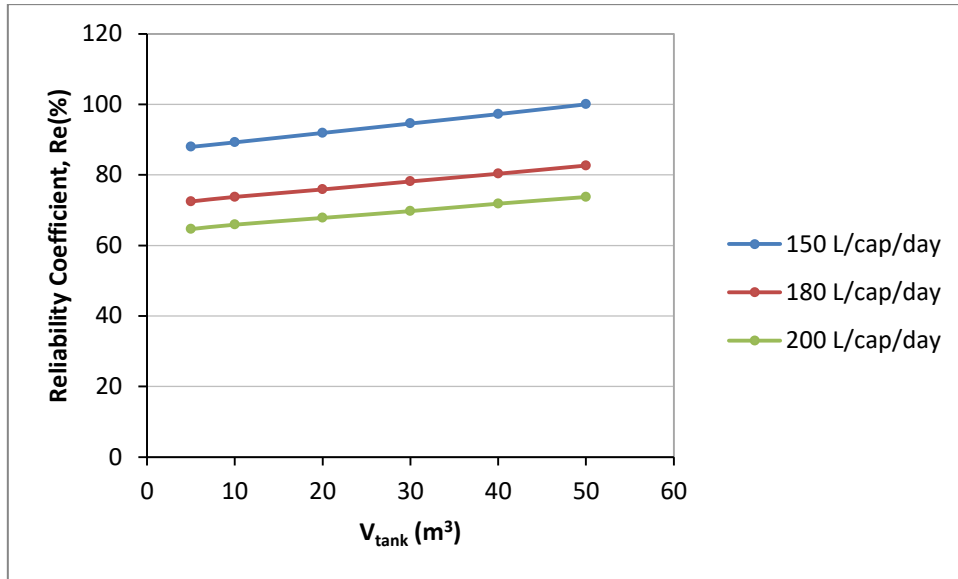


Figure 8 Reliability coefficient Re for different range of rainwater volume tank V_{tank} and daily use q for roof area $A=70 \text{ m}^2$

The general conclusion is that for daily use $q=150 \text{ L/cap/day}$, the system's reliability is bigger for all the examined rainwater volume tanks, V_{tank} and roof areas, A . The increase of the roof area from 30 to 50 m^2 , drives to a total increase in the reliability to 57% . A respective increase from 50 to 70 m^2 produces 35% greater reliability.

Scenario 2B: $N_{\text{cap}}=4$

At figures 9-11 is presented the reliability coefficient Re for different range of roof area, A and rainwater volume tank, V_{tank} for the sub-scenario 2B, where daily use q was considered 150 , 180 and 200 L/cap/day .

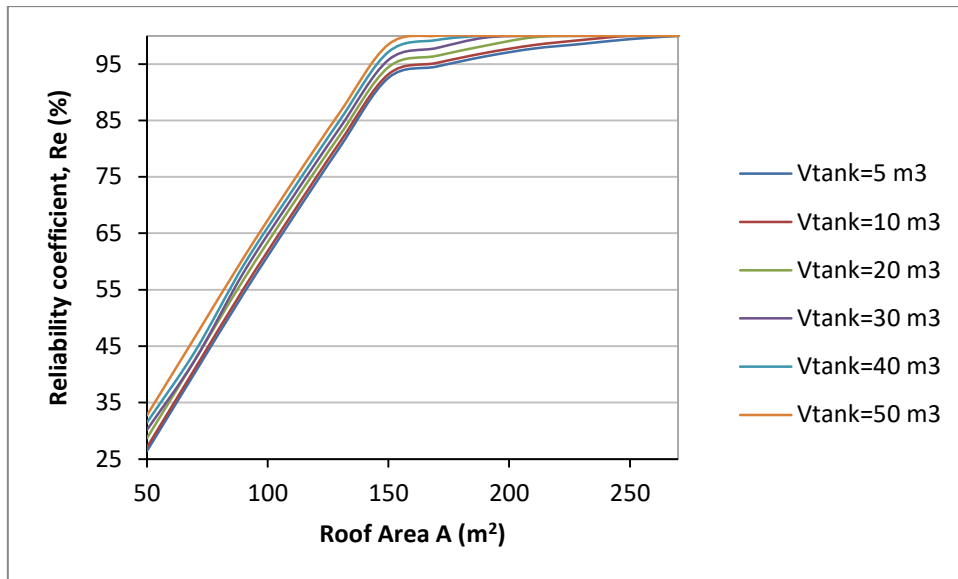


Figure 9 Reliability coefficient Re for different range of roof area A and rainwater volume tank V_{tank} for daily use $q=150$ L/cap/day

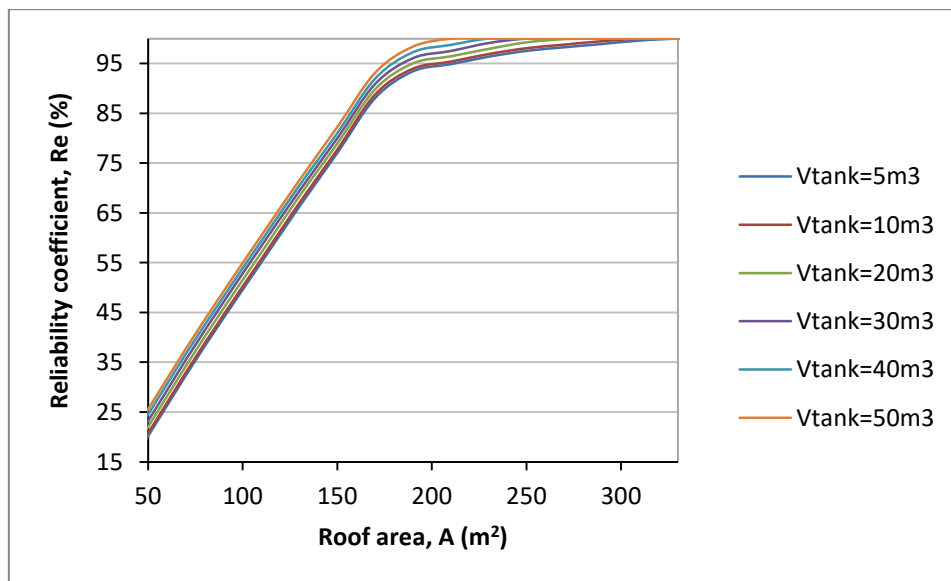


Figure 10 Reliability coefficient Re for different range of roof area A and rainwater volume tank V_{tank} for daily use $q=180$ L/cap/day

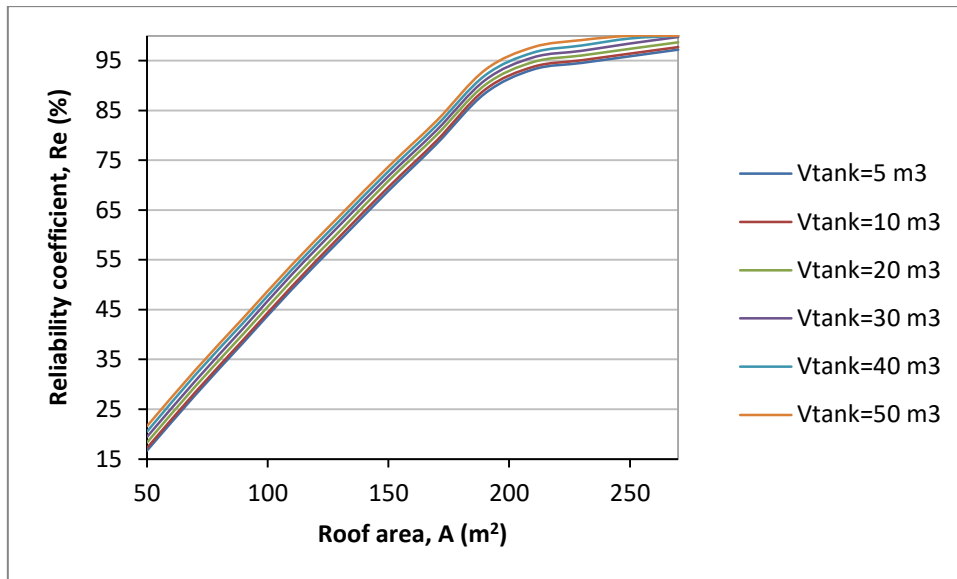


Figure 11 Reliability coefficient Re for different range of roof area A and rainwater volume tank V_{tank} for daily use $q=200$ L/cap/day

The conclusion that comes from using different amounts of daily use is that the minimum reliability that the system succeeds is greater when $q=150$ L/cap/day. By increasing the daily use to 180 L/cap/day, the system loses 30% of its reliability. A further increase to 200 L/cap/day drives the reliability to a decrease of 18%. This means that when the daily use is increasing, the system needs bigger roof area in order to succeed more.

Scenario 3

At this case, it was examined the relevance of the optimum percentage of water use as a function of the rainwater tank volume and the daily use rate in order to the system's fully success. Two sub-scenarios were created for different number of residents, N_{cap} and roof area, A .

Scenario 3A: $N_{cap}=2$ for a roof area $A=50$ m²

Scenario 3B: $N_{cap}=4$ for a roof area $A=90$ m²

At figures 12-13 is presented the optimum percentage of water use for $Re=100\%$ for each one of the sub-scenarios mentioned.

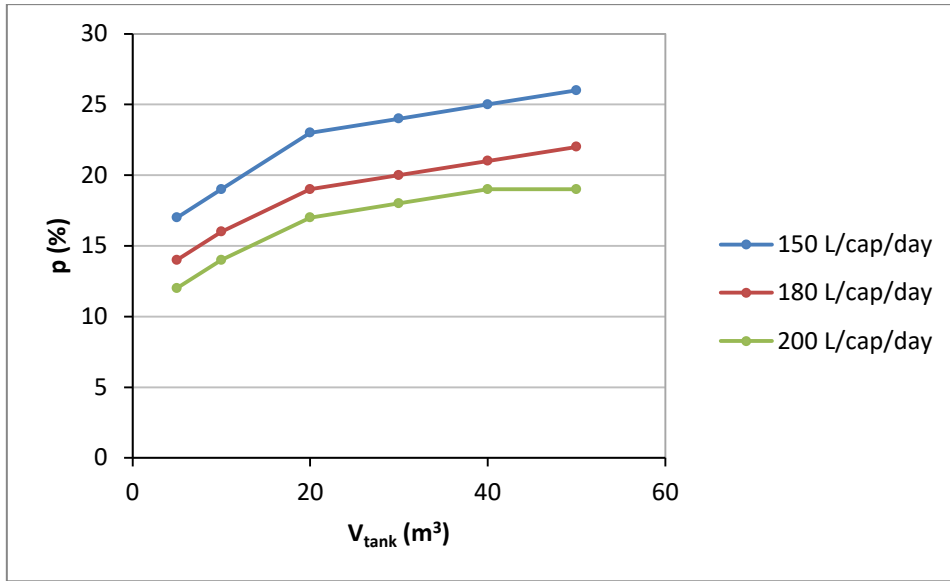


Figure 12 Optimum percentage of water use p as a function of the rainwater tank volume V_{tank} and the daily use q for $N_{\text{cap}}=2$ and roof area $A=50 \text{ m}^2$

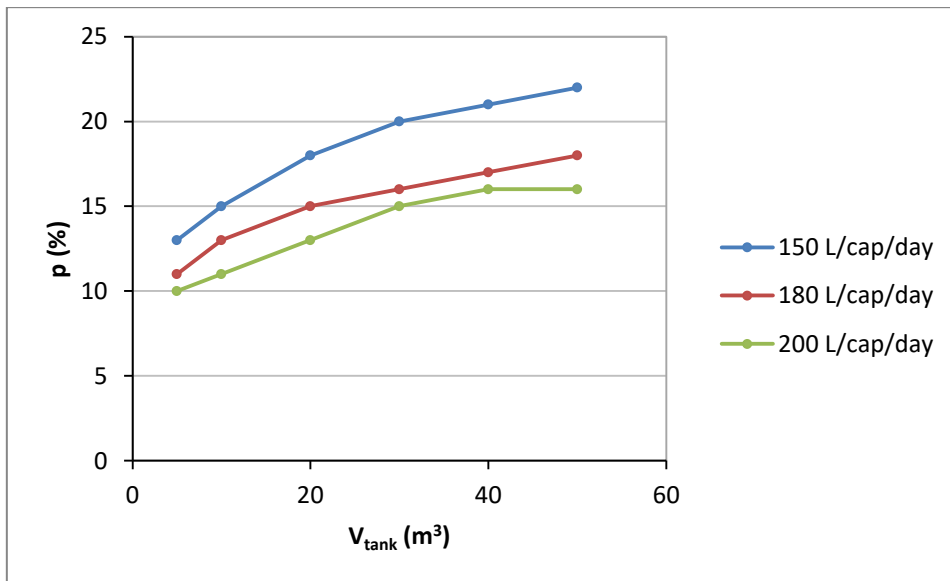


Figure 13 Optimum percentage of water use p as a function of the rainwater tank volume V_{tank} and the daily use q for $N_{\text{cap}}=4$ and roof area $A=90 \text{ m}^2$

The conclusion that comes from the study of the Scenario 3 is that by increasing the roof area for defined water tank volume, the system is capable of increasing the optimum percentage of water use. In the case of defined roof area and increasing water volume, the percentage of water use is not respectively increased.

The results from the present study are compared with the respective ones that were done for the islands of Kimolos and Thira.

Comparison with the rain harvesting system of Kimolos

The comparison is made for a Scenario that considers $N_{cap}=4$, $p=35\%$ and daily use $q=150L/cap/day$. The reference factor is the reliability coefficient, Re for different range of roof area, A .

In figure 14 is presented the reliability coefficient for different range of roof area and water tank volume examined for the island of Patmos and Kimolos.

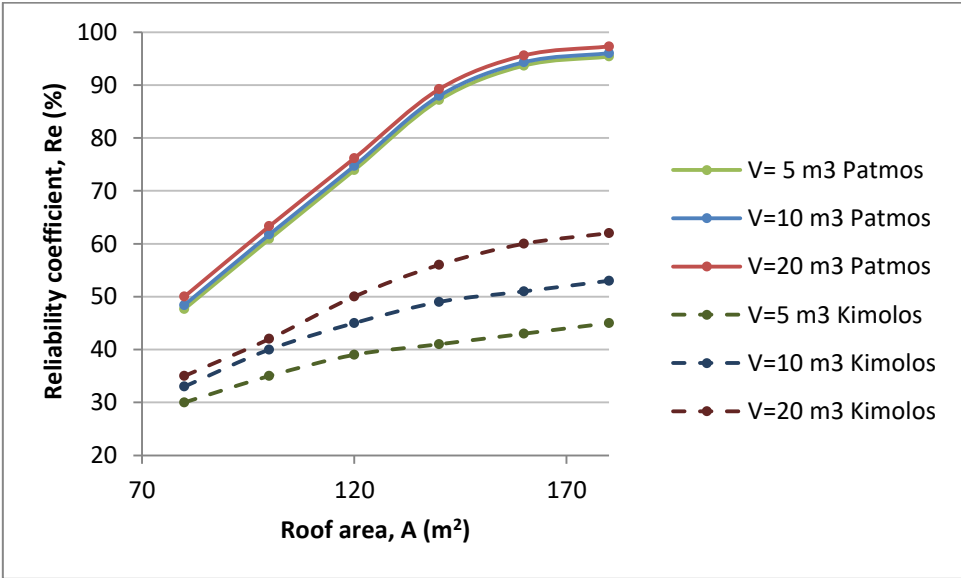


Figure 14 Reliability coefficient Re for different range of roof area A and water tank volume V_{tank} for $N_{cap}=4$, $p=35\%$ and $q=150 L/cap/day$

The system’s reliability in function with the different roof area and water tank volume has many differences between the two islands that were examined. The maximum reliability that the system reaches for Kimolos is 62%, while for Patmos the corresponding value is equal to 97%. Furthermore, particularly for the case of Patmos, it is observed that for the same increase in the roof area (values up to 160 m^2), a RHS in Patmos is systematically more efficient than one designed for Kimolos Island. However, considering higher values of roof area, both islands’ systems appear to succeed to a same rate. Indicatively, by changing the roof area from 100 to 120 m^2 and for a tank size equal to 10 m^3 , the HRS for Kimolos Island

is by 12.5% more efficient, while for the Patmos Island the increase in reliability is 21%. Finally, regarding the same comparison, the highest difference in the resulting reliability is observed for the combination of a collection area of 160 m² and a water tank of 5 m³; a HRS in Patmos is by far more efficient as reliability reaches 94% for this island compared to Kimolos, which is 43%.

Comparison with the rain harvesting system of Thera

The systems that were developed for the islands of Patmos and Thera, were studied for two cases of sizing the water tank. The data researches that are compared came from the daily water balance model and the dry period demand method.

Comparison with the daily water balance model

The comparison is made for $p=50\%$ and daily use $q=150, 200$ L/cap/day. The reference factor is the reliability coefficient, Re for different range of water tank volume, V_{tank} .

Two sub-scenarios were created, based on the following assumptions:

A: $N_{\text{cap}}=3$, $A=90$ m²

B: $N_{\text{cap}}=4$, $A=120$ m²

In figures 15-16 is presented the reliability coefficient for different range of water tank volume examined for the islands of Patmos and Thera applied to the sub-scenarios A, B.

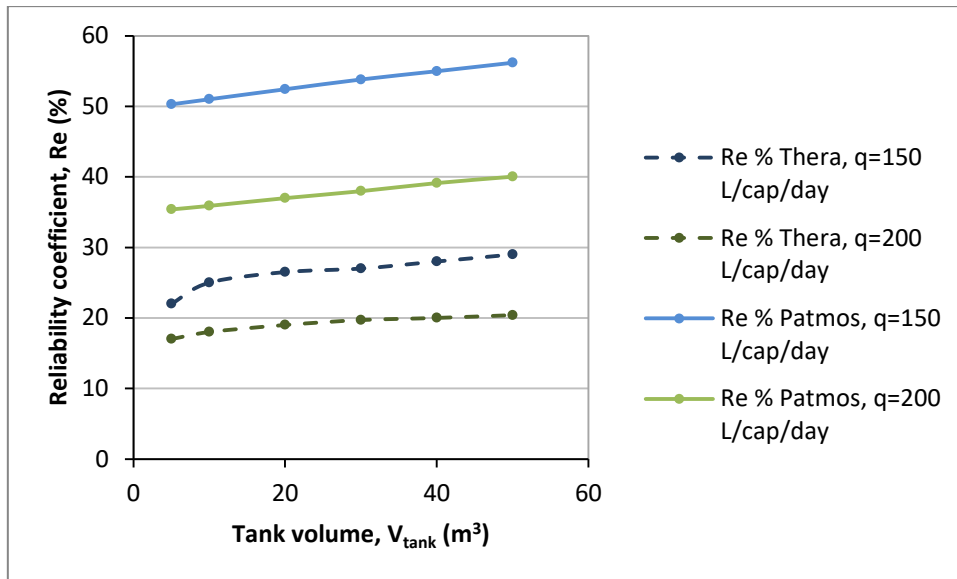


Figure 15 Reliability coefficient Re for different range of tank volume V_{tank} and water use q for the systems of Patmos and Thera (sub-scenario A)

The conclusion that comes from the study of sub-scenario A is that Patmos' system appears to be more efficient. The reliability range from 50 to 56% for daily use $q=150$ L/cap/day and water tank volume $V_{\text{tank}}=50$ m³. Regarding the same comparison, Thera's system efficiency range from 22 to 29%.

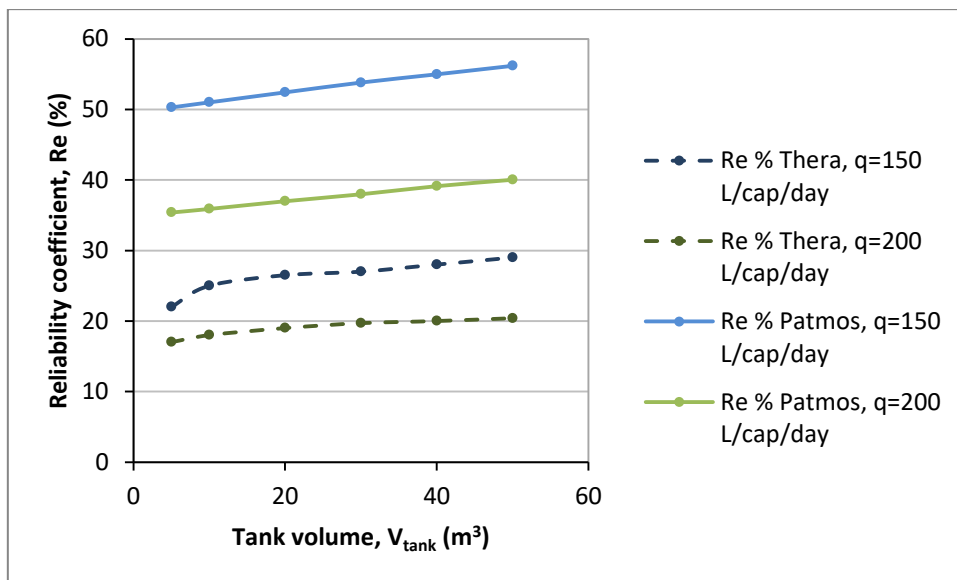


Figure 16 Reliability coefficient Re for different range of tank volume V_{tank} and water use q for the systems of Patmos and Thera (sub-scenario B)

Sub-scenario B led to the consumption that the function that applies both of the scenarios is similar to a great extent. Indicatively, considering daily use $q=200$ L/cap/day, Patmos' system reliability range from 35 to 39%, while for Thera's system the respective amount range from 18 to 20%.

Comparison with the dry period demand method

The comparison is made for $p=50\%$ and daily use $q=150, 200$ L/cap/day. The reference factor is the reliability coefficient, Re for different range of water tank volume, V_{tank} . The sizing method used for Thera's tank volume at this scenario is the dry period demand one. Two sub-scenarios were created, based on the following assumptions:

A: $N_{\text{cap}}=2, A=60 \text{ m}^2$

B: $N_{\text{cap}}=4, A=120 \text{ m}^2$

The results from the comparison made for the island of Patmos and Thera are shown on Table 1.

Table 1 Results from the comparison of Patmos and Thera

q=150 L/cap/day p=50%			
N _{cap} =2 A= 60 m ²		N _{cap} =4 A=120 m ²	
V _{tank} =30 m ³		V _{tank} =55 m ³	
<i>Thera (Preka, 2017)</i>	<i>Patmos</i>	<i>Thera (Preka, 2017)</i>	<i>Patmos</i>
Re=27.9	Re=55.6	Re=27.9	Re=55.1
q=180 L/cap/day p=50%			
N _{cap} =2 A= 60 m ²		N _{cap} =4 A=120 m ²	
V _{tank} =40 m ³		V _{tank} =70 m ³	
<i>Thera (Preka, 2017)</i>	<i>Patmos</i>	<i>Thera (Preka, 2017)</i>	<i>Patmos</i>
Re=23	Re=46.3	Re=23	Re=45.6
q=200 L/cap/day p=50%			
N _{cap} =2 A= 60 m ²		N _{cap} =4 A=120 m ²	
V _{tank} =45 m ³		V _{tank} =80 m ³	
<i>Thera (Preka, 2017)</i>	<i>Patmos</i>	<i>Thera (Preka, 2017)</i>	<i>Patmos</i>
Re=20.4	Re=41.6	Re=20.4	Re=40.9

Scenario A: It is observed that when V_{tank}=30 m³ and q=150 L/cap/day, the reliability of Patmos' system is 56%, while for Thera the corresponding value is equal to 28%.

Scenario B: When V_{tank}=55 m³ and q=150 L/cap/day, Patmos' rain water harvesting system is by 97% more efficient compared to the Thera's one.

The percentage difference in the reliability coefficient of the two islands is shown on Table 2.

Table 2 Percentage difference in reliability coefficient of Thera's and Patmos' systems

N _{cap} =2 A= 60 m ²		
q=150 L/cap/day	V _{tank} =30 m ³	99.28%
q=180 L/cap/day	V _{tank} =40 m ³	101.30%
q=200 L/cap/day	V _{tank} =45 m ³	103.92%
N _{cap} =4 A=120 m ²		
q=150 L/cap/day	V _{tank} =55 m ³	97.49%
q=180 L/cap/day	V _{tank} =70 m ³	98.26%
q=200 L/cap/day	V _{tank} =80 m ³	100.49%

The conclusion that came from the research of the two islands is that Patmos' system is reaching a greater reliability level than the respective one of Thera.

Conclusions

The general conclusion that came from the present research is that a rain harvesting system located at the island of Patmos seems to be a very efficient solution to the problem of water scarcity that the area faces. This method will also decrease the economic and environmental cost of water in general.

A conclusion that came from the rain water harvesting system analysis is that by increasing the water tank volume and also increasing the roof area, the system becomes more efficient.

It was observed that the minimum reliability coefficient the system's reaches is greater when the daily water use is considered to be 150 L/cap/day.

Considering greater values for the daily use, the system needs bigger roof area in order to be more efficient.

The Scenario 3, where a fully successful system was considered, led us to the deduction that the optimum percentage of water use is observed when the water tank volume is taking greater values. Also, by considering an increase of the roof area while the tank volume keeps a fixed value, the optimum percentage of water use is increasing. When taking into consideration the increase of the water tank volume and a fixed value for the roof area, the optimum percentage of use is increasing but not respectively.

The conclusion that came from the comparison with the relevant systems that were evolved for the islands of Kimolos and Patmos is that the system created for the present study at the island of Patmos is more efficient.

1 Εισαγωγή

1.1 Το πρόβλημα των υδατικών πόρων

Σε πολλές χώρες του κόσμου όπως και στην Ελλάδα, παρουσιάζεται το πρόβλημα της ανεπάρκειας υδατικών πόρων. Το πρόβλημα δεν αφορά μόνο στη συνολική και πεπερασμένη ποσότητα γλυκού νερού, αλλά κυρίως στη γεωγραφική και εποχιακή κατανομή και διαθεσιμότητά του, ιδιαίτερα σε σχέση με τις τοπικές ανάγκες και χρήσεις του. Η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο και το χρόνο δημιουργεί την ανάγκη μιας πιο ολοκληρωμένης διαχείρισής, με στόχο τη βιωσιμότητα και την αειφορία.

Τη σημερινή εποχή, οι συνθήκες διαβίωσής μας οδηγούν σε όλο και μεγαλύτερο πρόβλημα ανεπάρκειας νερού. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η κατανάλωση νερού συνεχώς αυξάνεται, ενώ τα αποθέματα νερού συνεχώς μειώνονται. Δεν γίνεται να παραβλεφθεί η συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού και η αβεβαιότητα που εισάγει στη μελέτη συστημάτων υδατικών πόρων η κλιματική αλλαγή.

Η συνεχόμενη αύξηση της ζήτησης για νερό οδηγεί σταδιακά στην υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος, με το πρόβλημα να επιδεινώνεται σε περιόδους ξηρασίας. Η εκμετάλλευση του βρόχινου νερού είναι βέβαιο πως μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση του παγκόσμιου προβλήματος.

Η Συλλογή Όμβριων Υδάτων (Rain Water Harvest – RWH) είναι ένας όρος που περιγράφει τις ποικίλες τεχνικές για την εκμετάλλευση των βροχοπτώσεων. Για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας αναπτύσσονται διαφορετικές τεχνικές και τοπικά συστήματα RWH. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν αντοχή στο χρόνο και προσαρμοστικότητα στις ξεχωριστές υδρογεωλογικές και κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

1.2 Αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ανάλυση της αξιοπιστίας κάλυψης αστικής χρήσης νερού για τη νήσο Πάτμο. Για το σκοπό αυτό εφαρμόζεται η μέθοδος διαστασιολόγησης του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου. Εξετάζεται ο βαθμός

αποδοτικότητα του συστήματος συλλογής ομβρίων υδάτων σε επίπεδο κατοικίας για διάφορα σενάρια ζήτησης, λαμβάνοντας υπόψη, μεταξύ άλλων παραμέτρων, την επιφάνεια συλλογής, τον όγκο της δεξαμενής ομβρίων, την ημερήσια κατανάλωση, το ποσοστό χρήσης και τον αριθμό των μελών της κατοικίας. Τέλος, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με αντίστοιχα δεδομένα για συστήματα συλλογής ομβρίων που έχουν αναπτυχθεί για τις νήσους Κίμωλο και Θήρα. Προκύπτει ο βαθμός αξιοπιστίας κάθε συστήματος για συγκεκριμένα σενάρια ζήτησης που εξετάζονται και εξάγεται ένα γενικό συμπέρασμα για την απόδοση των εν λόγω συστημάτων.

1.3 Διάρθρωση

Η διάρθρωση της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει πέντε κεφάλαια.

Το Κεφάλαιο 1 αποτελεί την εισαγωγή και αφορά στο παρόν κεφάλαιο.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης που σχετίζονται με το θέμα της ανάπτυξης του συστήματος ομβροδεξαμενών.

Στο Κεφάλαιο 3 αναπτύσσεται η εφαρμογή του μοντέλου οικιακής ομβροδεξαμενής.

Στο Κεφάλαιο 4 πραγματοποιείται η ανάπτυξη της μεθόδου διαστασιολόγησης και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για διαφορετικά σενάρια ζήτησης.

Στο Κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

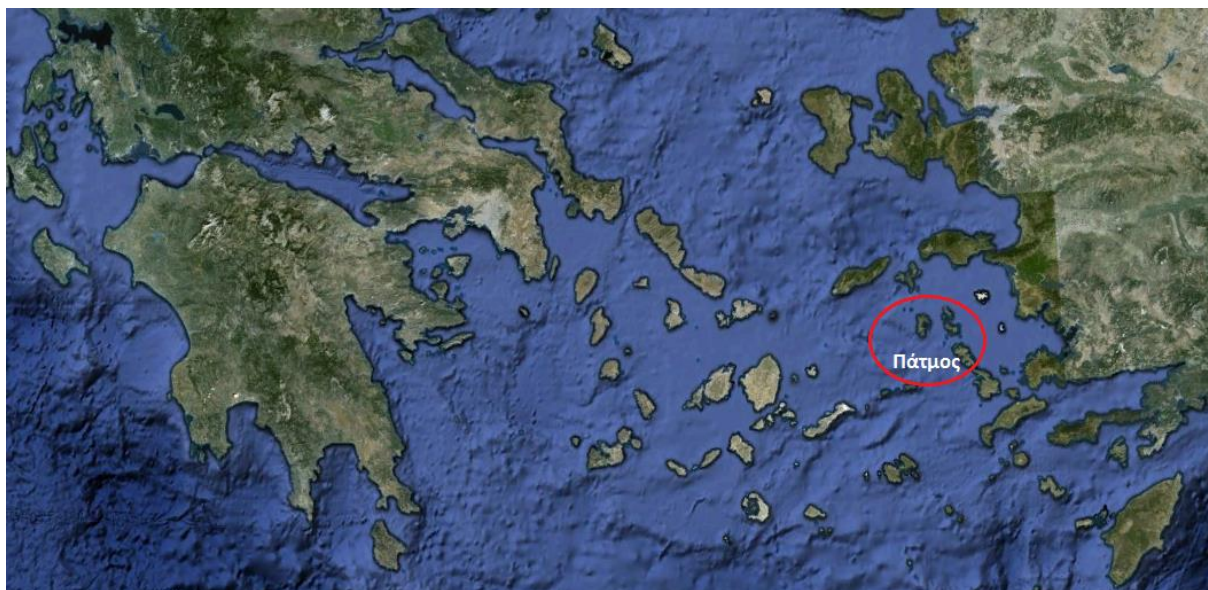
2 Περιοχή μελέτης

2.1 Επιλογή περιοχής

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε το νησί της Πάτμου, το οποίο ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (ΥΔ 14) και αποτελεί ένα από τα άνυδρα νησιά της Ελλάδος. Το μικρό ύψος βροχοπτώσεων που παρατηρείται, σε συνδυασμό με την έλλειψη φυσικών πηγών και των κατάλληλων υποδομών, συντελούν στη δημιουργία προβλήματος στην επάρκεια των υδατικών πόρων του νησιού. Ωστόσο, με την ανάπτυξη των κατάλληλων μεθόδων για τη διαχείριση των διαθέσιμων υδατικών πόρων της περιοχής, το πρόβλημα αναμένεται να αντιμετωπιστεί σε μεγάλο βαθμό.

2.2 Περιγραφή περιοχής – Γενικά στοιχεία

Το νησί της Πάτμου βρίσκεται στο νότιο Αιγαίο πέλαγος, στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Δωδεκανήσων (GR 38), νότια της Σάμου, νοτιοανατολικά της Ικαρίας και βορειοδυτικά της Λέρου. Είναι σχετικά μικρό νησί, με έκτασή που φθάνει τα 34.142 km² και μήκος ακτών 62.4 km. Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η θέση της Πάτμου σε ένα τμήμα του χάρτη της Ελλάδας.



Σχήμα 2.1 Θέση Πάτμου στο χάρτη (Πηγή: Google earth)

Η Πάτμος, μαζί με τα νησιά Αρκιούς και Μαράθι συγκροτούν το Δήμο Πάτμου. Στη διοικητική ενότητα του Δήμου ανήκουν επίσης 10 ακατοίκητες νησίδες (Αγκαθονήσι, Αγρελούσσα, Άνυδρο, Καλόβολο, Κόμαρος, Μακρονήσι, Νερά, Στρογγυλό, Τραγονήσι, Χιλιμόδι). Με την εφαρμογή της διοικητικής διαίρεσης της χώρας κατά το Πρόγραμμα Καλλικράτης, ουδεμία μεταβολή επήλθε στο Δήμο Πάτμου. Η Πάτμος μαζί με τα νησιά Αστυπάλαια, Λέρος και Κάλυμνος υπάγονται στην Περιφερειακή Ενότητα Καλύμνου. Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται φωτογραφία της Πάτμου από δορυφόρο.



Σχήμα 2.2 Η Πάτμος σε φωτογραφία από δορυφόρο (Πηγή: Google earth)

Σύμφωνα με τα αρχαιολογικά ευρήματα, η ανθρώπινη παρουσία στο νησί ανάγεται στην 4^η-3^η χιλιετία π.Χ. Κατά τη διάρκεια των αιώνων, η Πάτμος πολιορκήθηκε από διάφορα έθνη και ενσωματώθηκε στην Ελλάδα το 1947 ως πρώην ιταλοκρατούμενο νησί.

Η οικιστική ανάπτυξη της Χώρας Πάτμου οδήγησε στην ανάγκη προστασίας του οικισμού από την ανεξέλεγκτη δόμηση και την αλλοίωση του τοπίου. Η Χώρα της Πάτμου κηρύχθηκε ως παραδοσιακός οικισμός με το Π.Δ. 594 της 13/11/1978. Με το ίδιο Π.Δ. κηρύχθηκε ως παραδοσιακός και ο οικισμός των Αρκιών, ο οποίος ανήκει στο ομώνυμο νησί που διοικητικά υπάγεται στο δήμο Πάτμου.

2.3 Κλιματικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα του νησιού είναι εύκρατο μεσογειακό με ήπιο χειμώνα και δροσερό καλοκαίρι. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της ατμόσφαιρας είναι η εξαιρετική διαύγεια και η ηλιοφάνεια. Σύμφωνα με τα μετεωρολογικά στοιχεία του σταθμού που είναι εγκατεστημένος στη Σκάλα, για την περίοδο 2007-2017 το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ανέρχεται σε 536 mm, ο πιο βροχερός μήνας είναι ο Δεκέμβριος και ο πιο ξηρός ο Ιούλιος.

2.4 Πληθυσμιακά και δημογραφικά στοιχεία

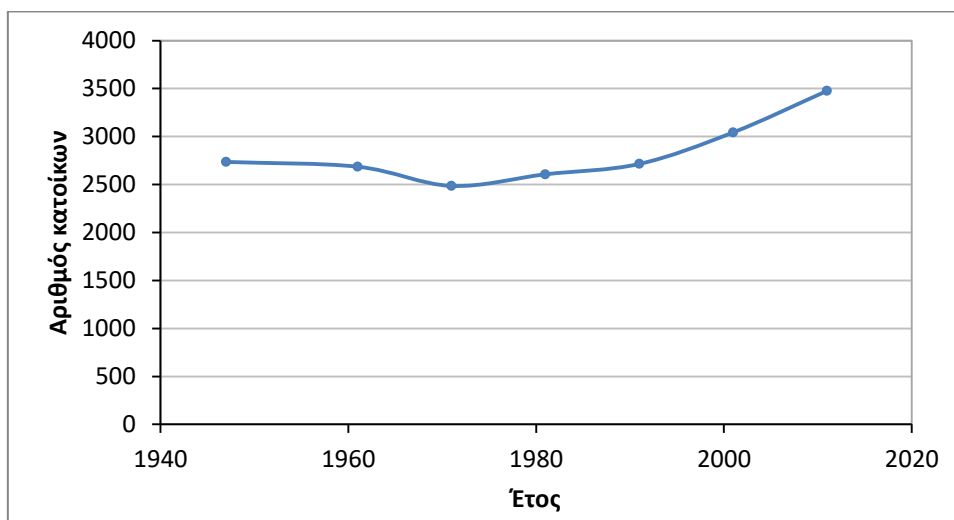
Πληθυσμιακή εξέλιξη

Σύμφωνα με στοιχεία των απογραφών πληθυσμού της ΕΛΣΤΑΤ από το 1947 έως και το 2011 είναι δυνατόν να παρατηρηθεί η εξέλιξη του πληθυσμού του νησιού. Στον Πίνακα 2.1 και το Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται η πληθυσμιακή εξέλιξη του Δήμου Πάτμου.

Πίνακας 2.1 Πληθυσμιακή εξέλιξη Δήμου Πάτμου (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

Έτος απογραφής	Κάτοικοι	Μεταβολή
1947	2736	-
1961	2686	-1.83%
1971	2486	-7.45%
1981	2607	4.87%
1991	2715	4.14%
2001	3047	12.23%
2011	3477	14.11%

Ο πληθυσμός της Πάτμου σύμφωνα με την απογραφή πληθυσμού του 2011 είναι 3477 κάτοικοι και παρουσιάζει αύξηση σε σχέση με την πληθυσμό που καταγράφηκε το 2001 κατά 14.11% (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

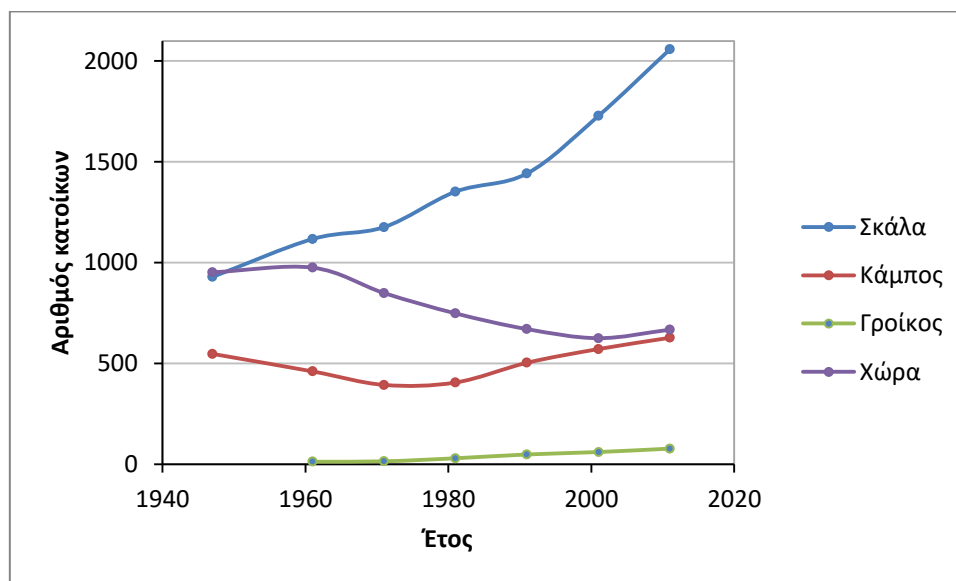


Σχήμα 2.3 Πληθυσμιακή εξέλιξη Δήμου Πάτμου (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

Έχοντας ως έτος αναφοράς το 1947, παρατηρείται ότι για τις δύο επόμενες δεκαετίες παρουσιάστηκε μείωση του πληθυσμού. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες που επικρατούσαν εκείνη την εποχή. Από το 1981 όμως κι έπειτα ο πληθυσμός του νησιού συνεχώς αυξάνεται. Την τελευταία δεκαετία 2001-2011, ο πληθυσμός αυξήθηκε κατά 14.11%.

Παρατηρείται ότι όλοι οι οικισμοί του νησιού διατηρούν αριθμό κατοίκων μικρότερο από 2100. Η Σκάλα είναι ο μεγαλύτερος σε μέγεθος πληθυσμού οικισμός του νησιού και παρουσιάζει συνεχή αύξηση κατοίκων τα τελευταία χρόνια. Κατά τις δυο τελευταίες απογραφές που έγιναν το 2001 και 2011, παρατηρείται αύξηση του πληθυσμού στο συγκεκριμένο οικισμό κατά 20% ανά δεκαετία. Η Χώρα της Πάτμου είναι ο δεύτερος σε μέγεθος οικισμός του νησιού. Η πληθυσμιακή εξέλιξη ανά οικισμό σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4.

«ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΟΜΒΡΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΠΑΤΜΟ»



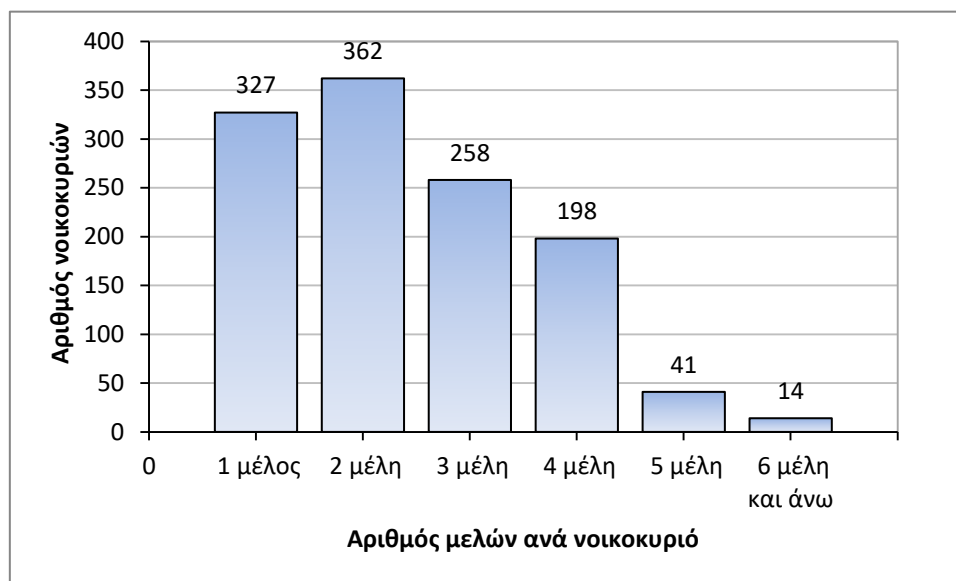
Σχήμα 2.4 Πληθυσμιακή εξέλιξη οικισμών Πάτμου (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

Στατιστικά χαρακτηριστικά νοικοκυριών

Σύμφωνα με την απογραφή που πραγματοποιήθηκε από την ΕΛΣΤΑΤ το 2011 (Πίνακας 2.2), το σύνολο των νοικοκυριών της Πάτμου είναι 1200. Αναλυτικότερα, τα νοικοκυριά με δύο μέλη καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό με 30.17 %, ενώ έπονται τα μονομελή με ποσοστό 27.25 % και τα τριμελή με 21.50 %. Τα τετραμελή νοικοκυριά κατέχουν το 16.50 %, ενώ τα νοικοκυριά με πέντε μέλη το 3.42 %. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2 και το Σχήμα 2.5.

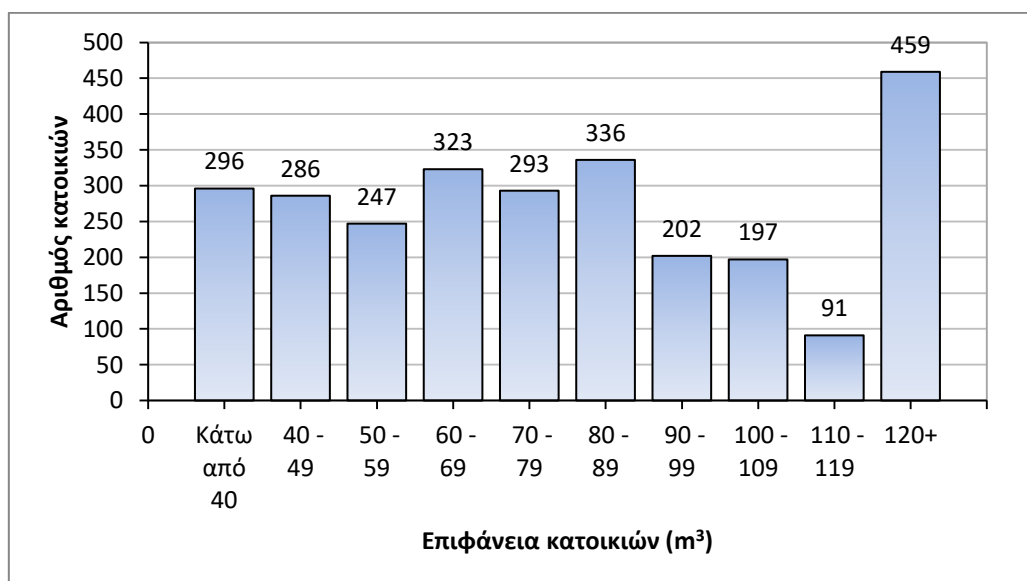
Πίνακας 2.2 Απογραφή Πληθυσμού-Κατοίκων 2011, Νοικοκυριά και μέλη αυτών (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

Δήμος Πάτμου	Νοικοκυριά	Ποσοστό
1 μέλος	327	27.25%
2 μέλη	362	30.17%
3 μέλη	258	21.50%
4 μέλη	198	16.50%
5 μέλη	41	3.42%
6 μέλη και άνω	14	1.17%
Σύνολο	1.200	100%



Σχήμα 2.5 Αριθμός νοικοκυριών και κατανομή μελών αυτών (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011)

Τα στοιχεία που προέκυψαν από την πιο πρόσφατη απογραφή πληθυσμού και κατοικιών της ΕΛΣΤΑΤ το 2011, παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.6. Οι επιφάνειες των κατοικιών που συναντώνται πιο συχνά βρίσκονται στο διάστημα μεταξύ 80-90 m². Μεγάλος αριθμός κατοικιών αντιστοιχεί επίσης στο διάστημα μεταξύ 60-70 m².



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

«ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΟΜΒΡΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΠΑΤΜΟ»

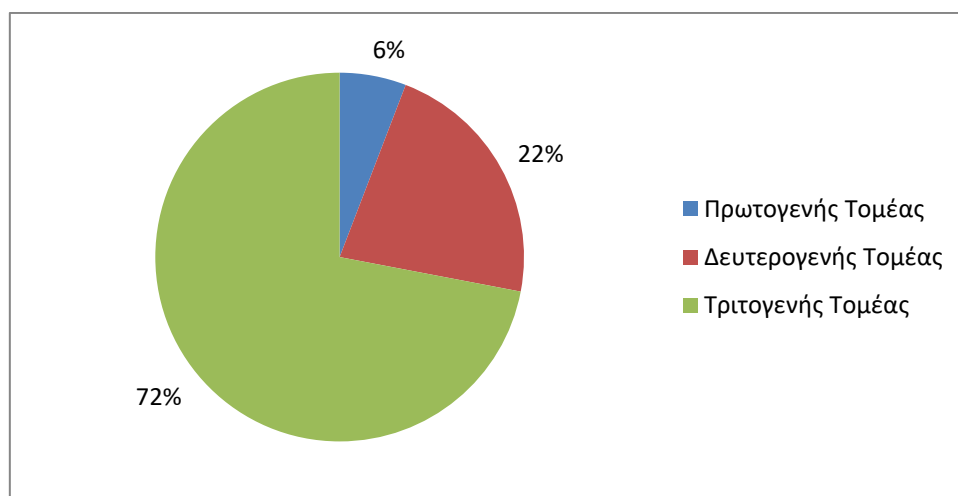
Παραγωγικές δραστηριότητες – Οικονομία

Σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 2001 (ΕΛΣΤΑΤ, 2001), από τους 3047 κατοίκους, οι 1337 είναι οικονομικώς ενεργοί και το ποσοστό ανεργίας ανέρχεται σε 15%. Στον Πίνακα 2.3 δίνονται τα στοιχεία που αφορούν τον οικονομικώς ενεργό πληθυσμό του Δήμου Πάτμου.

Πίνακας 2.3 Κατανομή απασχολούμενων ανά παραγωγικό τομέα Δήμου Πάτμου (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2001)

Σύνολο	Σύνολο οικονομικά ενεργών	Οικονομικά ενεργοί				
		Σύνολο απασχολούμενων	Απασχολούμενοι			Άνεργοι
			Πρωτογενής Τομέας	Δευτερογενής Τομέας	Τριτογενής Τομέας	
3047	1337	1200	70	266	864	137

Η οικονομία του νησιού στηρίζεται κυρίως στον τριτογενή τομέα, με σημαντική συμμετοχή του δευτερογενή και μικρή παρουσία του πρωτογενή. Η τουριστική ανάπτυξη του νησιού οδηγεί σταδιακά στην ενίσχυση του τριτογενή τομέα έναντι των υπολοίπων. Επίσης, λόγω της γήρανσης του αγροτικού πληθυσμού, αλλά και της έλλειψης υδατικών πόρων, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μείωση των γεωργικών εκτάσεων. Η τομεακή διάρθρωση απασχόλησης παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.7 (ΕΛΣΤΑΤ, 2001).



Σχήμα 2.7 Τομεακή διάρθρωση απασχόλησης Δήμου Πάτμου (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2001)

Η συνεχόμενη ανάπτυξη του τριτογενή τομέα είναι φυσικό αποτέλεσμα της αυξανόμενης τουριστικής κίνησης που παρατηρείται στο νησί της Πάτμου. Η απασχόληση στον πρωτογενή τομέα παραγωγής καταλαμβάνει ποσοστό μόλις 6%, στον δευτερογενή 22% και τέλος στον τριτογενή τομέα απασχολείται το 72% του οικονομικά ενεργού πληθυσμού. (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Η οικονομία της Πάτμου κατά τις τελευταίες δεκαετίες βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στον τουρισμό. Παρουσιάζεται ένας συνδυασμός τουρισμού και παραθερισμού πολύ υψηλών εισοδημάτων και τουρισμού μαζικού, πολιτισμικού και θρησκευτικού χαρακτήρα. Στις εποχές αιχμής, το νησί κατακλύζεται από τουρίστες και επισκέπτες έτσι ώστε να εκτιμάται ότι ο πρόσθετος πληθυσμός από Μάιο μέχρι Οκτώβριο φτάνει τις 32000. Σε αντίθεση με τα άλλα νησιά, οι πολιτιστικοί και εκκλησιαστικοί θησαυροί της Πάτμου, εξασφαλίζουν κάποια τουριστική κίνηση, έστω και περιορισμένη σε σχέση με την περίοδο αιχμής του Ιουλίου και Αυγούστου (Φιλότης, <http://filotis.itia.ntua.gr/home/>)

Σύμφωνα με το Σύνδεσμο Ελληνικών Τουριστικών Επιχειρήσεων (ΣΕΤΕ), στην Πάτμο υπάρχουν 40 ξενοδοχεία και 90 ενοικιαζόμενα δωμάτια που έχουν τη δυνατότητα να φιλοξενήσουν 2000 και 1000 άτομα αντίστοιχα. Συναντώνται επίσης 70 διαμερίσματα άλλων τύπων, όπως Αρχοντικά και εξοχικά studios δυναμικότητας φιλοξενίας 1800 ατόμων. Ο γηγενής τουρισμός θα πρέπει επίσης να συνυπολογισθεί, καθώς υπάρχουν πολλά ιδιόκτητα σπίτια που οι παραθεριστές μαζί με τους φιλοξενούμενους τους φτάνουν τα 3000 άτομα. (ΣΕΤΕ, προσωπική επικοινωνία). Επίσης, παρουσιάζεται αυξημένη τουριστική κίνηση κρουαζιέρας. Το 2011 καταγράφηκαν 481 αφίξεις κρουαζιέρας, καθιστώντας την Πάτμο τον 5^ο προορισμό σε αφίξεις στην Ελλάδα (Πηγή: Ένωση Λιμένων Ελλάδος). Με βάση τα δεδομένα αυτά, ο πληθυσμός της Πάτμου αυξάνεται σημαντικά λόγω τουριστικής κίνησης. Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζεται το μέγεθος του προστιθέμενου πληθυσμού ανά έτος για τους μήνες από Μάρτιο έως Οκτώβριο.

Πίνακας 2.4 Προστιθέμενος πληθυσμός λόγω τουρισμού (Πηγή: ΣΕΤΕ)

Μήνας	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος
Αριθμός Τουριστών	1000	3500	2000	5000	8000	10000	5000	2000

2.5 Ύδρευση στην Πάτμο

Υποδομές

Το νησί καταλαμβάνει μικρή έκταση με αποτέλεσμα να μην ευνοείται η ανάπτυξη μεγάλων υδρολογικών λεκανών σε αυτό. Ένας ακόμη δυσμενής παράγοντας για την κατάσταση των υδατικών πόρων του νησιού αποτελεί το έντονο γεωλογικό ανάγλυφο. Επιπλέον, η ύπαρξη πολλών παράκτιων ρεμάτων καθιστά δύσκολη την εκμετάλλευση των επιφανειακών νερών. Η κίνηση του νερού προς τη θάλασσα γίνεται πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα την αδυναμία τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφορέων. Η υψηλή μέση ετήσια θερμοκρασία και ηλιοφάνεια ενισχύουν την εξάτμιση του νερού. Επίσης, ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι η χαμηλή μέση ετήσια βροχόπτωση.

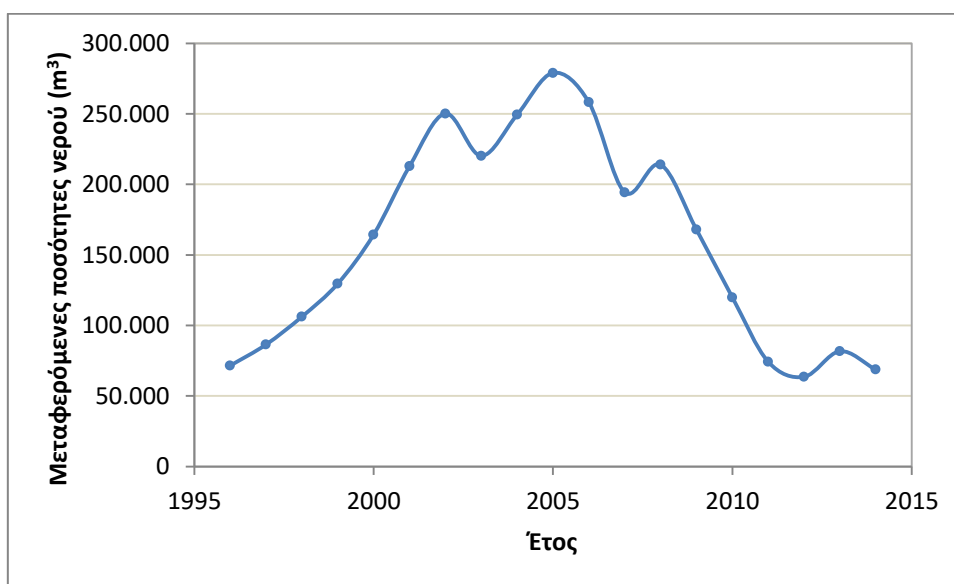
Η ζήτηση της Πάτμου σε νερό καλύπτεται από τις παρακάτω πηγές:

Γεωτρήσεις εκμετάλλευσης του υπόγειου δυναμικού που έχουν κατασκευαστεί από φορείς του δημοσίου και από ιδιώτες. Το νερό που προέρχεται από τις γεωτρήσεις καλύπτει ανάγκες άρδευσης.

Το Φράγμα στην περιοχή Λιβιάδι κατασκευάστηκε για κάλυψη των αναγκών σε ύδρευση και άρδευση. Το είδος του φράγματος είναι λιθόρριπτο με ανάντη πλάκα σκυροδέματος. Ο ωφέλιμος όγκος του φράγματος είναι 450000 m³ με επιφάνεια ταμιευτήρα 54000 m³. Η στεγανότητα του ταμιευτήρα επιτυγχάνεται φυσικά μέσω πυροκλαστικών σχηματισμών και η τροφοδοσία του φράγματος γίνεται από τον χειμάρρο Λιβιάδι. Η κατασκευή του έργου ολοκληρώθηκε το 2005.

Η μεταφορά νερού για την εξυπηρέτηση των αναγκών της Πάτμου γίνεται με πλωτά μέσα. Συγκεκριμένα, υδροφόρα πλοία εξασφαλίζουν τη μεταφορά νερού από την Κάλαθο Ρόδου.

Σύμφωνα με στοιχεία της Γενικής Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, παρουσιάζεται διάγραμμα με τις μεταφερόμενες ποσότητες νερού ανά έτος για το νησί τη Πάτμου (Σχήμα 2.8).



Σχήμα 2.8 Μεταφερόμενες ποσότητες νερού ανά έτος για το νησί της Πάτμου (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής)

Στην Πάτμο λειτουργούν δυο μονάδες αφαλάτωσης με απόδοση 600 m^3 ανά ημέρα τους καλοκαιρινούς μήνες. Βρίσκονται στην περιοχή Συνοδινού της Σκάλας Πάτμου και το νερό προορίζεται για κάλυψη των αναγκών σε ύδρευση.

Οι υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες καλύπτονται επίσης από τις πηγές αποστράγγισης των υπόγειων υδροφορέων. Λόγω της μικρής έκτασης του νησιού δεν αναπτύσσονται μεγάλες υδρογεωλογικές λεκάνες, με αποτέλεσμα οι πηγές να μην έχουν μεγάλο μέγεθος. Αξιοποιούνται όμως πλήρως, κυρίως για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών.

Κόστος ύδρευσης για τη Διαχειριστική Αρχή

Η κατανάλωση νερού στο νησί της Πάτμου εμφανίζει μεγάλη διακύμανση τους θερινούς μήνες σε σχέση με τους χειμερινούς λόγω των εποχιακών επισκεπτών. Η έλλειψη της απαραίτητης ποσότητας νερού για την κάλυψη των αναγκών του νησιού, οδήγησε στην

**«ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΟΜΒΡΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΠΑΤΜΟ»**

διαδικασία μεταφοράς νερού από τη Ρόδο. Πλωτά μέσα μεταφέρουν νερό που προέρχεται από Νομαρχιακές γεωτρήσεις της περιοχής Καλάθου Ρόδου ή σε κάποιες περιπτώσεις από τη ΔΕΥΑ Ρόδου. Η Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής έχει από το 1997 την ευθύνη της χρηματοδότησης του έργου της μεταφοράς νερού με υδροφόρα πλοία και από το 2005 έχει και την ευθύνη υλοποίησης του έργου. Στον Πίνακα 2.5 παρουσιάζεται το μοναδιαίο κόστος μεταφοράς νερού για τα έτη 2010 έως 2012 (Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Πίνακας 2.5 Κόστος μεταφοράς νερού (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής)

Έτος	Μοναδιαίο κόστος (€/m ³)
2010	10.42
2011	11.65
2012	10.97

Η υπηρεσία ύδρευσης καλύπτεται από τον Δήμο Πάτμου. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60/ΕΚ, το συνολικό χρηματικό ποσό που ανακτάται από τις Υπηρεσίες Ύδατος περιλαμβάνει όχι μόνο το οικονομικό κόστος, αλλά και το περιβαλλοντικό κόστος και το κόστος των φυσικών πόρων. Στα πλαίσια της κατάρτισης του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου, πραγματοποιήθηκε έρευνα κόστους νερού. Τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης που παρουσιάζονται παρακάτω, βασίζονται στο Σχέδιο Διαχείρισης που εγκρίθηκε το 2015. Στον Πίνακα 2.6 παρουσιάζεται η κοστολόγηση των Υπηρεσιών Ύδατος (Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Πίνακας 2.6 Χρηματοοικονομικό Κόστος και Ποσοστό Ανάκτησης Δήμου Πάτμου (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής)

ΛΑΠ	Δήμος	Διακινούμενη Ποσότητα Νερού (m ³ /έτος)	Χρημ/κό Κόστος (€)	Μοναδιαίο Χρημ/κό Κόστος (€/m ³)	Ποσοστό Ανάκτησης (%)
38	Πάτμου	380000	315400	0.83	62.11

Στο νησί της Πάτμου δεν υπάρχουν μεγάλες βιομηχανικές μονάδες. Οι υδρευτικές ανάγκες για τη βιομηχανική χρήση καλύπτονται από το Δήμο Πάτμου και ιδιωτικές

«ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΟΜΒΡΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΠΑΤΜΟ»

γεωτρήσεις. Το κόστος υπηρεσιών ύδατος για τη βιομηχανία παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.7 (Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Πίνακας 2.7 Χρηματοοικονομικό κόστος για την κάλυψη των αναγκών βιομηχανίας στο Δήμο Πάτμου (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής)

ΛΑΠ	Δήμος	Ετήσιες Ανάγκες Νερού (m ³)	Μοναδιαίο Κόστος (€/m ³)	Κόστος (€)
38	Πάτμου	1200	0.83	996

Το κόστος φυσικού πόρου προκύπτει όταν οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι δεν επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών. Το μοναδιαίο κόστος φυσικού πόρου για την ύδρευση εκτιμάται ίσο με το μέσο μοναδιαίο κόστος αφαλάτωσης του νερού για το ΥΔ 14, δηλαδή 2 €/m³. Για την άρδευση, το κόστος φυσικού πόρου λαμβάνεται ίσο με το κόστος επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία, δηλαδή 0.2 €/m³. Τα αποτελέσματα υπολογισμού του ετήσιου κόστους φυσικού πόρου για το Δήμο Πάτμου παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.8 (Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Πίνακας 2.8 Ετήσιο Κόστος Φυσικού Πόρου για το Δήμο Πάτμου (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής)

ΛΑΠ	Δήμος	Ύδρευση		Άρδευση	
		Ετήσιο έλλειμμα νερού (m ³)	Ετήσιο κόστος Φυσικού Πόρου (€)	Ετήσιο έλλειμμα νερού (m ³)	Ετήσιο κόστος Φυσικού Πόρου (€)
38	Πάτμου	26600	53200	260	52

Το κόστος των μονάδων αφαλάτωσης που υπάρχουν στο νησί προκαλεί υψηλό κόστος λειτουργίας. Το ποσό αυτό κυμαίνεται από 0.5 έως 4 €/m³. Δεδομένης της έλλειψης των σωστών τεχνικών και προδιαγραφών λειτουργίας, το κόστος λειτουργίας αυξάνεται και η αξιοπιστία μειώνεται (Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Συνοπτικά, το χρηματοοικονομικό κόστος, το περιβαλλοντικό κόστος και το κόστος φυσικού πόρου για την ύδρευση του Δήμου Πάτμου παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.9.

Πίνακας 2.9 Χρηματοοικονομικό, περιβαλλοντικό και κόστος φυσικού πόρου για την ύδρευση Δήμου Πάτμου (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής)

Συνολική παραγωγή πόσιμου νερού (m ³ /έτος)	Κόστος (€)			
	Χρημ/κό	Περιβαλ/κό	Πόρου	Συνολικό
380000	315400	0	53200	368600

Κόστος ύδρευσης για τον καταναλωτή

Στην Πάτμο, το τιμολόγιο ύδρευσης είναι κλιμακωτό και εκδίδεται κάθε δυο μήνες. Οι ισχύουσες τιμές χρέωσης καθορίζονται κάθε Οκτώβριο του νέου έτους.

Για οικιακή χρήση, η τιμολόγηση του νερού διαμορφώνεται με βάση την κατανάλωση. Συγκεκριμένα, για κατανάλωση έως 60 m³ κοστίζει 1.05 €/m³. Από 61 έως 100 m³ η τιμή διαμορφώνεται στα 2.21 €/m³ και για μεγαλύτερη αυτών στα 3.31 €/m³. Στις τιμές αυτές συμπεριλαμβάνεται ο ΦΠΑ 13%.

Το κόστος ύδρευσης για κατανάλωση σε καταστήματα και ξενοδοχειακές επιχειρήσεις είναι 3.47 €/m³. Στην τιμή συμπεριλαμβάνεται ο ΦΠΑ 13%.

Το πάγιο τέλος ύδρευσης προστίθεται σε όλα τα είδη τιμολογίου και αντιστοιχεί σε 4.2 €.

2.6 Γεωγραφία και γεωλογία περιοχής

Η Πάτμος βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο του συμπλέγματος των Δωδεκανήσων και απέχει 163 ναυτικά μίλια (nm) από τον Πειραιά και 111 nm από τη Ρόδο. Βρίσκεται σε Γεωγραφικό Πλάτος 37°18'32" Βόρειο και Γεωγραφικό Μήκος 26°32'50" Ανατολικό. Το μέγιστο μήκος του νησιού φτάνει τα 16 km (B-N) και το μέγιστο πλάτος τα 9.6 km (A-Δ). Αποτελείται από τρεις χερσαίους όγκους που συνενώνονται μέσω δυο ισθμών και το υψηλότερο σημείο που συναντάται είναι ο λόφος του Προφήτη Ηλία με υψόμετρο 270 m. Η μορφολογία του νησιού σε συνδυασμό με το πολυσχιδές ανάγλυφό του δημιουργούν μεγάλη έκταση ακτογραμμής σε μορφή κολπίσκων και όρμων. Η ενδοχώρα χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο με υψομετρικές εξάρσεις στα δυο άκρα του και βραχώδεις λόφους στα χαμηλότερα επίπεδα.

Η διοικητική διαίρεση του Δήμου Πάτμου περιλαμβάνει έξι οικισμούς [Σκάλα, Πάτμος (Χώρα), Κάμπος, Γροίκος, Μαράθι, Αρκιοί]. Οι δυο μεγαλύτεροι οικισμοί του νησιού είναι η Σκάλα και η Χώρα της Πάτμου. Υπάρχουν δυο ακόμη σημαντικοί οικισμοί, ο

Γροίκος και ο Κάμπος. Το μοναδικό λιμάνι του νησιού βρίσκεται στην Σκάλα, στο κεντρικό τμήμα της Πάτμου όπου βρίσκονται και τα περισσότερα τουριστικά καταλύματα.

Το έδαφος είναι βραχώδες, ηφαιστειογενές και απότομο με υψηλότερη κορυφή τον Προφήτη Ηλία (270 m) που βρίσκεται στο κέντρο του νησιού, νότια της Χώρας Πάτμου. Υπάρχουν ακόμα δυο υψώματα, ένα στο βόρειο τμήμα τις "Σκλάβες" και ένα στο νότιο το "Πρασόβουνο".

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται είναι κυρίως τα κρυσταλλικά και τα ηφαιστειογενή πετρώματα. Συναντώνται ασβεστολιθικές μάζες μεσοζωικής περιόδου, ιζήματα της ολιγόκαινης περιόδου από την ομάδα του φλύσχη και από λεβαντίνια ιζήματα.

2.7 Η εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ στη νήσο Πάτμο

Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ, η Ελλάδα χωρίζεται σε 14 θεσμικά αναγνωρισμένα Υδατικά Διαμερίσματα (ΥΔ). Το Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (GR14), περιλαμβάνει τρεις (3) Λεκάνες Απορροής:

- Ανατολικού Αιγαίου (GR36),
- Κυκλάδων (GR37),
- Δωδεκανήσων (GR38).

Η Πάτμος περιλαμβάνεται στη λεκάνη απορροής Δωδεκανήσων (GR38) που έχει συνολική έκταση 2.714 km². Ωστόσο, ο διαμελισμός της Λεκάνης Απορροής σε μικρότερες αυτοτελείς ενότητες, επιβάλλει την προσέγγιση ολόκληρης της έκτασης του νησιού σαν μια υδρολογική-υδρογεωλογική ενότητα.

Επιφανειακά Υδατικά Συστήματα

Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ, στην Πάτμο οριοθετείται ένα παράκτιο υδατικό σύστημα. Η ονομασία του είναι Ακτές Πάτμου με μήκος ακτογραμμής 134.18 km. Επίσης, το συγκεκριμένο υδατικό σύστημα συγκαταλέγεται στο είδος βραχώδεις βαθιές ακτές τύπου C2, κατηγορία που χαρακτηρίζει το μεγάλο βάθος του. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.10 (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Πίνακας 2.10 Παράκτιο Υδατικό Σύστημα Δήμου Πάτμου (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Κωδικός	Ονομασία	Μήκος Ακτογραμμής (km)	Είδος
GR1438C0021N	Ακτές Πάτμου	134.18	Βραχώδεις βαθιές ακτές

Οι Ακτές Πάτμου με βάση το Σχέδιο Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος (ΥΔ) Νήσων Αιγαίου, παρουσιάζουν καλή οικολογική κατάσταση.

Υπόγεια Υδατικά Συστήματα

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες του νησιού της Πάτμου εξαρτώνται άμεσα από τις γεωλογικές, τεκτονικές και μορφολογικές συνθήκες που συναντώνται στην περιοχή. Η τεκτονική κατάσταση της περιοχής παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των υπόγειων υδροφορέων. Συγκεκριμένα, η ύπαρξη ρηγμάτων, είτε δημιουργεί μέτωπα επικοινωνίας μεταξύ των υδρολιθολογικών ενότητων, είτε αποκόπτει την επικοινωνία τους.

Η ύπαρξη ηφαιστειακών πετρωμάτων στην Πάτμο, συμβάλλει σημαντικά στην κατείδουση ομβρίων υδάτων. Τα ηφαιστειακά πετρώματα που έχουν υποστεί έντονη διάρρηξη, σε συνδυασμό με την πρωτογενή τους διάτμηση και τον προχωρημένο βαθμό αποσάθρωσης και εξαλλοίωσής τους, δημιουργούν μεγάλο πάχος ελλουβιακό μανδύα. Η ύπαρξη τεκτονισμένων και έντονα καρστικοποιημένων μαρμάρων στο υπέδαφος της Πάτμου, δεν αρκεί για την εξασφάλιση της υπόγειας υδροφορίας. Ενστρώσεις κερατολίθων και σιπολινών περιορίζουν την υδροφορία των μαρμάρων, διακόπτοντας έτσι τον ενιαίο χαρακτήρα του υδατικού οικοσυστήματος.

Στη λεκάνη απορροής Δωδεκανήσων, στο νησί της Πάτμου οριοθετείται ένα Υπόγειο Υδατικό Σύστημα (ΥΥΣ). Η ονομασία του είναι Σύστημα Νερομυλίων και καταλαμβάνει έκταση 34.2 km². Τα χαρακτηριστικά του συστήματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.11 (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Πίνακας 2.11 Υπόγεια Υδατικά Συστήματα Δήμου Πάτμου (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Κωδικός ΥΥΣ	Ονομασία	Τύπος υδροφορέα	Έκταση (km ²)
GR1400350	Σύστημα Νερομυλίων	Ρωγματικός	34.2

Ο τύπος υδροφορέα του Υπόγειου Συστήματος Νερομυλίων χαρακτηρίζεται ως ρωγματικός. Το νησί της Πάτμου έχει υποστεί έντονη ρηγματογόνο τεκτονική που έχει οδηγήσει στον κατακερματισμό των πετρωμάτων. Η κυκλοφορία του υπόγειου νερού στους ηφαιστειακούς σχηματισμούς γίνεται κατά μήκος των τεκτονικών γραμμών και μέσω των ασυνεχειών, ρωγμών, κατατμήσεων και ρηξιγενών ζωνών. Επίσης, μπορεί να αναπτυχθεί υδροφορία στα ανώτερα μέλη των ρυολιθικών – λατιτικών λαβών και εκχύσεων, ως αποτέλεσμα της αποσάθρωσής τους. Ο μανδύας αποσάθρωσης που δημιουργείται και ο μεγάλου πάχους ελλουβιακός μανδύας ευνοούν την υδροφορία. Οι γεωτρήσεις που έχουν ανορυχθεί σε πετρώματα ανώτερης λάβας είναι βάθους από 80 έως 180 m και οι στάθμες τους κυμαίνονται από 50 έως 125 m.

Για την εκμετάλλευση της υπόγειας φρεάτιας κυκλοφορίας, έχουν ανορυχθεί ρηγά φρέατα και γεωτρήσεις. Τα φρέατα βρίσκονται έως 12 m βάθος, με τη στάθμη τους να φτάνει τα 0.5 έως 4 m. Οι γεωτρήσεις είναι βάθους μέχρι 40 m και η στάθμη τους κυμαίνεται από 5 έως 25 m.

Το Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Νερομυλίων, εξαιτίας την υδρολιθολογικής του συμπεριφοράς, δεν αναπληρώνει γρήγορα τα υδατικά του αποθέματα. Η μικρή επανατροφοδοσία από την κατείδυση της βροχής σε συνδυασμό με την έντονη εκμετάλλευση του αποθέματος, δημιουργεί την ανάγκη ορθολογικής διαχείρισης. Η προστασία απέναντι στην ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση αποτελεί σημαντικό ζήτημα, καθώς οι υδροφόροι των παράκτιων αποθέσεων επηρεάζονται από τη διείσδυση της θάλασσας.

Προστατευόμενες περιοχές

Στο μητρώο προστατευόμενων περιοχών της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ για το νησί της Πάτμου, εντάσσονται οκτώ υδατικά συστήματα που έχουν χαρακτηριστεί ως ύδατα αναψυχής. Τα συστήματα αυτά είναι οι ακτές: Σκάλα, Αγριολίβαδο, Γροίκος, Κάμπος,

**«ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΟΜΒΡΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΠΑΤΜΟ»**

Βάγια, Μελίοι, Πέτρα, Νήσος Μαράθι, και Ψιλή Άμμος (Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Επίσης, στην Πάτμο οριοθετείται μια περιοχή Ζώνης Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ) που συγκαταλέγεται στο δίκτυο Natura 2000. Οι περιοχές που προορίζονται για την προστασία της Ορνιθοπανίδας είναι οι νησίδες Πετροκάραβο και Άνυδρος (Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Τέλος, σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ υπάρχουν πέντε υγρότοποι που θεωρούνται προστατευόμενες περιοχές και είναι όλοι παράκτιοι. Τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.12 (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Πίνακας 2.12 Υγρότοποι που συγκαταλέγονται στις προστατευόμενες περιοχές (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής)

Όνομα περιοχής	Κωδικός	Κατηγορία	Έκταση (m ²)
Λίμνη Παναγίας Γεράνου	Y421PAT007	Λιμνοθάλασσα	21363.1
Αλυκή Διακόφτι	Y421PAT001	Λιμνοθάλασσα	14913.2
Αλυκή Ψιλής Άμμου	Y421PAT002	Εποχιακό αλμυρό τέλμα	11345.2
Ελιά	Y421PAT005		15136.8
Αλυκή Γροίκου (Πέτρας)	Y421PAT006	Εποχιακό αλμυρό τέλμα	23940.9

Πιέσεις στο Υδάτινο Περιβάλλον

Για την εκτίμηση των πιέσεων στο Υδατικό Σύστημα της Πάτμου εξετάζονται οι καλλιεργούμενες εκτάσεις και οι βοσκότοποι της περιοχής. Τα στοιχεία για τις αρδευόμενες και μη αρδευόμενες εκτάσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.13 (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Πίνακας 2.13 Καλλιεργούμενες εκτάσεις και βοσκότοποι, αρδευόμενοι και μη αρδευόμενοι Δήμου Πάτμου (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής)

Διοικητική διαίρεση	Σύνολο καλλιεργούμενων εκτάσεων (στρ.)	Αρδευόμενες καλλιεργούμενες εκτάσεις (στρ.)	Βοσκότοποι (στρ.)	Αρδευόμενοι βοσκότοποι (στρ.)
Δήμος Πάτμου	442.7	0	7452	0

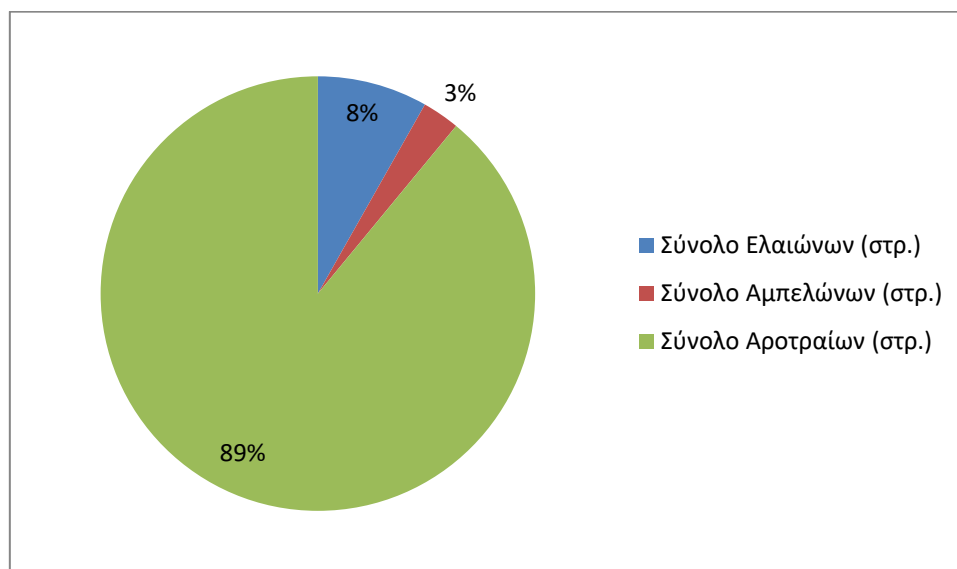
Το είδος των καλλιεργειών που συναντώνται στο νησί της Πάτμου καθώς και οι εκτάσεις αυτών σε στρέμματα παρουσιάζονται με την μορφή πίνακα (Πίνακας 2.14) και του διαγράμματος Σχήμα 2.9 (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Πίνακας 2.14 Εκτάσεις σε στρέμματα καλλιεργειών ανά κατηγορία Δήμου Πάτμου (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής)

Διοικητική διαίρεση	Σύνολο Ελαιώνων (στρ.)	Σύνολο Αμπελώνων (στρ.)	Σύνολο Αροτραίων (στρ.)
Δήμος Πάτμου	36.3	12.3	394.1

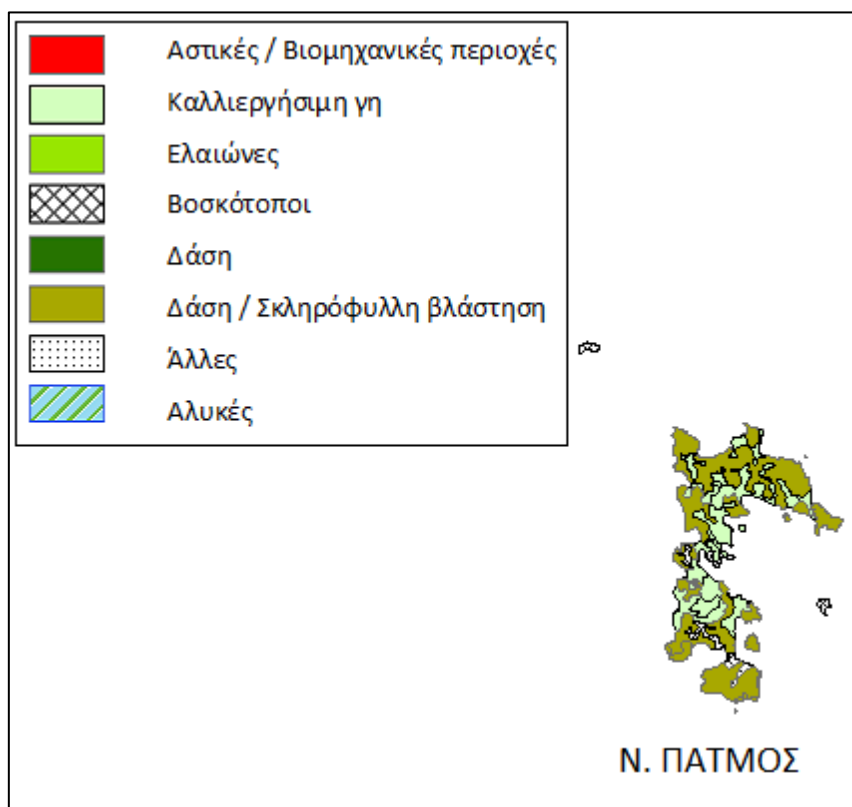
Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι στο σύνολό τους μη αρδευόμενες.

Ο χάρτης των χρήσεων γης του Δήμου Πάτμου παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.10 (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).



Σχήμα 2.9 Ποσοστιαία κατανομή καλλιεργειών Δήμου Πάτμου (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής)

Το μεγαλύτερο ποσοστό χρήσεων γης της περιοχής μελέτης καταλαμβάνουν οι αροτραίες καλλιέργειες. Στο σύνολο των αροτραίων καλλιεργειών περιλαμβάνονται οι εκτάσεις που καλύπτονται από καλλιέργειες που υπόκεινται στο σύστημα της εναλλαγής των καλλιεργειών (αμειψισπορά). Επίσης, περιλαμβάνονται και πολυετείς καλλιέργειες που αντιμετωπίζονται ως κηπευτικά ή καλλωπιστικά φυτά.



Σχήμα 2.10 Χρήσεις γης του Δήμου Πάτμου (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής)

Τα εκτιμώμενα ρυπαντικά φορτία αζώτου και φωσφόρου που παράγονται από τις καλλιεργητικές δραστηριότητες και απορρέουν σε επιφανειακά υδατικά συστήματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.15. Τα στοιχεία προέκυψαν από μελέτες του ΟΠΕΚΕΠΕ το 2012 και CLC το 2000 (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Πίνακας 2.15 Εκτιμώμενο ρυπαντικό φορτίο αζώτου και φωσφόρου με βάση στοιχεία των καλλιεργούμενων εκτάσεων των CLC 2000 και ΟΠΕΚΕΠΕ 2012 (Πηγή: Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής)

Αζώτο		Φώσφορος	
CLC (τόν/έτος)	ΟΠΕΚΕΠΕ (τόν/έτος)	CLC (τόν/έτος)	ΟΠΕΚΕΠΕ (τόν/έτος)
1.41	0.05	0.71	0.02

Τα ρυπαντικά φορτία που παρουσιάζονται αντιστοιχούν στις καλλιεργούμενες εκτάσεις αμπελώνων και αροτραίων. Οι ελαιώνες σημείωσαν μηδενικό εκτιμώμενο ρυπαντικό φορτίο.

Οι επιπτώσεις στην κατάσταση του Υδατικού Συστήματος Νερομυλίων εξετάζονται στο Σχέδιο Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος (ΥΔ) Νήσων Αιγαίου. Εκτιμάται ότι το Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Νερομυλίων αντιμετωπίζει φυσικής προέλευσης ποιοτική επιβάρυνση. Εντοπίζονται τοπικά αυξημένες συγκεντρώσεις χλωρίου και σιδήρου φυσικής προέλευσης. Το σύστημα δεν εμπλουτίζεται τεχνητά και η μέση ετήσια υδροληψία είναι $0.1 \cdot 10^6 \text{m}^3$ (Γενική Γραμματεία Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής).

Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), τα ετήσια υδατικά αποθέματα του Υπόγειου Υδατικού Συστήματος Νερομυλίων εκτιμάται ότι δεν υπερβαίνουν τα 500000m^3 (ΙΓΜΕ, προσωπική επικοινωνία).

Αξίζει να αναφερθεί ο απολογισμός για το Υπόγειο Υδατικό Σύστημα Νερομυλίων με βάση το Σχέδιο Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος (ΥΔ) Νήσων Αιγαίου. Το σύστημα εκτιμάται ότι βρίσκεται σε καλή ποιοτική και ποσοτική κατάσταση.

3 Μεθοδολογία και ανάλυση δεδομένων

3.1 Συνοπτική περιγραφή μεθοδολογικού πλαισίου

Στην παρούσα εργασία έγινε επεξεργασία της ιστορικής χρονοσειράς για τη χρονική περίοδο 2007-2017. Με αυτό τον τρόπο καθορίστηκαν οι ποσότητες του όγκου βροχής για τη διαστασιολόγηση του συστήματος ομβρίων. Για τη θεώρηση κάποιων χαρακτηριστικών σεναρίων ζήτησης για το νησί της Πάτμου, απαιτούνται δεδομένα για τον αριθμό των κατοικιών που υπάρχουν στο νησί, καθώς και για τα τετραγωνικά μέτρα που καταλαμβάνουν οι επιφάνειές τους. Επίσης, μελετήθηκε ο αριθμός των ατόμων που απαρτίζουν ένα νοικοκυριό, ώστε να εξετασθούν τα πιο αντιπροσωπευτικά σενάρια ζήτησης. Τα στοιχεία αυτά προέκυψαν από την πιο πρόσφατη απογραφή πληθυσμού και κατοικιών που έγινε από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ, 2011).

Με χρήση του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), και συγκεκριμένα αξιοποιώντας την Υπηρεσία Θέασης Ορθοφωτογραφιών που δημιουργήθηκε και παρέχεται από την Εθνικό Κτηματολόγιο και Χαρτογράφηση Α.Ε. (ΕΚΧΑ Α.Ε.), έγινε ψηφιοποίηση για τα κτήρια του οικισμού της Σκάλας, με σκοπό να εκτιμηθούν οι επιφάνειες των κτηρίων και κατά επέκταση οι επιφάνειες συλλογής του συστήματος ομβρίων. Στο Σχήμα 3.1 φαίνονται οι ψηφιοποιημένες μονάδες για τον οικισμό της Σκάλας Πάτμου.

Στη συνέχεια, έγινε η ανάπτυξη και εφαρμογή του μοντέλου ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου. Διερευνήθηκαν ορισμένα σενάρια ζήτησης και μελετήθηκε η απόδοση του συστήματος για κάθε ένα από αυτά. Τα σενάρια παρουσιάζονται αναλυτικά στο τέλος του κεφαλαίου.

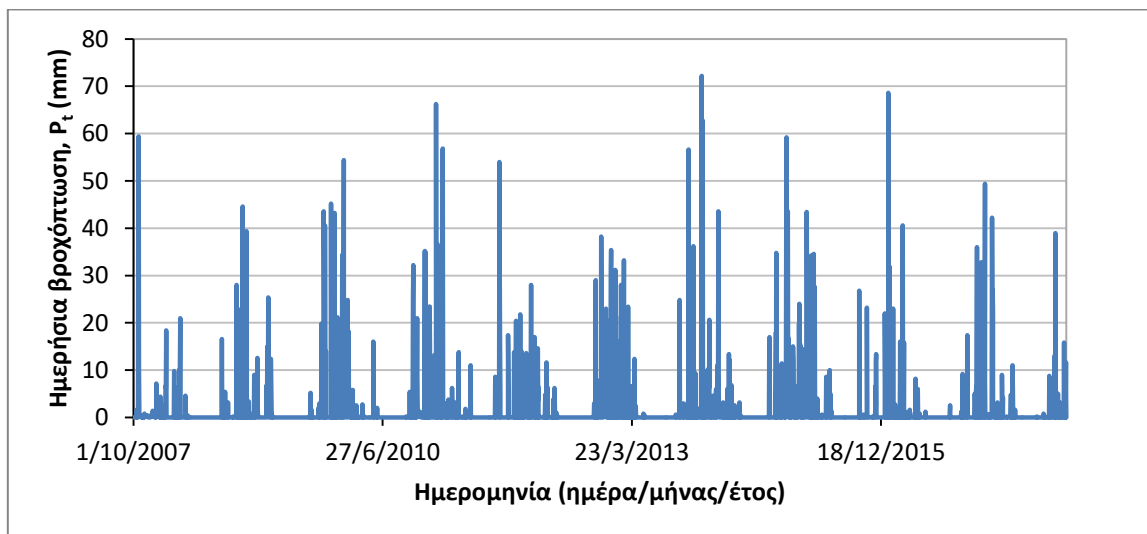


Σχήμα 3.1 Ψηφιοποιημένες μονάδες οικισμού Σκάλας Πάτμου (Υπόβαθρο: ΕΚΧΑ Α.Ε.)

3.2 Δεδομένα Βροχόπτωσης

Για την επίτευξη του σκοπού της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές βροχόπτωσης του βροχομετρικού σταθμού Πάτμου για την χρονική περίοδο 2007 - 2017. Πρόκειται για έναν αυτόματο τηλεμετρικό σταθμό που ανήκει στο δίκτυο NOANN (Lagouvardos et al., 2017) του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Οι τιμές βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν περιείχαν τιμές ανά δέκα λεπτά της ώρας. Στις περιπτώσεις που υπήρχε έλλειψη κάποιας τιμής βροχόπτωσης ανά δεκάλεπτο της ώρας, πραγματοποιήθηκε ποιοτικός έλεγχος με σκοπό την πλήρη αξιοποίηση της χρονοσειράς. Στα πλαίσια του ποιοτικού ελέγχου, έγινε συμπλήρωση των στοιχείων με χρήση των βροχομετρικών δεδομένων των γειτονικών σταθμών Σάμου και Ικαρίας.

Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζονται τα δεδομένα βροχόπτωσης για τη χρονική περίοδο 2007-2017 του σταθμού Πάτμου.



Σχήμα 3.2 Κατανομή βροχόπτωσης διάρκειας 10 ετών από δεδομένα του σταθμού Πάτμου

Το χρονικό διάστημα 2007 – 2017 για το οποίο έγινε η διερεύνηση της παρούσας εργασίας, καλύπτει τις απαιτήσεις σε βροχομετρικά δεδομένα για τη διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενής. Σύμφωνα με το γερμανικό κανονισμό DIN 1989-1 (2002) του Γερμανικού Ινστιτούτου Τυποποίησης, το απαιτούμενο διάστημα είναι από πέντε έως δέκα έτη.

3.3 Ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλου οικιακής ομβροδεξαμενής

3.3.1 Γενικά

Η συλλογή ομβρίων (Rainwater harvesting) είναι μία τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη συλλογή και αποθήκευση του βρόχινου νερού από τις 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 (Arpan, 2000, Zhu et al., 2004). Η τεχνολογία αυτή αποτελεί μία εναλλακτική πηγή καθαρού νερού, ιδανική για οικιακή χρήση. Το συλλεγόμενο νερό, συνήθως χρησιμοποιείται για παροχή νερού στην τουαλέτα, το πλυντήριο, το πλύσιμο του αμαξιού και το πότισμα.

Το βρόχινο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για πόση εάν προηγηθεί η κατάλληλη επεξεργασία. Η οικιακή χρήση συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού μπορεί να προσφέρει εξοικονόμηση νερού παγκοσμίως. 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).

Η συλλογή όμβριων υδάτων για αστική χρήση αποτελεί μια σύγχρονη, σχετικά φθηνή και απλή τεχνολογία εξοικονόμησης νερού. Χαρακτηρίζεται ως αποτελεσματική λύση για παροχή νερού ενάντια στο πρόβλημα της αυξανόμενης λειψυδρίας και της ζήτησης. Συμβάλλει στην αύξηση των υδατικών αποθεμάτων και μπορεί να οδηγήσει ένα προβληματικό σύστημα σε αυτοδυναμία και αειφορία (Λόντρα, 2014).

Είναι γεγονός ότι σε πολλές χώρες όπου οι υδατικοί πόροι δεν είναι ποσοτικά και ποιοτικά επαρκείς για κατανάλωση από τον άνθρωπο, το νερό της βροχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόση και άλλες οικιακές χρήσεις. Το νερό της βροχής μπορεί επίσης να αποτελέσει την κύρια πηγή πόσιμου νερού για τον πληθυσμό νησιών που είναι ιδιαίτερα απομακρυσμένα.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής τεχνολογιών συλλογής ομβρίων είναι:

1. Το επεξεργασμένο βρόχινο νερό καταναλώνεται κοντά ή στο σημείο συλλογής του. Αυτό μειώνει την πιθανότητα μόλυνσης κατά τη μεταφορά του και μειώνει τα έξοδα παροχής νερού από το δημόσιο δίκτυο.
2. Ένα σημαντικό ποσοστό ζήτησης από το δημόσιο δίκτυο θα μπορεί να καλυφθεί από ένα σύστημα συλλογής ομβρίων.
3. Τα συστήματα συλλογής ομβρίων μπορούν να εγκατασταθούν σε υπάρχουσες και νέες κατοικίες.
4. Το κόστος παρακολούθησης και διαχείρισης είναι γενικά χαμηλό, ειδικά αν το νερό δεν προορίζεται για πόση.
5. Το σπίτι μπορεί να είναι αυτόνομο σε ανάγκες νερού όταν το δημόσιο δίκτυο διακόπτεται. Συστήματα συλλογής ομβρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμη και για αποτροπή πλημμυρών (π.χ. Ιρλανδία) (Li et al., 2010).

Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα ανά τον κόσμο που αποδεικνύουν ότι η συλλογή ομβρίων είναι αποδοτική. Στη Γερμανία, μία μελέτη έδειξε ότι η δυνατότητα εξοικονόμησης πόσιμου νερού σε ένα σπίτι με σύστημα συλλογής ομβρίων κυμαίνεται από 30% έως 60%, αναλόγως τη ζήτηση και τη συλλεγόμενη επιφάνεια (Herrmann and

Schmida, 2000). Στην Αυστραλία, αναλύθηκαν 27 σπίτια με σύστημα συλλογής ομβρίων στο Newcastle και το συμπέρασμα που εξήχθη ήταν ότι η χρήση βρόχινου νερού εξοικονομούσε πόσιμο νερό σε ποσοστό 60% (Coombes et al., 2000). Στην Βραζιλία, μία άλλη μελέτη (Ghisi et al., 2006) έδειξε δυνατότητα εξοικονόμησης νερού σε ποσοστό 34% έως 92% με χρήση συστημάτων συλλογής ομβρίων σε 62 πόλεις και μέσο δυναμικό για εξοικονόμηση πόσιμου νερού 69%.

Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα της μεθόδου συλλογής ομβρίων υδάτων, όπως το υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης και η αβεβαιότητα στην ποσότητα του νερού που θα συλλέγεται. Η αβεβαιότητα είναι παράγοντας που δεν μπορεί να παραβλεφθεί, καθώς η μέθοδος εξαρτάται από τη βροχόπτωση που είναι αβέβαιη υδρολογική παράμετρος.

3.3.2 Συλλογή ομβρίων υδάτων στην Ελλάδα

Η συλλογή ομβρίων υδάτων είναι ευρέως διαδεδομένη τεχνική σε όλο τον κόσμο εδώ και πάνω από 4000 χρόνια. Στην Ελλάδα, η συλλογή ομβρίων υδάτων σε δεξαμενές (στέρνες) εφαρμόζεται τα τελευταία 4000 με 5000 χρόνια. Οι περισσότερες από αυτές τις δεξαμενές χρησιμοποιήθηκαν ως κύρια πηγή ύδρευσης, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν και για την εποχιακή ρύθμιση του νερού μεγάλων συστημάτων μεταφοράς (Antonίου et al., 2006).

Στα νησιά του Αιγαίου, η τεχνολογία συλλογής ομβρίων υδάτων αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της Κυκλαδικής περιόδου (περίοδος 3.100-1.600 π.Χ.). Η αποθήκευση του νερού γινόταν σε στέρνες και δεξαμενές, με την παροχή τους να εξασφαλίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα συστήματα συλλογής που διέθεταν τα οικιστικά σύνολα. Συστατικό στοιχείο της νησιωτικής αρχιτεκτονικής αποτελούσαν οι υδρορροές των σπιτιών. Σε πολλές περιοχές οι κάτοικοι εκμεταλλεύονταν τις φυσικές κλίσεις του εδάφους για τη συλλογή του νερού σε δεξαμενές υπερκείμενες των οικισμών. Το μικρό με μεσαίο μέγεθος που είχαν οι στέρνες που βρέθηκαν μεταγενέστερα, καθώς και ο μεγάλος τους αριθμός στις Κυκλάδες (πάνω από 55), δείχνει ότι το νερό συλλεγόταν σε μικρή κλίμακα, για παράδειγμα αναλογικά με το μέγεθος της οικίας. Μία τέτοια μέθοδος ήταν σίγουρα αναμενόμενη λόγω της κατασκευή της πόλης σε διάφορα διαδοχικά επίπεδα και τον

τεράστιο μηχανισμό για τη συλλογή του νερού στους σωστά διαμορφωμένους υπόγειους χώρους της (Bitis, 2013). 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).

Στέρνες έχουν βρεθεί κάτω από ιδιωτικά και δημόσια κτίρια, αλλά και κάτω από ναούς και θέατρα. Η δεξιοτεχνία της κατασκευής τους 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.

Αρκετά ευρήματα σε διάφορα νησιά αποδεικνύουν τη χρήση συστημάτων συλλογής ομβρίων. Στο νησί της Δήλου έχουν βρεθεί μικρές στέρνες που αποθήκευαν το βρόχινο νερό σε διάφορα σημεία του νησιού. Η κεντρική στέρνα του νησιού βρίσκεται μπροστά από ένα θέατρο. Η βροχή έπεφτε πάνω στο κοίλο μέρος του θεάτρου και διοχετευόταν σε δεξαμενή που ήταν καλυμμένη με πλάκα (Antonίου et al., 2006, Bitis, 2013).

Στη Σαντορίνη έχουν βρεθεί περισσότερες από 50 στέρνες στον οικισμό της Αρχαίας Θήρας. Τα μεγέθη τους ποικίλουν και χρησιμοποιούνταν για τη συλλογή του νερού της βροχής από τις επίπεδες στέγες των κτηρίων. Έπειτα, με τα κατάλληλα κανάλια το νερό διοχετευόταν στις δεξαμενές (Πρέκα, 2016). Στην Κύθνο έχουν βρεθεί κυρίως δημόσιες στέρνες. Υπήρχαν ορισμένες μόνο ιδιωτικές που αποτελούσαν ένδειξη της κοινωνικής θέσης και του πλούτου των ιδιοκτητών τους.

Ένα από τα νησιά που διατηρεί την παράδοση μέχρι και σήμερα είναι η Φολέγανδρος. Στο νησί υπάρχουν 2500 στέρνες και ομβροδεξαμενές. Τα περισσότερα νησιά των Κυκλάδων περιόρισαν τη χρήση δεξαμενών όταν πραγματοποιήθηκε η σύνδεσή τους στο δίκτυο ύδρευσης.

Στο νησί της Κιμώλου, διατηρούνται ακόμα μερικές στέρνες για τη συλλογή του βρόχινου νερού για πόση, έπειτα από χλωρίωση. Οι περισσότερες στέρνες έχουν σχήμα πιθαριού,

βάθους 3-6 m και βρίσκονται συνήθως στο κατώτερο σημείου του σπιτιού (Κουμουρά, 2016).

Γίνεται μια προσπάθεια αναβίωσης της πρακτικής της συλλογής ομβρίων και γενικότερα της ευαισθητοποίησης για την εξοικονόμηση νερού μέσω ιδιωτικών εταιρειών και μη κυβερνητικών οργανώσεων (ΜΚΟ). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το πρόγραμμα «Συλλογή Όμβριων Υδάτων σε Ελληνικά Νησιά» (συνεργασία των οργανισμών Global Water Partnership Mediterranean - GWP-Med, Μεσογειακό Γραφείο Πληροφόρησης για το Περιβάλλον, τον Πολιτισμό και την Αειφόρο Ανάπτυξη - MIO-ECSDE, Coca-Cola 3E και Coca-Cola Hellas) που ξεκίνησε το 2008. Το πρόγραμμα αυτό αφορά στην προσπάθεια να ξαναμπεί η στέρνα στη ζωή των κατοίκων των νησιών και παράλληλα να βελτιωθούν οι παλαιότερες τεχνικές συλλογής ομβρίων, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην εξοικονόμηση νερού για την κάλυψη των οικιακών αναγκών, κυρίως στα μικρά νησιά (www.medies.net). Το Πρόγραμμα ξεκίνησε πιλοτικά στα νησιά Σύρο, Τήνο και Νάξο και έπειτα επεκτάθηκε σε συνολικά 19 νησιά των Κυκλάδων, όπου σε συνεργασία με τις Δημοτικές Αρχές πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση νέων και επισκευή παλαιότερων ομβροδεξαμενών σε επιλεγμένα δημόσια κτίρια. Το νερό που συλλέγεται, χρησιμοποιείται κυρίως για άρδευση, πλύσιμο, πότισμα κ.α..

Πλέον, η συλλογή του βρόχινου νερού επανέρχεται προσαρμοσμένη στις σημερινές τεχνολογικές εξελίξεις, ώστε να συντελέσει στην κάλυψη των αυξημένων αναγκών που δημιουργούν ο τουρισμός και οι κλιματικές αλλαγές.

3.3.3 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια γίνεται η προσπάθεια νομοθέτησης για την συλλογή όμβριων υδάτων. Σύμφωνα με την πολεοδομική νομοθεσία ισχύουν τα εξής:

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 πέριξ 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 «Έγκριση 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 m³. 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, (Ανω) Κουφονήσι, Ηρακλεία, 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 m³/έτος (Κυριαζοπούλου, 2012).

3.3.4 Διάταξη συστήματος συλλογής ομβρίων

Γενική περιγραφή συστήματος

Ένα σύστημα συλλογής ομβρίων αποτελείται από τη δεξαμενή συλλογής νερού, την επιφάνεια συλλογής νερού, το σύστημα πρώτης έκπλυσης, το σύστημα μεταφοράς και το σύστημα διανομής του νερού. Το νερό της βροχής αποθηκεύεται σε δεξαμενές (ομβροδεξαμενές) ή στέρνες με σχήμα κυκλικό, ορθογώνιο ή τετράγωνο. Το μέγεθος τους ποικίλει και εξαρτάται συνήθως από την επιφάνεια συλλογής νερού, από την υφιστάμενη νομοθεσία και το κόστος. Μερικά από τα υλικά κατασκευής που χρησιμοποιούνται είναι το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο, ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο γαλβανισμένος σίδηρος, το οπλισμένο ή μη σκυρόδεμα, κατάλληλα προετοιμασμένο εδαφικό υλικό, ή ακόμη και ξύλο (Λόντρα, 2014). Η επιλογή του υλικού είναι θέμα ανάλυσης κόστους-οφέλους, αλλά εξαρτάται και από τη χρήση για την οποία προορίζεται το συλλεγόμενο νερό. Συνήθως προτιμάται το σκυρόδεμα, καθώς διατηρεί καλύτερα την ποιότητα του νερού, αλλά και προσδίδει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στο έργο. Το πλαστικό αποφεύγεται στις δεξαμενές που αποθηκεύουν νερό για πόση, καθώς υποβαθμίζει την ποιότητά του.

Οι ομβροδεξαμενές μπορούν να είναι είτε πλήρως υπόγειες είτε πλήρως υπέργειες (M. Sturm, et al., 2009). Και για τους δυο τύπους δεξαμενών ορίζονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Οι υπέργειες δεξαμενές επιτρέπουν την ευκολία επιθεώρησης και συντήρησης, άρα και την ανίχνευση ρωγμών και διαρροών. Συνήθως, οι υπέργειες δεξαμενές κοστίζουν λιγότερο από τις υπόγειες (Abdulla and Al-Shareef, 2009), καθώς δεν απαιτείται εκσκαφή για την εγκατάστασή τους. Επίσης, είναι δυνατό να τοποθετηθούν σε υψηλό σημείο με σκοπό την εκμετάλλευση του πιεζομετρικού φορτίου που δημιουργείται. Ωστόσο, οι υπέργειες δεξαμενές καταλαμβάνουν αρκετό χώρο και απαιτούν καλή θεμελίωση, γεγονός που αυξάνει το κόστος κατασκευής.

Οι υπόγειες δεξαμενές έχουν το πλεονέκτημα του μειωμένου κόστους εγκατάστασης, διότι οι εργασίες μπορούν να ενσωματωθούν με τη θεμελίωση του κτιρίου. Εάν η κατασκευή γίνει μεμονωμένα, τότε το κόστος αυξάνεται, καθώς απαιτείται εκσκαφή του εδάφους (Zhe et al., 2010). Επίσης, οι υπόγειες δεξαμενές έχουν αυξημένο κόστος λειτουργίας, λόγω άντλησης. Πλημμυρικά ή υπόγεια νερά ενδέχεται να επηρεάσουν την ποιότητα του αποθηκευμένου νερού. Τέλος, οι δεξαμενές που βρίσκονται υπόγεια είναι δυσκολότερο να επιθεωρηθούν και να επισκευαστούν.

Οι δεξαμενές μπορούν να είναι σκεπασμένες ή ακάλυπτες. Οι προφυλάξεις που απαιτούνται στη χρήση των δεξαμενών αποθήκευσης περιλαμβάνουν την παροχή ενός κατάλληλου περιβλήματος για την ελαχιστοποίηση της μόλυνσης του νερού από τον άνθρωπο, ζώα ή άλλες περιβαλλοντικές προσμείξεις, και ένα σφιχτό κάλυμμα για την πρόληψη της ανάπτυξης φυκιών και την αναπαραγωγή των κουνουπιών. Τα ανοικτά δοχεία δεν είναι κατάλληλα για τη συλλογή νερού προς πόση (Helmreich and Horn, 2009).

Περιγραφή συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων

Τα συστήματα συλλογής και αποθήκευσης όμβριων υδάτων μπορούν να εγκατασταθούν τόσο σε υφιστάμενα όσο και σε υπό κατασκευή κτίρια. Συνήθως, τα συστήματα αποτελούνται από τρεις κύριες δομές, την επιφάνεια συλλογής, το σύστημα μεταφοράς και τον χώρο αποθήκευσης του συλλεγόμενου βρόχινου νερού. Συμπληρωματικά, υπάρχουν οι δομές που αφορούν τον καθαρισμό και τη διανομή του νερού.

Επιφάνεια συλλογής: Η επιφάνεια συλλογής είναι συνήθως η στέγη μιας οικίας ή άλλου κτιρίου ενδιαφέροντος. Η επιφάνεια συλλογής και το υλικό κατασκευής της, επηρεάζουν όχι μόνο την αποτελεσματικότητα συλλογής του νερού, αλλά και την ποιότητά του. Η ποιότητα του νερού που συλλέγεται εξαρτάται από την ένταση της βροχόπτωσης και από το υλικό κατασκευής της οροφής. Όταν το νερό προορίζεται για πόση, επιτρέπονται μόνο τα αδρανή υλικά, όπως ξύλο, πλαστικό, αλουμίνιο, fiberglass, κεραμίδια από πηλό, πλακίδια από σκυρόδεμα ή φυσική πέτρα και σε κάθε περίπτωση θα πρέπει η επιφάνεια να είναι είτε άβαφη είτε να χρησιμοποιείται μη τοξικό χρώμα (βαφές χωρίς μόλυβδο). Όταν το νερό της βροχής προορίζεται για μη πόσιμη χρήση δεν υπάρχει περιορισμός στο υλικό κατασκευής. Επίσης, η τραχύτητα του υλικού φαίνεται να έχει επίδραση στα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, οι στέγες με λεία και κεκλιμένη επιφάνεια σε σχέση με στέγες που έχουν επίπεδη τραχεία επιφάνεια συγκεντρώνουν νερό με καλύτερη ποιότητα, καθώς οι στέγες από επίπεδο χαλίκι μπορούν να παρουσιάσουν υψηλές τιμές σε σχεδόν όλες τις ρυπαντικές ουσίες λόγω της εναπόθεσης σωματιδίων, αποσάθρωσης του υλικού και της φυτικής ανάπτυξης, σε αντίθεση με τις λιγότερο τραχείς στέγες (από κεραμίδια, μέταλλο και πολυανθρακικό πλαστικό). Η κλίση της οροφής επηρεάζει το πόσο γρήγορα το νερό απορρέει κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου βροχής. Έτσι, σε μία στέγη με μεγάλη κλίση το νερό απορρέει γρηγορότερα, απομακρύνοντας ρυπαντικά στοιχεία από την οροφή σε αντίθεση με μία λιγότερο απότομη, επίπεδη στέγη στην οποία το νερό κινείται πιο αργά, αυξάνοντας το ρυπαντικό δυναμικό καθώς παραμένει για περισσότερη ώρα στην επιφάνεια.

Για τον υπολογισμό του τελικώς συλλεγόμενου νερού χρησιμοποιείται ο συντελεστής απορροής (C), ο οποίος λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά της στέγης και τις τυχόν απώλειες που οφείλονται σε εξάτμιση, διαρροή, υπερχειλίση και τη μεταφορά. Σύμφωνα με τους Kinkade - Levario, 2007, ο συντελεστής απορροής, C, ανάλογα με το υλικό κάλυψης της επιφάνειας, συνήθως λαμβάνει τιμές μεταξύ 0.3 και 0.9, ενώ κατά το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) που εφαρμόστηκε το 2009 κυμαίνονται από 0.6-0.9 (Πίνακας 3.1). Γενική εκτίμηση είναι ότι για τις στέγες οι τιμές κυμαίνονται από 0.75 έως 0.95.

Σύστημα μεταφοράς όμβριων: Το σύστημα μεταφοράς όμβριων είναι το δίκτυο των σωληνώσεων και αγωγών που μεταφέρει το συλλεγόμενο νερό από την επιφάνεια της

στέγης προς τη δεξαμενή αποθήκευσης. Οι διαστάσεις των σωλήνων είναι σκόπιμο να υπολογίζονται με βάση τον νόμο του Manning για τον υπολογισμό του όγκου που θα διοχετεύσουν. Ένα σύνηθες εύρος σχεδιασμού είναι για 2.8 έως 4.5 L/s. Επίσης, οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των όμβριων υδάτων, πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από πλαστικό, PVC ή άλλα αδρανή υλικά. Το pH του νερού της βροχής μπορεί να είναι όξινο με αποτέλεσμα να προκαλέσει τη διάβρωση, και την ενεργοποίηση βαρέων μετάλλων σε μεταλλικούς σωλήνες.

Πίνακας 3.1 Τιμές συντελεστή απορροής C για διαφορετικά υλικά (Πηγή: Kinkade - Levario, 2007 και UNEP, 2009)

Υλικο επιφάνειας	Συντ/της απορροής C, Kinkade - Levario (2007)	Υλικο επιφάνειας	Συντ/της απορροής C, UNEP (2009)
Λείες, στεγανές στέγες π.χ. από μέταλλο, κεραμίδι, τσιμέντο	0.9	Με πλακάκια	0.8-0.9
Χαλικόστρωτες στέγες και λιθόστρωτες επιφάνειες	0.8	Με μεταλλικά φύλλα	0.7-0.9
Επεξεργασμένο έδαφος	0.6	Από σκυρόδεμα (εδάφους)	0.6-0.8
Φυσικό έδαφος	0.3	Φυσικό έδαφος	0.1-0.5

Διατάξεις εκτροπής πρώτης έκπλυσης και καθαρισμού στέγης: Είναι πολύ σημαντικό να προλαμβάνεται η εισροή φερτών και ακαθαρσιών στη δεξαμενή αποθήκευσης για οικιακή χρήση. Η αρχική απορροή κάθε βροχόπτωσης συγκεντρώνει υψηλό ρυπαντικό φορτίο. Οι διατάξεις εκτροπής είναι μία μορφή φίλτρου που εμποδίζει τη διείσδυση απορριμμάτων στο σύστημα. Το σχετικά καθαρό νερό θα είναι διαθέσιμο μετά την πρώτη έκπλυση (first flush), δηλαδή την απομάκρυνση της αρχικής απορροής κάθε βροχόπτωσης. Ο όγκος του νερού που εκτρέπεται για ένα συγκεκριμένο σύστημα συλλογής εξαρτάται από τον αποδεκτό κίνδυνο για τους τελικούς χρήστες. Τα συστήματα αυτά τοποθετούνται πριν την είσοδο της μονάδας αποθήκευσης ώστε να γίνεται το πρώτο εντατικό φιλτράρισμα.

Σύστημα διανομής: Περιλαμβάνει τις διατάξεις άντλησης και μεταφοράς του νερού από τη δεξαμενή προς το σημείο της τελικής κατανάλωσης.

Σύστημα επεξεργασίας/απολύμανσης: Οι διατάξεις αυτές χρησιμοποιούνται όταν το νερό προορίζεται για πόση. Το βρόχινο νερό, αφού μπει στο σύστημα διανομής, επεξεργάζεται και απολυμαίνεται ώστε να αποκτήσει τα απαραίτητα ποιοτικά χαρακτηριστικά που θα το καταστήσουν πόσιμο.

Απαραίτητη είναι και η παρουσία συσκευής αποτροπής αντίστροφης ροής στα κτήρια που χρησιμοποιούν και το κεντρικό δίκτυο ύδρευσης, γιατί με αυτό τον τρόπο δεν γίνεται ανάμειξη των δύο τύπων νερού.

Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζεται ένα σύστημα συλλογής ομβρίων υδάτων για αστική χρήση με υπόγεια δεξαμενή (Πηγή: <http://www.watertech.ie/>).



Σχήμα 3.3 Σύστημα συλλογής ομβρίων υδάτων για αστική χρήση με υπόγεια δεξαμενή (Πηγή: <http://www.watertech.ie/>).

Διαστασιολόγηση δεξαμενής αποθήκευσης όμβριων υδάτων

Για να γίνει η διαστασιολόγηση του μεγέθους δεξαμενής αποθήκευσης όμβριων υδάτων για την κάλυψη αναγκών αστικής χρήσης είναι σημαντικό πριν τη μοντελοποίηση να οριστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν το σύστημα. Οι παράγοντες αυτοί είναι το υλικό και το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής ομβρίων, τα τοπικά δεδομένα βροχόπτωσης, ο αριθμός των εξυπηρετούμενων κατοίκων, η διάρκεια της άνομβρης περιόδου, η ύπαρξη εναλλακτικών πηγών ύδρευσης και το κόστος του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

Επίσης, η διάρκεια συλλογής ομβρίων μπορεί να διαφέρει όπως και η διάρκεια χρήσης του συλλεγόμενου νερού. Η χρήση μπορεί να είναι περιστασιακή, όταν τόσο η συλλογή όσο και η αποθήκευση ομβρίων γίνεται για λίγες μέρες σε μικρές δεξαμενές, ενώ όταν αναφέρεται στη μακρά περίοδο βροχοπτώσεων με την κάλυψη όλων των αναγκών, περιοδική. Μερική χρήση συνιστάται όταν η συλλογή και αποθήκευση ομβρίων γίνεται όλο το χρόνο, αλλά το νερό δεν επαρκεί για την κάλυψη όλων των αναγκών και πλήρης όταν το σύστημα λειτουργεί όλο το χρόνο και ανταποκρίνεται στην κάλυψη όλων των αναγκών οικιακής χρήσης.

Ένα κρίσιμο κομμάτι στη λειτουργία των συστημάτων συλλογής και αποθήκευσης όμβριων υδάτων είναι ο υπολογισμός του βέλτιστου όγκου της δεξαμενής. Το κόστος κατασκευής και η επιφάνεια που απαιτείται για την εγκατάσταση είναι παράγοντες που αποτρέπουν την εγκατάσταση πολύ μεγαλύτερων από το αναγκαίο, ενώ η αποτυχία στην κάλυψη των αναγκών και της ζήτησης ορίζει την ελάχιστη χωρητικότητα.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες για τη διαστασιολόγηση ομβροδεξαμενών, που βασίζονται είτε στην ανάπτυξη μοντέλων ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (Fewkes, 2000, Fewkes and Butler, 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), είτε στην ανάπτυξη πιθανοτικών μοντέλων (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 μοντέλα δεν μπορούν να τυποποιηθούν, καθώς τα αποτελέσματά τους επηρεάζονται από τις τοπικές παραμέτρους συλλογής και ζήτησης (Λόντρα, 2014). Έτσι,

κάθε χώρα εφαρμόζει πρακτικές, μοντέλα και ορίζει παραμέτρους σύμφωνα με τα πρότυπά της.

3.4 Μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (daily water balance model)

Το μοντέλο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, προσομοιώνει τη λειτουργία της δεξαμενής όμβριων υδάτων ενός συστήματος συλλογής και αποθήκευσης ομβρίων σε ημερήσια βάση. Στο οικιακό σύστημα συλλογής που εξετάζεται, η συλλογή του βρόχινου νερού γίνεται από τη στέγη του κτηρίου και αποθηκεύεται σε δεξαμενή. Η ζήτηση αφορά σε κάλυψη αναγκών αστικής χρήσης, εκτός της πόσης, και εξετάζονται διάφορα ποσοστά ικανοποίησης. Με την προσομοίωση αυτή εξετάζεται η αποδοτικότητα του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων.

Τα βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο και καθορίζουν τον όγκο του βρόχινου νερού που δύναται να συλλεχθεί. Ο όγκος αυτός προσδιορίζει τη χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης και κατά συνέπεια το ποσοστό κάλυψης των αναγκών ζήτησης.

Η ημερήσια αποθηκευμένη ποσότητα βρόχινου νερού στη δεξαμενή, η οποία εξαρτάται από την ποσότητα και τη συχνότητα της βροχόπτωσης και από τη ζήτηση νερού για την κάλυψη των αναγκών που έχουν οριστεί, υπολογίζεται από την εξίσωση του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου (Tsihrintzis and Baltas, 2013):

$$S_t = S_{t-1} + R_t - D_t \quad , \quad 0 \leq S_{t-1} \leq V_{tank} \quad (3.1)$$

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)

3.4.1 Προσδιορισμός συλλεγόμενου όγκου ομβρίων υδάτων

Ο όγκος του νερού της βροχής που θα απορρεύσει από την επιφάνεια συλλογής και θα συλλεχθεί σε ημερήσια βάση υπολογίζεται ως εξής:

$$R_t = C \cdot A \cdot P_{eff,t} \quad (3.2)$$

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)

Λόγω του ρυπαντικού φορτίου από τη σκόνη και άλλων υπολειμμάτων που υπάρχουν στις στέγες και στις άλλες επιφάνειες, κάποιος αρχικός όγκος νερού που απορρέει θεωρείται ποιοτικά υποβαθμισμένος και δεν πρέπει να συλλέγεται και να αποθηκεύεται στην ομβροδεξαμενή. Η πρώτη αυτή έκπλυση του νερού της βροχής (first flush) αφαιρείται από την ημερήσια βροχόπτωση ώστε να προκύψει η ωφέλιμη $P_{eff,t}$. Η ημερήσια ωφέλιμη βροχόπτωση υπολογίζεται ως:

$$P_{eff,t} = P_t - 0,33 \text{ (σε mm)} \quad (3.3)$$

3.4.2 Προσδιορισμός αναγκών ζήτησης

Η ημερήσια ζήτηση νερού για μια κατοικία εξαρτάται:

- από τον αριθμό των ατόμων που διαμένουν σε αυτή, N_{cap}
- την κατανάλωση νερού κατά άτομο, q (m^3 /κάτοικο/ημέρα) και
- από το ποσοστό, p της συνολικής χρήσης νερού, που ορίζεται ότι θα ικανοποιείται από το αποθηκευμένο νερό της ομβροδεξαμενής.

Η σχέση που δίνει τη ζήτηση είναι:

$$D_t = 10^{-3} \cdot N_{cap} \cdot q \cdot (P/100) \quad (3.4)$$

Η ημερήσια οικιακή κατανάλωση νερού κατά άτομο, q ορίζεται από την ΚΥΑ Αριθ. Δ11/Φ.16/8500 (ΦΕΚ 174/Β/1991). Η ελάχιστη κατανάλωση θεωρείται το όριο 100 L/κάτοικο/ημέρα, ενώ το ανώτερο τα 200 L/κάτοικο/ημέρα.

Το ποσοστό, p της συνολικής χρήσης νερού που θα χρησιμοποιείται από την ομβροδεξαμενή, εξαρτάται από τη μέση ετήσια βροχόπτωση, το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής και τον αριθμό των κατοίκων που εξυπηρετούνται. Η μέγιστη τιμή του ποσοστού αυτού σε περίπτωση που δε χρησιμοποιείται για πόση, κυμαίνεται από 40 έως 55% (Tsihrintzis and Baltas, 2013). Οι καταναλώσεις νερού για οικιακή χρήση για μία τυπική οικογένεια στην Ευρώπη δίνονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 Κατανάλωση νερού για μια τυπική οικογένεια στην Ευρώπη (Πηγή: Karavitis, 2008)

Χρήση	Ποσοστό (%)
Καζανάκι τουαλέτας	33
Μπάνιο - ντους	20-32
Πλυντήρια (ρούχων-πιάτων)	15
Μαγείρεμα - πόση	3
Πότισμα, πλύσιμο αυτοκινήτου κ.α.	17-29

3.4.3 Διαστασιολόγηση όγκου ομβροδεξαμενής

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η μέθοδος του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου για τη διαστασιολόγηση της ομβροδεξαμενής.

Σύμφωνα με την Εξίσωση (3.1) του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου, ο όγκος του νερού που θα μπορούσε να αποθηκευτεί στη ομβροδεξαμενή οποιαδήποτε ημέρα, S_t , λαμβάνοντας υπόψη τις Εξισώσεις (3.2) και (3.4), υπολογίζεται ως εξής (Λόντρα, 2014):

$$S_t = S_{t-1} + C \cdot A \cdot P_{eff,t} - N_{cap} \cdot q \cdot \left(\frac{P}{100}\right) \quad , \quad 0 \leq S_t - 1 \leq V_{tank} \quad (3.5)$$

Η ημερήσια διαφορά ΔS_t , μεταξύ απορροής και ζήτησης ισούται με:

$$\Delta S_t = C \cdot A \cdot P_{eff,t} - N_{cap} \cdot q \cdot \left(\frac{P}{100}\right) \quad (3.6)$$

Από τις δύο παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι:

$$S_t = S_{t-1} + \Delta S_t \quad (3.7)$$

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. Η τιμή μπορεί να είναι οποιαδήποτε. Η πιο συντηρητική τιμή είναι μηδέν ($S_0=0$) για αρχικά άδεια δεξαμενή, η μέγιστη τιμή ίση με τον όγκο της δεξαμενής ($S_0=V_{\text{tank}}$) για αρχικά γεμάτη δεξαμενή, ή οποιαδήποτε τιμή για μερικώς γεμάτη δεξαμενή.

Για να ληφθεί υπόψη η χωρητικότητα της δεξαμενής κατά τον υπολογισμό της ημερήσιας ποσότητας του αποθηκευμένου νερού, ακολουθείται επαναληπτικά η παρακάτω διαδικασία:

$$\begin{aligned} & \text{if } (S_{t-1} + \Delta S_t) > V_{\text{tank}} \text{ then } S_{t,\text{tank}} = V_{\text{tank}} , \\ & \text{if } (S_{t-1} + \Delta S_t) < V_{\text{tank}} \text{ then } 0, \\ & \text{else } S_t = S_{t,\text{tank}} = S_{t-1} + \Delta S_t \end{aligned} \quad (3.8)$$

όπου

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

Ο όγκος του νερού που θα υπερχειλίσει από τη δεξαμενή, O_t , όταν αυτή είναι γεμάτη με νερό, υπολογίζεται από:

$$\text{if } S_t \geq V_{\text{tank}} \text{ then } O_t = S_t - V_{\text{tank}}, \text{ else } O_t = 0 \quad (3.9)$$

Στην περίπτωση που ο αποθηκευμένος όγκος νερού στη δεξαμενή, $S_{t,\text{tank}}$, δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της καθορισμένης ζήτησης, D_t , τότε η ζήτηση θα καλυφθεί συμπληρωματικά, εν μέρει ή εξολοκλήρου, με νερό από τη δημόσια υπηρεσία παροχής νερού ύδρευσης της περιοχής, T_t , και υπολογίζεται από τον παρακάτω αλγόριθμο:

$$\text{if } (S_t < D_t) \text{ then } T_t = D_t - S_{t,\text{tank}}, \text{ else } T_t = 0 \quad (3.10)$$

Έχοντας διαθέσιμες τις ημερήσιες καταγραφές βροχόπτωσης, τουλάχιστον 5 έως 10 ετών (DIN 1989-1, 2002), η παραπάνω διαδικασία προσδιορισμού του όγκου της ομβροδεξαμενής μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί σε ένα πρόγραμμα λογιστικών φύλλων.

3.4.4 Συντελεστής αποδοτικότητας (Re)

Ο συντελεστής αποδοτικότητας, Re υπολογίζεται ως το ποσοστό του αριθμού των ημερών όπου η ζήτηση εξυπηρετείται πλήρως από το διαθέσιμο αποθηκευμένο νερό της δεξαμενής, προς τον συνολικό αριθμό των ημερών των καταγραφών των βροχομετρικών δεδομένων που προσομοιώνονται για τη διαστασιολόγηση του συστήματος συλλογής. Ο συντελεστής επιτρέπει τον καθορισμό της αποδοτικότητας του συστήματος συλλογής ομβρίων για τα εξεταζόμενα επίπεδα ζήτησης.

$$Re = \frac{\sum(\text{ημέρες που δεν γίνεται χρήση νερού από το δίκτυο})}{\sum(\text{ημέρες καταγραφών βροχομετρικών δεδομένων})} \quad (3.11)$$

3.4.5 Σενάρια προσομοίωσης

Με βάση τα στοιχεία της απογραφής (ΕΛΣΤΑΤ, 2011) και τα δεδομένα που προέκυψαν από την ψηφιοποίηση του οικισμού Σκάλα της Πάτμου, επιλέχθηκαν ορισμένα σενάρια, ώστε να εξετασθεί η λειτουργία του συστήματος ομβρίων υδάτων.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 2.2, στο νησί της Πάτμου η πλειοψηφία των νοικοκυριών είναι μεγέθους δυο ατόμων. Τα μονομελή νοικοκυριά έρχονται δεύτερα σε ποσοστό επικράτησης και ακολουθούν τα νοικοκυριά με τρία και τέσσερα μέλη. Για το μέγεθος της επιφάνειας κατοικίας, εξετάστηκαν τα στοιχεία της απογραφής (Σχήμα 2.6) και αυτά που προέκυψαν από την ψηφιοποίηση του οικισμού της Σκάλας Πάτμου. Τα συνηθέστερα μεγέθη κατοικίας σε τετραγωνικά μέτρα κυμαίνονται από 70 έως 90 m², ενώ υπάρχουν και πολλά κτήρια που υπερβαίνουν τα 120 m².

Έτσι, επιλέχθηκαν τα παρακάτω σενάρια, με σκοπό να εξεταστεί η λειτουργία του συστήματος συλλογής ομβρίων υδάτων:

Σενάριο 1

Προσομοίωση με ποσοστό χρήσης συστήματος 35%, μέση ημερήσια κατανάλωση (180 L/κάτοικο/ημέρα) με μεταβολή του όγκου της ομβροδεξαμενής, V_{tank} και της επιφάνειας συλλογής, A για την εύρεση του συντελεστή αξιοπιστίας, Re του συστήματος συλλογής

ομβρίων. Για το συγκεκριμένο σενάριο επιλέχθηκαν τα παρακάτω μεγέθη νοικοκυριών με βάση τον αριθμό των μελών τους.

1Α: Μονομελής κατοικία

1Β: Διμελής κατοικία

1Γ: Τριμελής κατοικία

1Δ: Τετραμελής κατοικία

Σενάριο 2

Προσομοίωση με ποσοστό χρήσης συστήματος 35%, για ημερήσια κατανάλωση χαμηλή (150 L/κάτοικο/ημέρα), μέση (180 L/κάτοικο/ημέρα) και υψηλή (200 L/κάτοικο/ημέρα). Εξετάστηκε μεταβολή του όγκου της ομβροδεξαμενής, V_{tank} και της επιφάνειας συλλογής, A για την εύρεση του συντελεστή αξιοπιστίας, Re . Για το συγκεκριμένο σενάριο επιλέχθηκαν τα παρακάτω μεγέθη μελών με βάση τον αριθμό των μελών τους.

2Α: Διμελής κατοικία

2Β: Τετραμελής κατοικία

Σενάριο 3

Εύρεση του βέλτιστου ποσοστού χρήσης συναρτήσει του όγκου της ομβροδεξαμενής, V_{tank} για ημερήσια κατανάλωση χαμηλή (150 L/κάτοικο/ημέρα), μέση (180 L/κάτοικο/ημέρα) και υψηλή (200 L/κάτοικο/ημέρα), με στόχο την πλήρη αποδοτικότητα του συστήματος. Για αυτό το σενάριο επιλέχθηκαν οι παρακάτω περιπτώσεις που συνδέουν τον αριθμό μελών της κατοικίας και την επιφάνεια συλλογής, A .

3Α: Διμελής κατοικία, επιφάνεια συλλογής 50 m².

3Β: Τετραμελής κατοικία, επιφάνεια συλλογής 90 m².

4 Αποτελέσματα - Συζήτηση

4.1 Εφαρμογή του μοντέλου για την περίοδο 2007-2017 σε τυπική οικία

Εφαρμόστηκε το μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής για τη νήσο Πάτμο σε ένα αντιπροσωπευτικό σενάριο τυπικής κατοικίας. Εξετάστηκε κατοικία με δυο μέλη $N_{cap}=2$ και επιφάνεια συλλογής $A=70 \text{ m}^2$. Το ποσοστό ζήτησης θεωρήθηκε $p=35\%$ και η χωρητικότητα της ομβροδεξαμενής:

(α): $V_{tank}=50 \text{ m}^3$ και

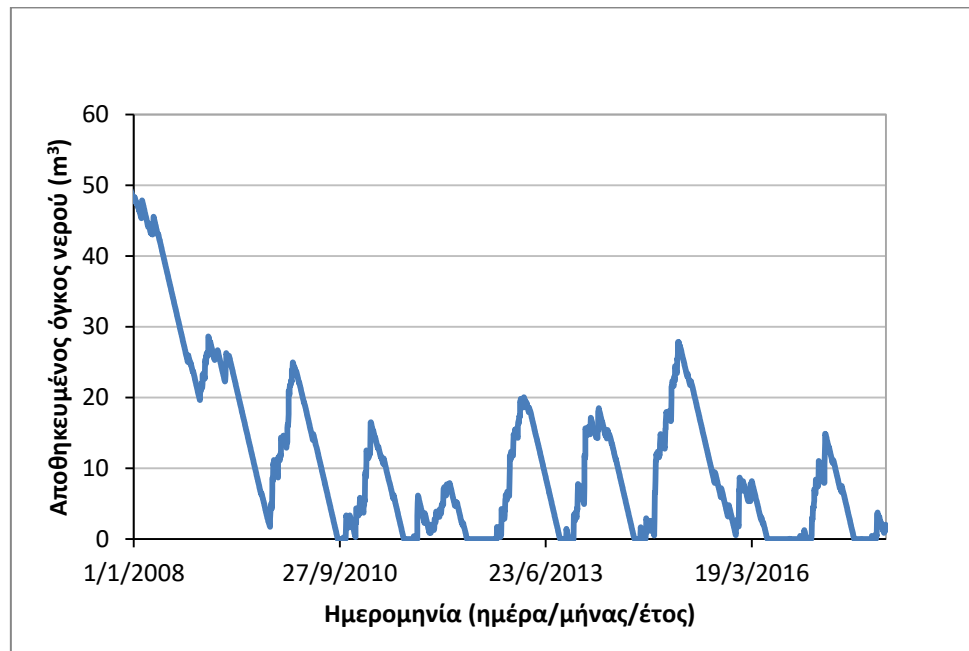
(β): $V_{tank}=5 \text{ m}^3$

Λήφθηκε τιμή μέσης κατανάλωσης $q=180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$. Θεωρήθηκε ότι η λειτουργία του συστήματος ξεκινάει με γεμάτη δεξαμενή και όγκο νερού ίσο με τη χωρητικότητά της, δηλαδή 50 m^3 για την περίπτωση (α) και 5 m^3 για την περίπτωση (β). Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε το μοντέλο ισοζυγίου ομβροδεξαμενής για το συγκεκριμένο σενάριο, βρέθηκε ο συντελεστής αποδοτικότητας, Re του συστήματος και μέσα από τα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι συνθήκες λειτουργίας του.

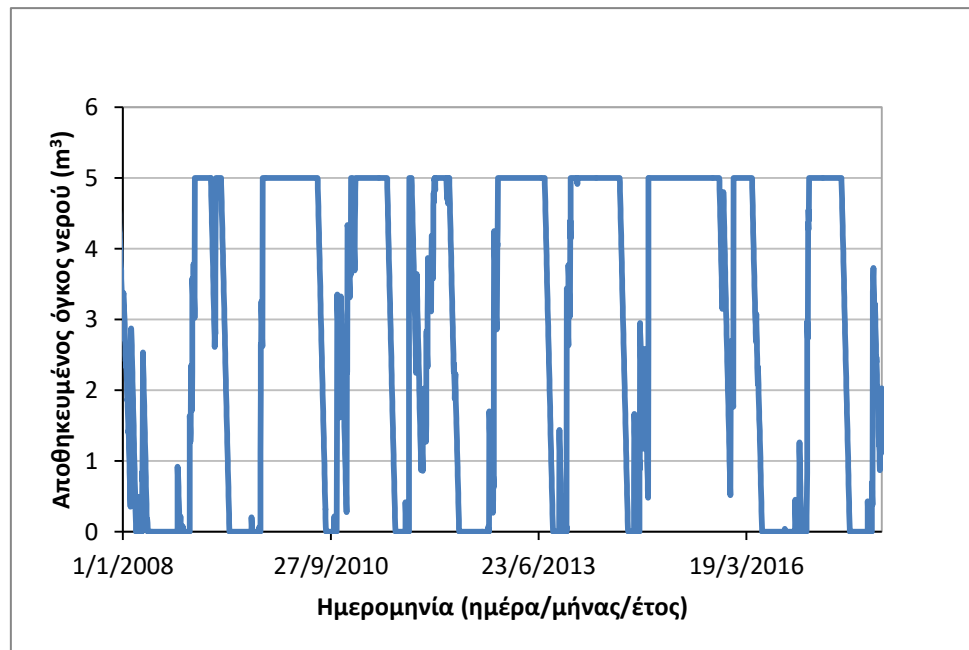
Προκύπτει συντελεστής αξιοπιστίας για την περίπτωση (α): 82.64% και για την περίπτωση (β): 72.44%.

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται ο αποθηκευμένος όγκος νερού στη δεξαμενή για το σενάριο τυπικής κατοικίας που εξετάστηκε με τα δεδομένα βροχόπτωσης 10 ετών (01/10/2007-30/09/2017).

(α)



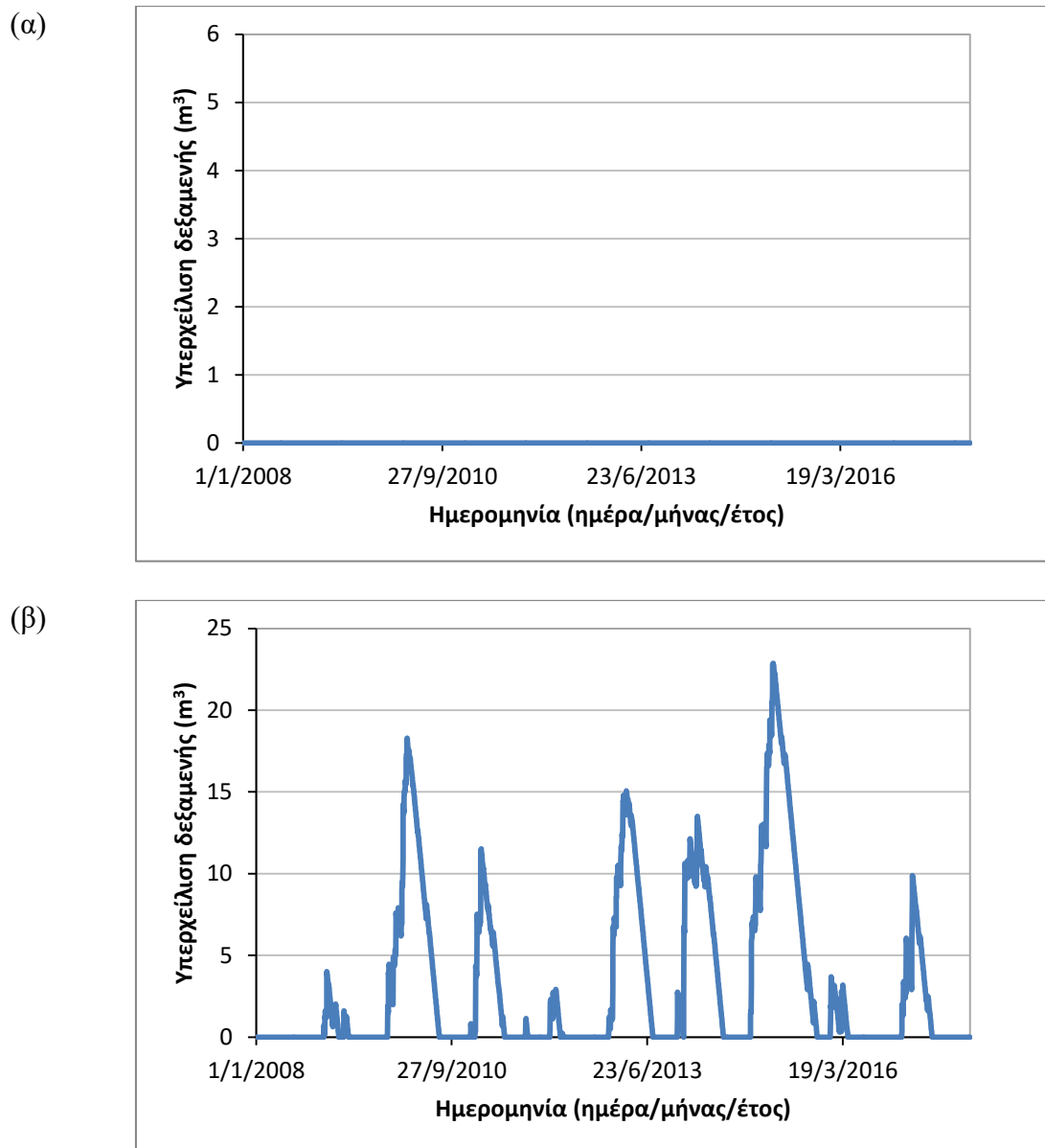
(β)



Σχήμα 4.1 Αποθηκευμένος όγκος νερού στη δεξαμενή συλλογής για $N_{cap}=2$, $A=70 \text{ m}^2$, $p=35\%$, $q=180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$ και (α) $V_{tank}=50 \text{ m}^3$, (β) $V_{tank}=5 \text{ m}^3$

Ο όγκος νερού που υπολογίστηκε προορίζεται για την κάλυψη 35% των αναγκών των κατοίκων με ημερήσια κατανάλωση 180 L/κάτοικο/ημέρα. Οι διακυμάνσεις του σχήματος δηλώνουν τις αυξομειώσεις της ποσότητας του νερού στη δεξαμενή. Τις ημέρες που το σύστημα δεν είναι δυνατό να καλύψει τις ανάγκες των κατοίκων, η ποσότητα νερού που απαιτείται καλύπτεται με άλλους τρόπους που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται ο όγκος υπερχείλισης της δεξαμενής νερού για το σενάριο τυπικής κατοικίας που εξετάστηκε με τα δεδομένα βροχόπτωσης 10 ετών (01/10/2007-30/09/2017).

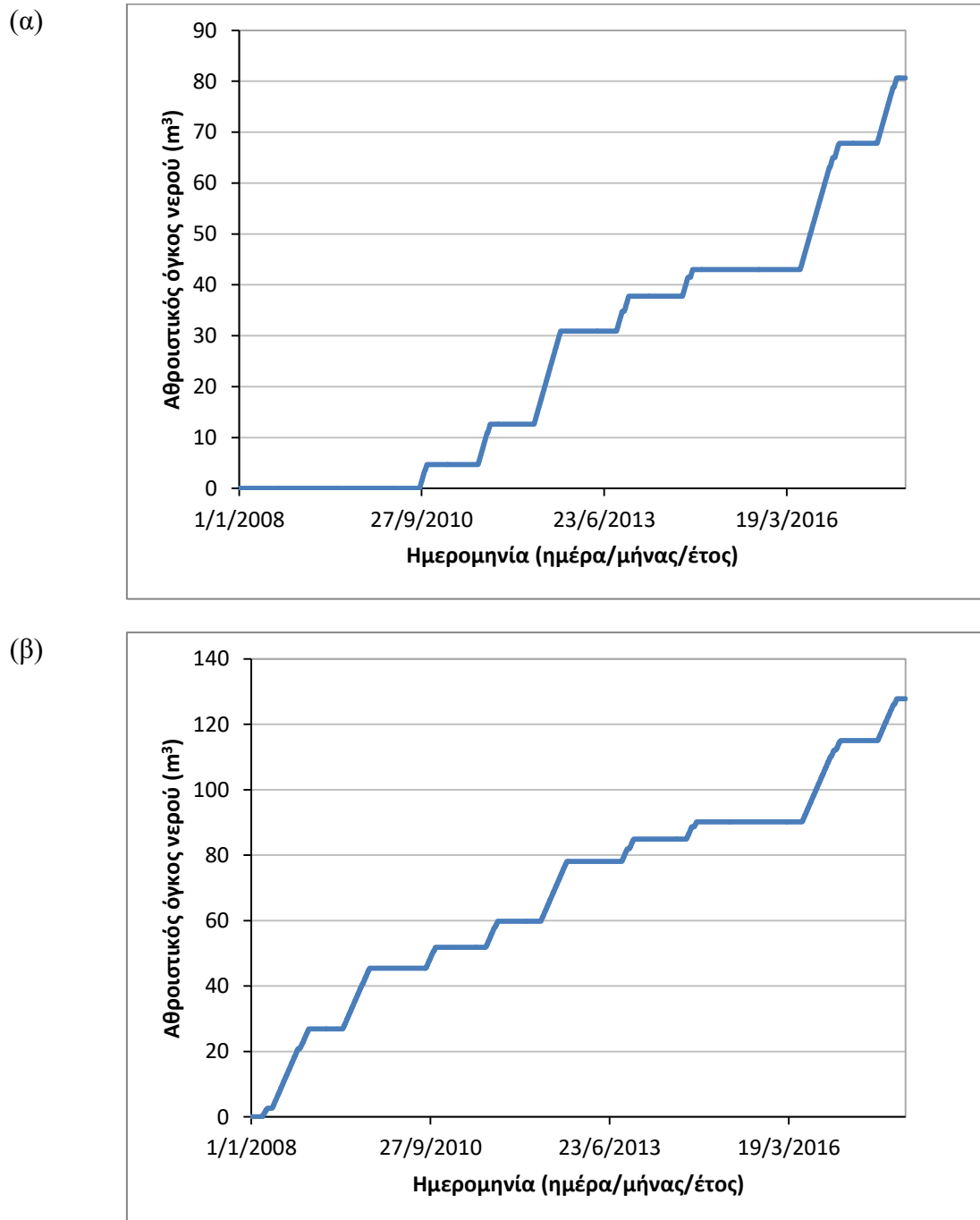


Σχήμα 4.2 Υπερχείλιση της δεξαμενής συλλογής νερού για $N_{cap}=2$, $A=70 \text{ m}^2$, $p=35\%$, $q=180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$ και (α) $V_{tank}=50 \text{ m}^3$, (β) $V_{tank}=5 \text{ m}^3$

Στην περίπτωση (α), παρατηρείται μία μικρή υπερχείλιση στη λειτουργία του συστήματος κατά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας, ενώ στη συνέχεια η υπερχείλιση είναι μηδενική. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει πλεόνασμα νερού κατά την περίοδο των 10 ετών. Εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο όγκος των 50 m^3 είτε επαρκεί, είτε είναι αρκετά μεγάλος για ένα τέτοιο

σενάριο. Έτσι, τα 50 m³ δε σημαίνει ότι είναι και ο βέλτιστος όγκος για ένα σύστημα στην Πάτμο. Ο βέλτιστος όγκος του συστήματος θα εξεταστεί παρακάτω.

Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζεται ο αθροιστικός όγκος νερού που παρέχεται από το δίκτυο για το σενάριο τυπικής κατοικίας που εξετάστηκε με τα δεδομένα βροχόπτωσης της ίδιας περιόδου.



Σχήμα 4.3 Αθροιστικός όγκος νερού που παρέχεται από το δίκτυο για $N_{cap}=2$, $A=70 \text{ m}^2$, $p=35\%$, $q=180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$ και (α) $V_{tank}=50 \text{ m}^3$ (β) $V_{tank}=5 \text{ m}^3$

Η συνολική ποσότητα νερού που χρησιμοποιήθηκε από το δίκτυο σε περίοδο λειτουργίας του συστήματος συλλογής ομβρίων για την περίπτωση (α) είναι 80.64 m^3 . Το νερό αυτό παρέχεται στους κατοίκους όταν το νερό που βρίσκεται στη δεξαμενή αποθήκευσης βρόχινου νερού δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες τους.

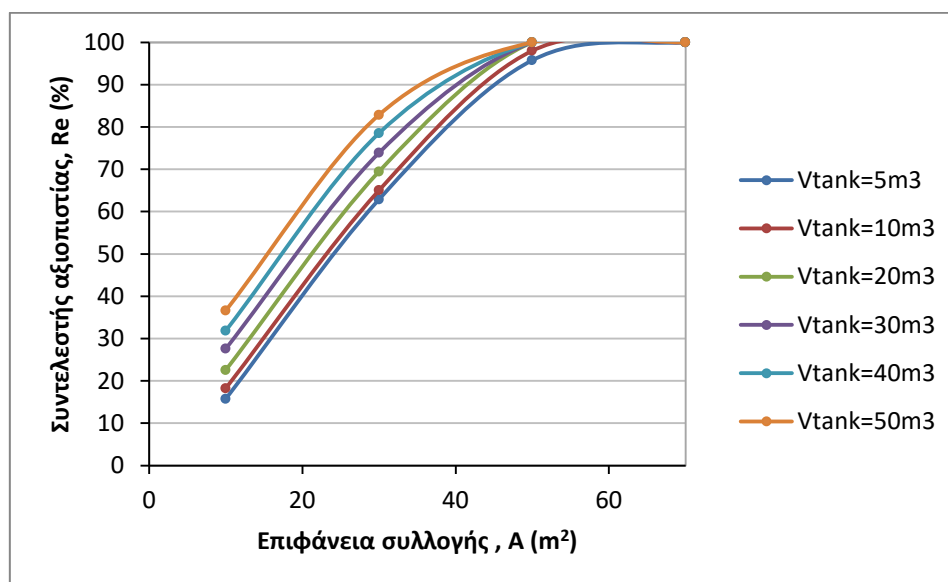
4.2 Διερεύνηση αξιοπιστίας συστήματος Ο/Δ για επιμέρους σενάρια

4.2.1 Σενάριο 1

Εξετάστηκε ποσοστό χρήσης συστήματος $p=35\%$ για μέση ημερήσια κατανάλωση, $q=180$ L/κάτοικο/ημέρα. Η επιφάνεια συλλογής, A και ο όγκος ομβροδεξαμενής, V_{tank} μεταβάλλονται με σκοπό την εύρεση του συντελεστή αξιοπιστίας, Re του συστήματος.

4.2.1.1 Σενάριο 1Α

Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η αποδοτικότητα του συστήματος συλλογής ομβρίων για μονομελή κατοικία.



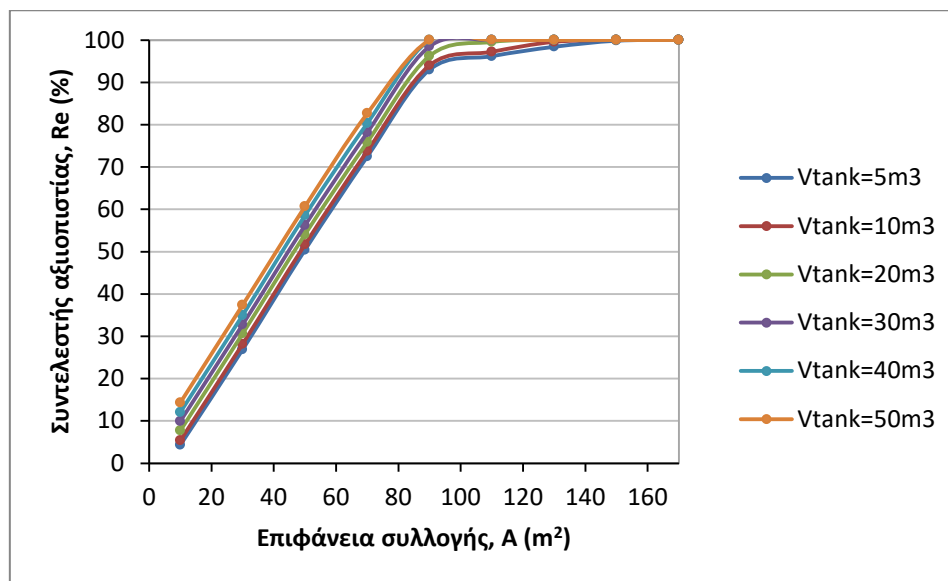
Σχήμα 4.4 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A για μεταβαλλόμενο όγκο ομβροδεξαμενής V_{tank}

Οι τιμές της απόδοσης για το Σενάριο 1Α κυμαίνονται από 15 έως 100%. Μελετήθηκαν όγκοι δεξαμενής, V_{tank} από 5 έως 50 m^3 . Για επιφάνεια συλλογής, A από 10-30 m^2 , παρατηρείται ιδιαίτερα απότομη μεταβολή της αξιοπιστίας για όλους τους όγκους ομβροδεξαμενής που μελετήθηκαν. Για αύξηση του όγκου δεξαμενής με ταυτόχρονη αύξηση της επιφάνειας συλλογής, ο συντελεστής αξιοπιστίας αυξάνεται. Για όγκους ομβροδεξαμενής 5 και 10 m^3 , το σύστημα φτάνει σε ποσοστό αξιοπιστίας 100% για επιφάνεια συλλογής 70 m^2 . Με μεταβολή της επιφάνειας συλλογής από 30 σε 50 m^2 , το

σύστημα αυξάνει την απόδοσή του κατά 30%. Μεγαλύτεροι όγκοι δεξαμενής (από 20 έως 50 m³), δίνουν πλήρη αποδοτικότητα στο σύστημα για επιφάνεια συλλογής 50 m².

4.2.1.2 Σενάριο 1B

Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζεται η αποδοτικότητα του συστήματος συλλογής ομβρίων για κατοικία που αποτελείται από δυο μέλη.



Σχήμα 4.5 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A για μεταβαλλόμενο όγκο ομβροδεξαμενής V_{tank}

Η απόδοση του συστήματος για το Σενάριο 1B κυμαίνεται από 4 έως 100%. Παρατηρείται ότι για αύξηση της επιφάνειας συλλογής από 10 έως 90 m², η απόδοση του συστήματος παρουσιάζει απότομη αύξηση για όλους τους όγκους δεξαμενής που μελετήθηκαν. Για αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής από 5 έως 40 m³, το σύστημα φτάνει σε πλήρη αποδοτικότητα με ταυτόχρονη μείωση της επιφάνειας συλλογής. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι συνδυασμοί όγκων ομβροδεξαμενής V_{tank} και επιφανειών συλλογής A για τους οποίους το σύστημα έχει πλήρη αποδοτικότητα.

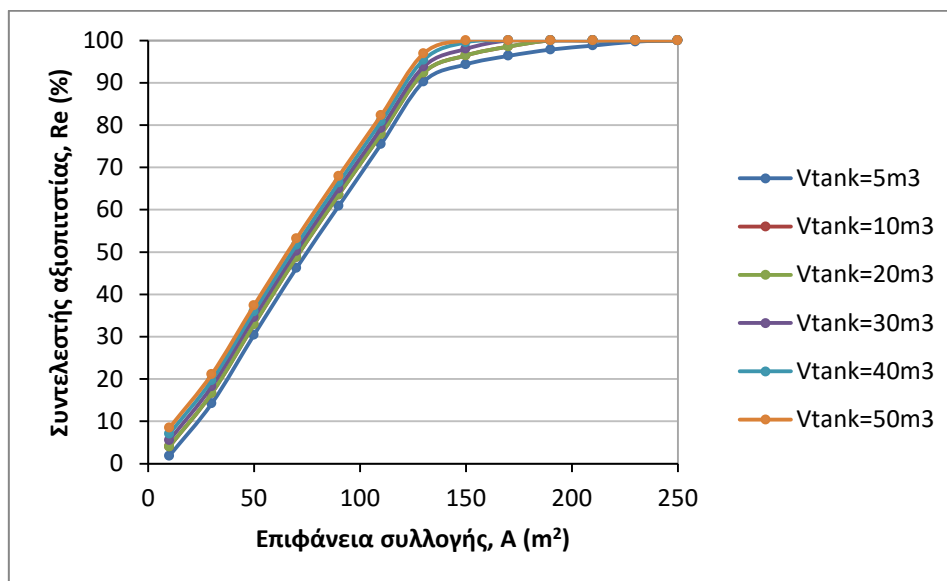
Πίνακας 4.1 Συνδυασμοί όγκων ομβροδεξαμενής V_{tank} και επιφανειών συλλογής A για πλήρη αποδοτικότητα του συστήματος στο Σενάριο 1B

$V_{\text{tank}} \text{ (m}^3\text{)}$	$A \text{ (m}^2\text{)}$
5	170
10	150
20	130
30	110
40	90
50	90

Παρατηρείται ακόμη, ότι για όγκους δεξαμενής από 5 έως 30 m^3 , η αύξηση της επιφάνειας συλλογής από τα 70 στα 90 m^2 , προσδίδει αύξηση της αξιοπιστίας κατά 20%. Για μεγάλους όγκους ομβροδεξαμενής, η αποδοτικότητα φτάνει στο 100% για μικρή επιφάνεια συλλογής.

4.2.1.3 Σενάριο 1Γ

Η αποδοτικότητα του συστήματος συλλογής ομβρίων για τριμελή κατοικία παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.6.



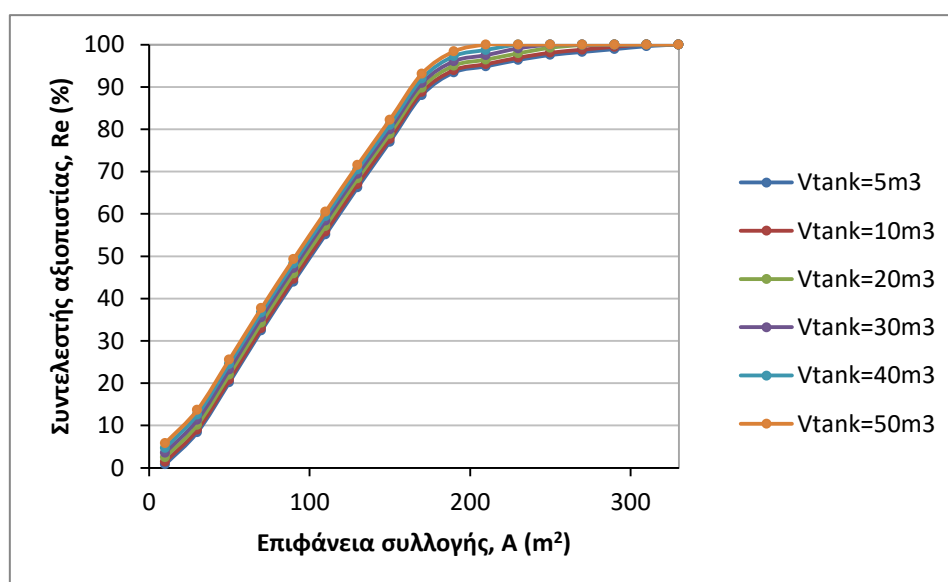
Σχήμα 4.6 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A για μεταβαλλόμενο όγκο ομβροδεξαμενής V_{tank}

Η απόδοση του συστήματος για το Σενάριο 1Γ κυμαίνεται από 2 έως 100%. Αύξηση του όγκου δεξαμενής με ταυτόχρονη αύξηση της επιφάνειας συλλογής, επιφέρει μεγαλύτερη αποδοτικότητα του συστήματος. Παρατηρείται ότι για επιφάνεια συλλογής από 10 έως 130 m^2 , η απόδοση αυξάνεται ιδιαίτερα απότομα για όλους τους όγκους ομβροδεξαμενής

που μελετήθηκαν. Για τον μικρότερο όγκο που εξετάστηκε, $V_{\text{tank}}=5 \text{ m}^3$, το σύστημα χαρακτηρίζεται ως πλήρους απόδοσης για επιφάνεια $A=250 \text{ m}^2$. Ο μεγαλύτερος όγκος δεξαμενής που μελετήθηκε προσδίδει πλήρη αποδοτικότητα μόλις στα 150 m^2 επιφάνειας συλλογής. Επίσης, για κάθε όγκο ομβροδεξαμενής που εξετάστηκε στο Σενάριο 1Γ, για επιφάνεια συλλογής από 30 έως 130 m^2 , μια αύξηση της επιφάνειας κατά 20 m^2 , επιφέρει σταθερή άνοδο της αποδοτικότητας κατά 15% .

4.2.1.4 Σενάριο 1Δ

Στο Σχήμα 4.7 παρουσιάζεται η αποδοτικότητα του συστήματος για κατοικία που αποτελείται από τέσσερα μέλη.



Εικόνα 4.7 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με την επιφάνεια συλλογής A για μεταβαλλόμενο όγκο ομβροδεξαμενής V_{tank}

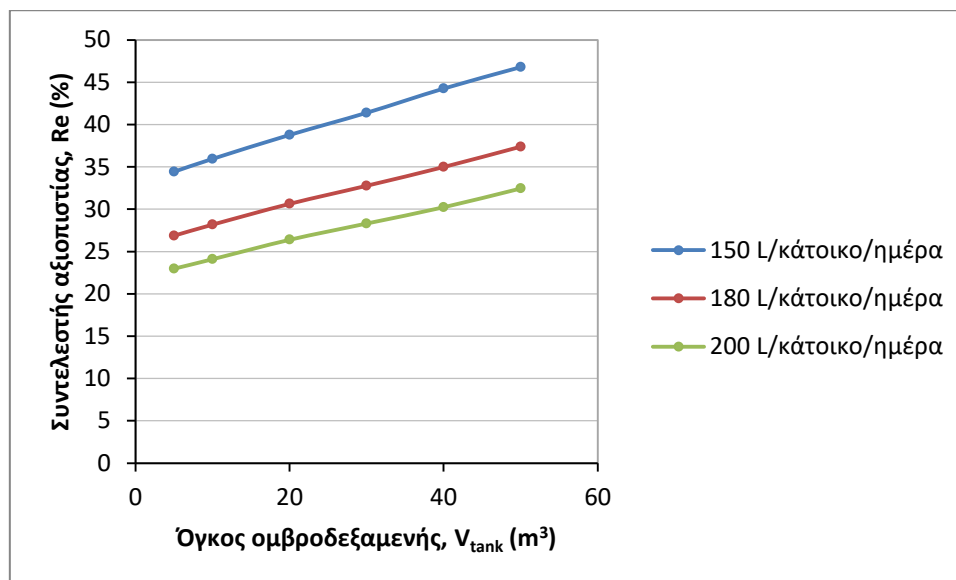
Η απόδοση του συστήματος για το Σενάριο 1Δ κυμαίνεται από 1 έως 100% . Παρατηρείται ότι για επιφάνεια συλλογής A έως 170 m^2 , η απόδοση του συστήματος παρουσιάζει απότομη αύξηση για όλους του όγκους ομβροδεξαμενής V_{tank} που μελετήθηκαν. Επιφάνειες συλλογής μεγαλύτερες από 170 m^2 , επιφέρουν μικρότερη επί τοις εκατό αύξηση της αξιοπιστίας με αντίστοιχη αύξηση της επιφάνειας για κάθε όγκο δεξαμενής. Για τον μικρότερο όγκο δεξαμενής που εξετάστηκε, $V_{\text{tank}}=5 \text{ m}^3$, ο συντελεστής αξιοπιστίας φτάνει στο μέγιστο επίπεδο για πολύ μεγάλη επιφάνεια συλλογής $A=330 \text{ m}^2$. Για όγκους $V_{\text{tank}}=40 \text{ m}^3$ και $V_{\text{tank}}=50 \text{ m}^3$, το σύστημα παρουσιάζει πλήρη απόδοση σε επιφάνεια $A=230 \text{ m}^2$.

4.2.2 Σενάριο 2

Εξετάστηκε ποσοστό χρήσης συστήματος $p=35\%$ για τρία διαφορετικά ποσά ημερήσιας κατανάλωσης $q=150, 180, 200$ L/κάτοικο/ημέρα. Η επιφάνεια συλλογής, A και ο όγκος ομβροδεξαμενής, V_{tank} μεταβάλλονται με σκοπό την εύρεση του συντελεστή αξιοπιστίας, Re του συστήματος.

4.2.2.1 Σενάριο 2A

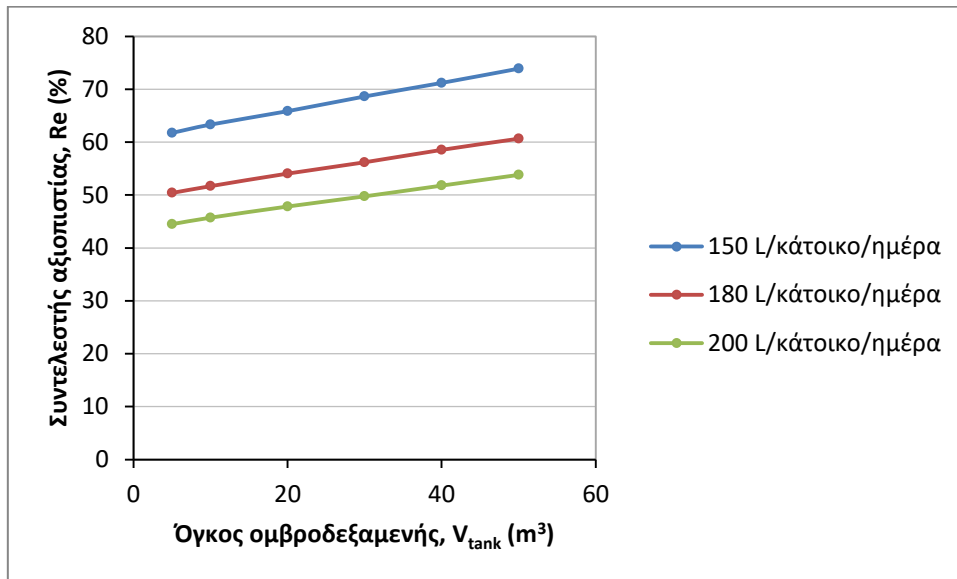
Το Σενάριο 2A αφορά σε κατοικία με δυο μέλη $N_{\text{cap}}=2$. Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για επιφάνεια συλλογής $A=30$ m². Οι όγκοι της δεξαμενής ομβρίων υδάτων που μελετήθηκαν κυμαίνονται από 5 έως 50 m³.



Σχήμα 4.8 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με τον όγκο ομβροδεξαμενής V_{tank} για διαφορετικές ημερήσιες καταναλώσεις q και επιφάνεια συλλογής $A=30$ m²

Η μέγιστη απόδοση του συστήματος είναι 47% και επιτυγχάνεται για ημερήσια κατανάλωση $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα και μέγιστο όγκο ομβροδεξαμενής $V_{\text{tank}}=50$ m³. Για ημερήσια κατανάλωση $q=180$ L/κάτοικο/ημέρα, η απόδοση του συστήματος κυμαίνεται από 27 έως 37%. Ακόμα μικρότερη απόδοση επιτυγχάνεται για ημερήσια κατανάλωση $q=200$ L/κάτοικο/ημέρα. Για τον μεγαλύτερο όγκο δεξαμενής που μελετήθηκε σε αυτή την κατανάλωση, το σύστημα αποδίδει μόλις 32%. Παρατηρείται επίσης ότι η αύξηση του όγκου της ομβροδεξαμενής οδηγεί σε ταχύτερη αύξηση του συντελεστή αξιοπιστίας για την περίπτωση χαμηλής κατανάλωσης, $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα.

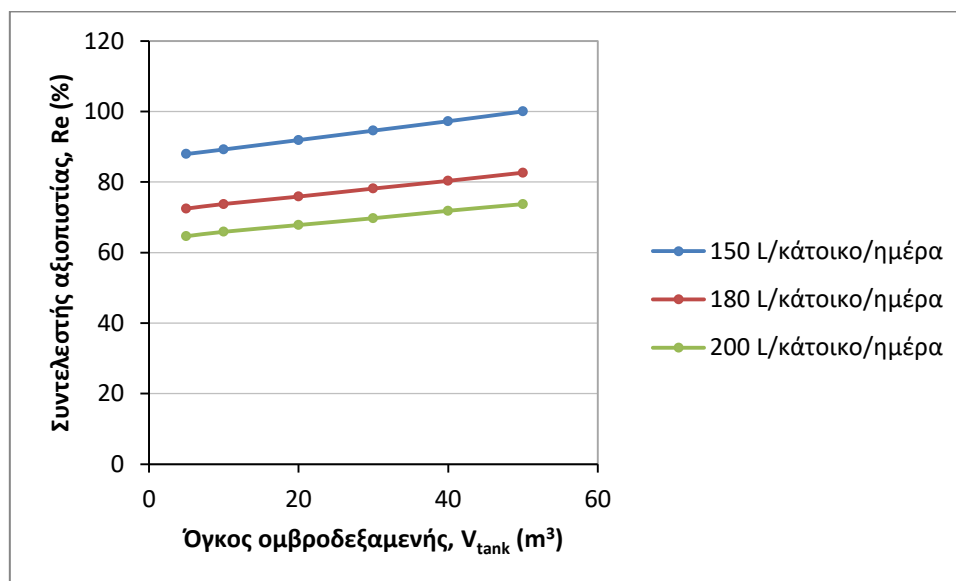
Στο Σχήμα 4.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για επιφάνεια συλλογής $A=50 \text{ m}^2$.



Σχήμα 4.9 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με τον όγκο ομβροδεξαμενής V_{tank} για διαφορετικές ημερήσιες καταναλώσεις q και επιφάνεια συλλογής $A=50 \text{ m}^2$

Στην περίπτωση που η επιφάνεια συλλογής είναι $A=50 \text{ m}^2$, η μέγιστη απόδοση του συστήματος είναι 74% και επιτυγχάνεται για ημερήσια κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$. Για ημερήσια κατανάλωση $q=180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, η απόδοση του συστήματος κυμαίνεται από 50 έως 61%. Ποσοστά απόδοσης από 44 έως 54% παρατηρούνται για την υψηλή ημερήσια κατανάλωση $q=200 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$.

Στο Σχήμα 4.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για επιφάνεια συλλογής $A=70 \text{ m}^2$.



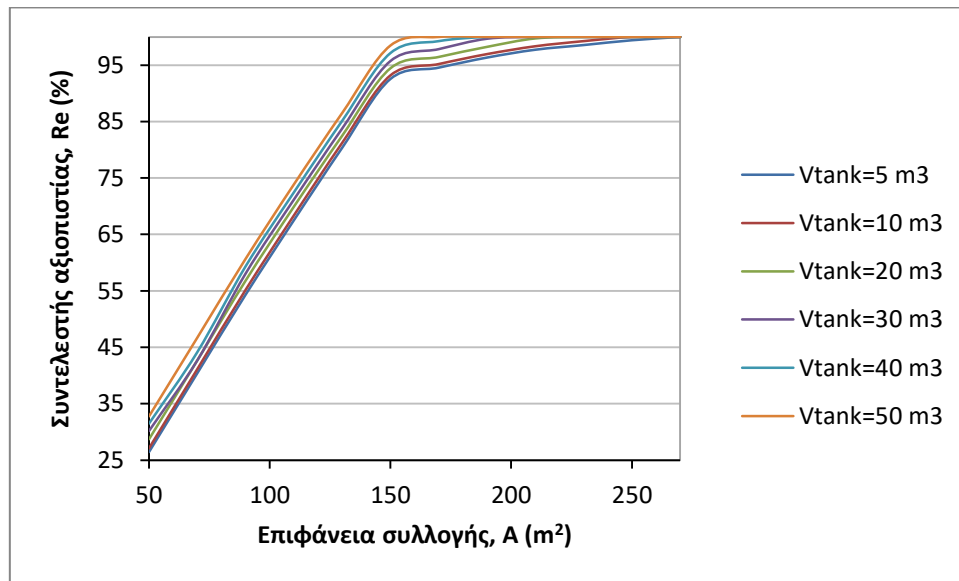
Σχήμα 4.10 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re σε σχέση με τον όγκο ομβροδεξαμενής V_{tank} για διαφορετικές ημερήσιες καταναλώσεις q και επιφάνεια συλλογής $A=70 \text{ m}^2$

Για επιφάνεια συλλογής 70 m^2 , το σύστημα γίνεται πλήρους απόδοσης για ημερήσια κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$ και όγκο δεξαμενής 50 m^3 . Για όγκο $V_{\text{tank}}=5 \text{ m}^3$, ο συντελεστής αξιοπιστίας φτάνει στο 88%. Υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας σημειώνονται επίσης και για τα επίπεδα μέσης και υψηλής ημερήσιας κατανάλωσης. Για μέση κατανάλωση $q=180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, η απόδοση κυμαίνεται από 72 έως 82%. Η υψηλή κατανάλωση $q=200 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$ προσδίδει στο σύστημα αξιοπιστία από 65 έως 73%.

Η ημερήσια κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, προσδίδει μεγαλύτερη αποδοτικότητα στο σύστημα για κάθε όγκο δεξαμενής που εξετάστηκε και για τις τρεις περιπτώσεις επιφάνειας συλλογής που εξετάστηκαν. Παρατηρείται ότι αύξηση της επιφάνειας απορροής από 30 σε 50 m^2 , οδηγεί σε συνολική αύξηση της απόδοσης του συστήματος κατά 57%. Η αντίστοιχη αύξηση από 50 σε 70 m^2 , οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης κατά 35% αντίστοιχα.

4.2.2.2 Σενάριο 2B

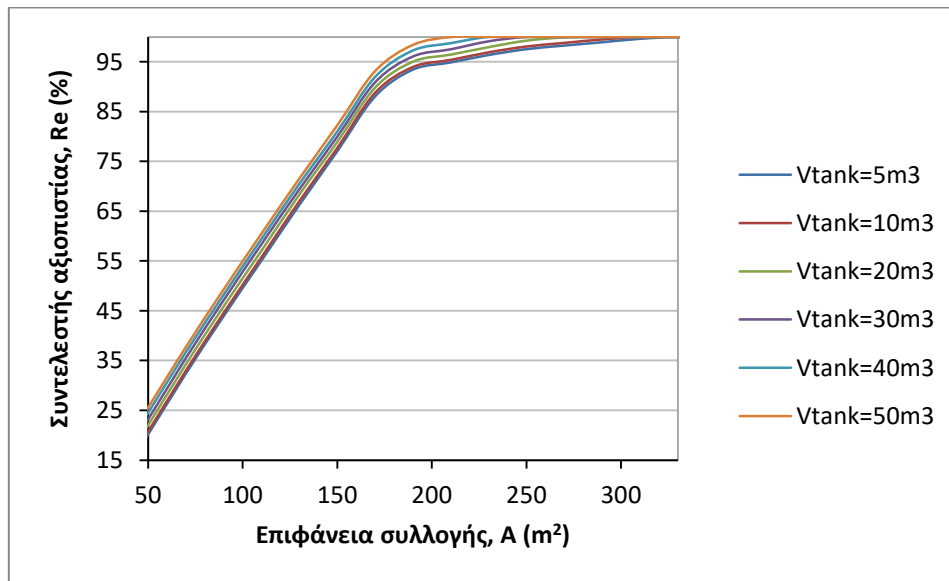
Το Σενάριο 2B αφορά σε κατοικία με τέσσερα μέλη $N_{\text{cap}}=4$. Μελετήθηκε η αποδοτικότητα του συστήματος για μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής, A και όγκων ομβροδεξαμενής, V_{tank} . Στα Σχήματα 4.11 έως 4.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για διαφορετικά ποσά ημερήσιας κατανάλωσης. Στο Σχήμα 4.11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του Σεναρίου 2B για ημερήσια κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$.



Σχήμα 4.11 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής A για όγκο ομβροδεξαμενής V_{tank} και ημερήσια κατανάλωση $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα

Το σύστημα σημειώνει πλήρη απόδοση για όλους τους όγκους ομβροδεξαμενής που μελετήθηκαν, όταν η επιφάνεια συλλογής υπερβαίνει τα 270 m^2 . Η ελάχιστη επιφάνεια που προσδίδει συντελεστή αξιοπιστίας 100% στο σύστημα είναι τα 170 m^2 , για την περίπτωση όγκου δεξαμενής $V_{\text{tank}}=50 \text{ m}^3$. Η ελάχιστη απόδοση του συστήματος στην περίπτωση της επιφάνειας $A=50 \text{ m}^2$ είναι 26%.

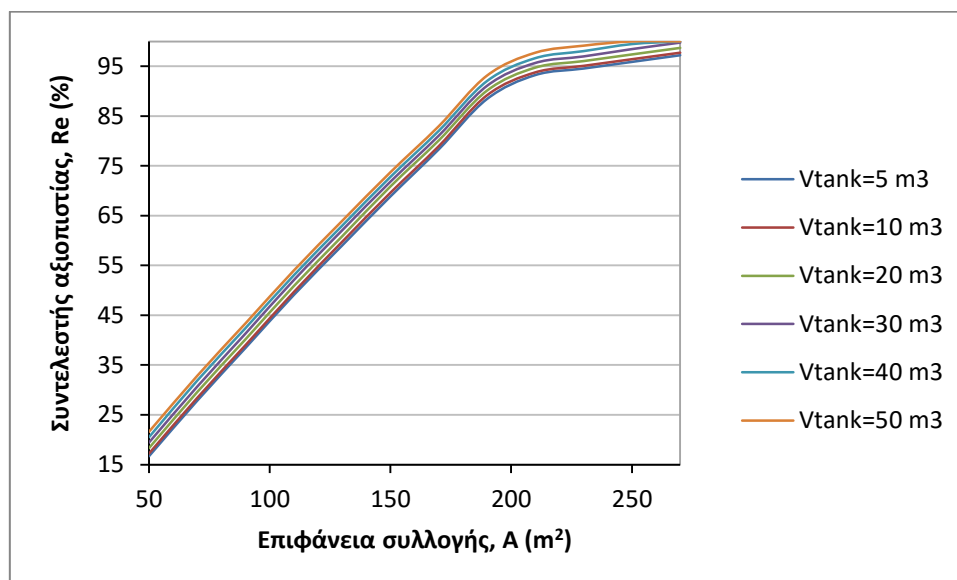
Στο Σχήμα 4.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του Σεναρίου 2B για την περίπτωση μέσης ημερήσιας κατανάλωσης $q=180$ L/κάτοικο/ημέρα.



Σχήμα 4.12 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής A για όγκο ομβροδεξαμενής V_{tank} και ημερήσια κατανάλωση $q=180$ L/κάτοικο/ημέρα

Επιτυγχάνεται πλήρης αποδοτικότητα του συστήματος για επιφάνεια συλλογής $A=230$ m², και όγκους δεξαμενής $V_{\text{tank}}=40$ m³ και $V_{\text{tank}}=50$ m³. Η ελάχιστη απόδοση που επιτυγχάνει το σύστημα για επιφάνεια $A=50$ m² είναι 20%.

Το Σχήμα 4.13 παρουσιάζει τα αποτελέσματα του Σεναρίου 2B για την περίπτωση ημερήσιας κατανάλωσης $q=200$ L/κάτοικο/ημέρα.



Σχήμα 4.13 Μεταβολή του συντελεστή αξιοπιστίας Re συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής A για όγκο ομβροδεξαμενής V_{tank} και ημερήσια κατανάλωση $q=200$ L/κάτοικο/ημέρα

Το σύστημα αποδίδει πλήρως για ελάχιστη επιφάνεια συλλογής $A=250 \text{ m}^2$, με όγκο ομβροδεξαμενής $V_{\text{tank}}=50 \text{ m}^3$. Για επιφάνεια συλλογής $A=50 \text{ m}^2$, ο συντελεστής αξιοπιστίας λαμβάνει την τιμή 17%.

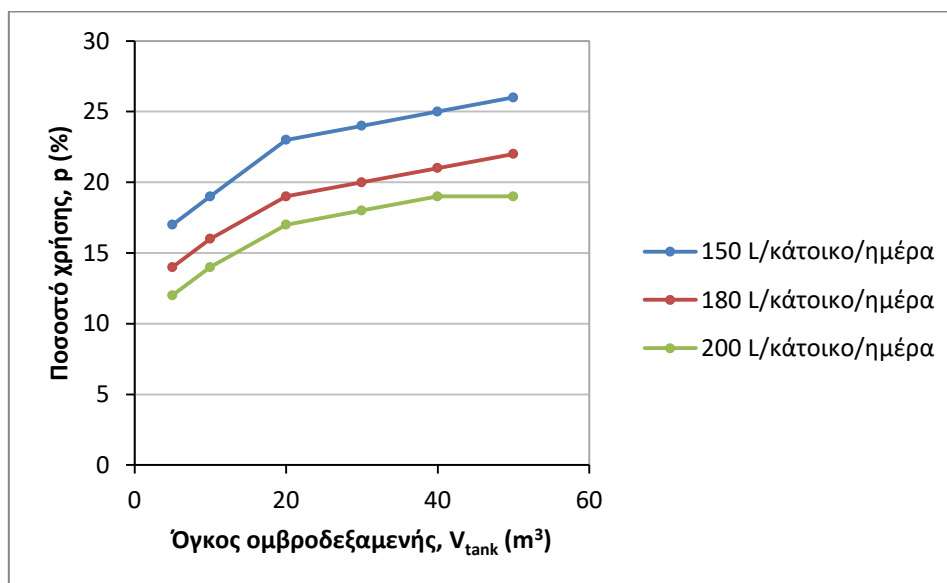
Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα για διαφορετικά ποσά ημερήσιας κατανάλωσης προκύπτει ότι η ελάχιστη απόδοση του συστήματος είναι μεγαλύτερη για την μικρότερη κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$. Με αύξηση της κατανάλωσης κατά $30 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, το σύστημα χάνει το 30% της αξιοπιστίας του. Από τα $180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, αν αυξήσουμε την κατανάλωση κατά 20 μόνο L/κάτοικο/ημέρα , το σύστημα χάνει επιπλέον 18% της αξιοπιστίας του. Επομένως, για μεγαλύτερη ημερήσια κατανάλωση, απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια συλλογής για την καλύτερη απόδοση του συστήματος δεξαμενής ομβρίων υδάτων.

4.2.3 Σενάριο 3

Στο Σενάριο 3 μελετήθηκε η σχέση του βέλτιστου ποσοστού χρήσης συναρτήσει του όγκου της ομβροδεξαμενής, για διάφορες τιμές της ημερήσιας κατανάλωσης ώστε να επιτυγχάνεται η πλήρης αποδοτικότητα του συστήματος.

4.2.3.1 Σενάριο 3A

Για κατοικία επιφάνειας $A=50 \text{ m}^2$ που αποτελείται από δυο μέλη $N_{\text{cap}}=2$, μελετήθηκαν τα ποσοστά χρήσης, p που καλύπτονται για πλήρη απόδοση του συστήματος. Η ομβροδεξαμενή θεωρήθηκε αρχικά γεμάτη, με όγκο από 5 έως 50 m^3 . Στο Σχήμα 4.14 παρουσιάζονται τα βέλτιστα ποσοστά χρήσης, p συναρτήσει του όγκου, V_{tank} και της ημερήσιας κατανάλωσης, q .

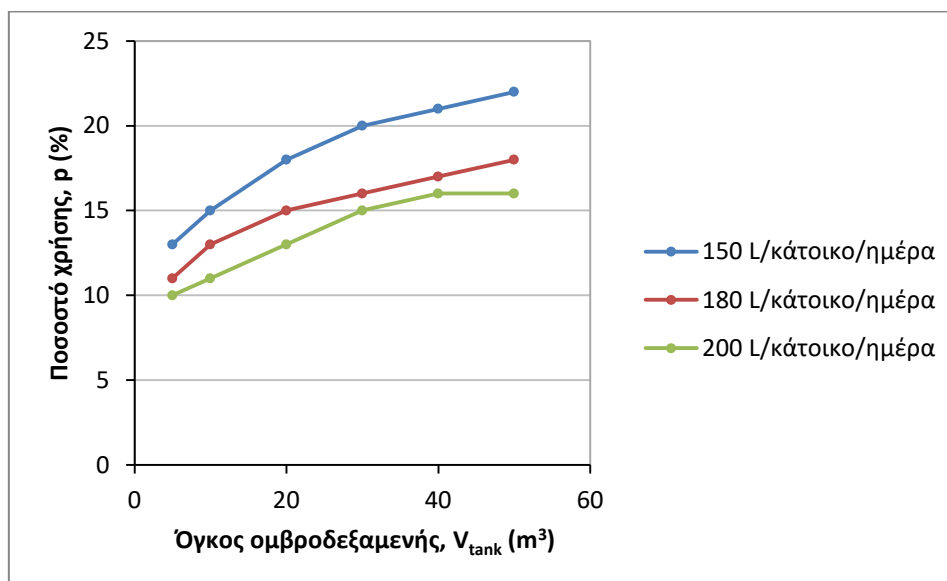


Σχήμα 4.14 Βέλτιστο ποσοστό χρήσης νερού p συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής V_{tank} και της ημερήσιας κατανάλωσης q για κατοικία δυο ατόμων σε επιφάνεια $A=50 \text{ m}^2$

Παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό χρήσης, p για την πλήρη αποδοτικότητα του συστήματος στο Σενάριο 3A είναι 26% για την κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$. Για αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής V_{tank} από 5 σε 10 m^3 , σημειώνεται αύξηση στο ποσοστό χρήσης κατά 12%. Η αύξηση του όγκου της δεξαμενής από 10 σε 20 m^3 προσδίδει τη μεγαλύτερη αύξηση που είναι 21%. Για όγκους μεγαλύτερους από 20 m^3 , η επιμέρους αύξηση του όγκου αυξάνει το ποσοστό χρήσης κατά 4% μόνο.

4.2.3.2 Σενάριο 3B

Για κατοικία επιφάνειας $A=90 \text{ m}^2$ που αποτελείται από τέσσερα μέλη $N_{\text{cap}}=4$, μελετήθηκαν τα ποσοστά χρήσης p που καλύπτονται για πλήρη απόδοση του συστήματος. Η δεξαμενή ομβρίων υδάτων θεωρήθηκε αρχικά γεμάτη, με όγκο από 5 έως 50 m^3 . Στο Σχήμα 4.15 παρουσιάζονται τα βέλτιστα ποσοστά χρήσης p συναρτήσει του όγκου V_{tank} και της ημερήσιας κατανάλωσης q .



Σχήμα 4.15 Βέλτιστο ποσοστό χρήσης νερού ρ συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής V_{tank} και της ημερήσιας κατανάλωσης q για κατοικία τεσσάρων ατόμων σε επιφάνεια $A=90 \text{ m}^2$

Το μέγιστο ποσοστό χρήσης ρ για την πλήρη αποδοτικότητα του συστήματος στο Σενάριο 3B είναι 22% για την κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$. Αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής V_{tank} από 5 σε 10 m^3 επιφέρει αύξηση στο ποσοστό χρήσης κατά 15%. Η μεγαλύτερη αύξηση που επιτυγχάνεται σημειώνεται για μεταβολή του όγκου από 10 σε 20 m^3 . Από τα 20 στα 30 m^3 , το ποσοστό χρήσης αυξάνεται κατά 11%. Περαιτέρω αύξηση του όγκου της δεξαμενής αυξάνει το ποσοστό χρήσης κατά 5% μόνο.

Εξάγεται το συμπέρασμα ότι αύξηση του εμβαδού συλλογής για δεδομένο όγκο, είναι ικανή να αυξήσει το βέλτιστο ποσοστό χρήσης. Η αύξηση του όγκου της δεξαμενής για δεδομένη επιφάνεια συλλογής αυξάνει το ποσοστό χρήσης, αλλά όχι κατά αντιστοιχία.

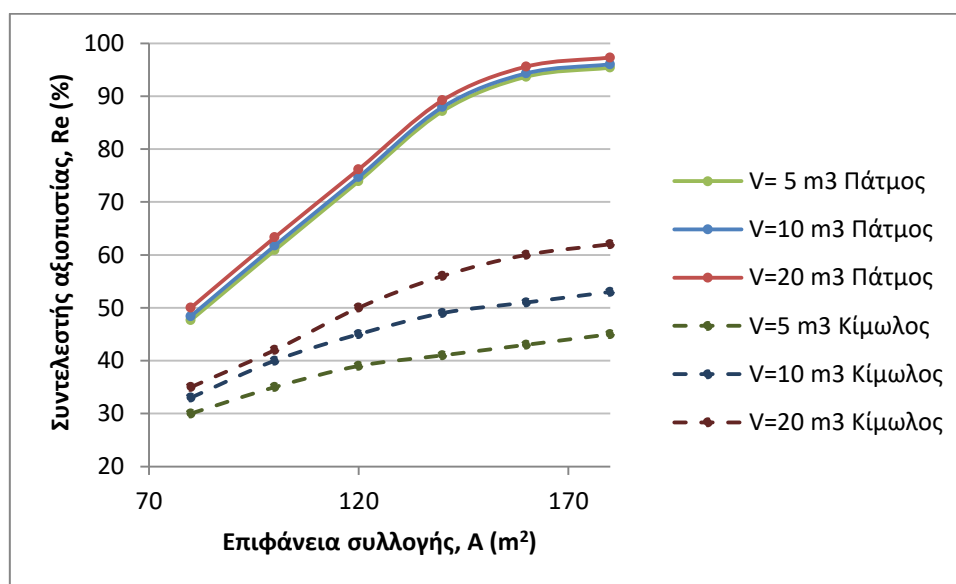
4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων σε σχέση με άλλα νησιά του Αιγαίου

4.3.1 Σύγκριση με τα αποτελέσματα για τη νήσο Κίμωλο

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα στοιχεία που προέκυψαν από τη διπλωματική εργασία «Ανάλυση αβεβαιότητας στη διαστασιολόγηση δεξαμενών ομβρίων υδάτων για τη νήσο Κίμωλο», Κουμουρά 2016.

Η σύγκριση έγινε για σενάριο κατοικίας τεσσάρων μελών $N_{cap}=4$, με ποσοστό χρήσης $p=35\%$ και ημερήσια κατανάλωση $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα. Ο σκοπός ήταν να συγκριθεί το ποσοστό αποδοτικότητας συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής, A για κάθε σύστημα.

Στο Σχήμα 4.16 παρουσιάζονται τα στοιχεία που προέκυψαν από την ανάλυση του συστήματος στην παρούσα εργασία και των αποτελεσμάτων για την ιστορική χρονοσειρά (1990-2012) που χρησιμοποιήθηκε για το σύστημα της Κιμώλου.



Σχήμα 4.16 Αποδοτικότητα συστημάτων Re συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής A και του όγκου ομβροδεξαμενής V_{tank}

Η αποδοτικότητα του συστήματος συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής για διάφορες τιμές του όγκου της δεξαμενής παρουσιάζει μεγάλες διαφορές για τα δυο νησιά. Για όγκο δεξαμενής $V_{tank}=20$ m³, η αποδοτικότητα του συστήματος της Κιμώλου κυμαίνεται από 35 έως 62%. Η αντίστοιχη αποδοτικότητα για το σύστημα της Πάτμου κυμαίνεται από 50 έως 97%. Επομένως, για το συγκεκριμένο σενάριο που εξετάζεται, η μέγιστη απόδοση για την Κίμωλο αντιστοιχεί σε 62%, ενώ για την Πάτμο σε 97%.

Επίσης, παρατηρείται ότι στο σύστημα της Πάτμου, για αύξηση της επιφάνειας συλλογής έως 160 m², το σύστημα αποδίδει περισσότερο σε σύγκριση με αυτό της Κιμώλου. Για μεγαλύτερες επιφάνειες συλλογής, τα συστήματα παρουσιάζονται να αποδίδουν με τον ίδιο ρυθμό. Συγκεκριμένα, η μεταβολή της επιφάνειας συλλογής από 100 σε 120 m² και όγκο δεξαμενής 10 m³, για το σύστημα της Κιμώλου αποδίδει 12.5%, ενώ για της Πάτμου αποδίδει 21%.

Η μεγαλύτερη απόκλιση στα αποτελέσματα για τα δυο νησιά, εμφανίζεται για επιφάνεια συλλογής $A=160 \text{ m}^2$ και $V_{\text{tank}}=5 \text{ m}^3$. Το σύστημα της Πάτμου αποδίδει 94%, ενώ της Κιμώλου μόλις 43%.

4.3.2 Σύγκριση με τα αποτελέσματα για τη νήσο Θήρα

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα στοιχεία που προέκυψαν από τη διπλωματική εργασία «Διερεύνηση της αποδοτικότητας ομβροδεξαμενών για τη νήσο Θήρα», Πρέκα 2016.

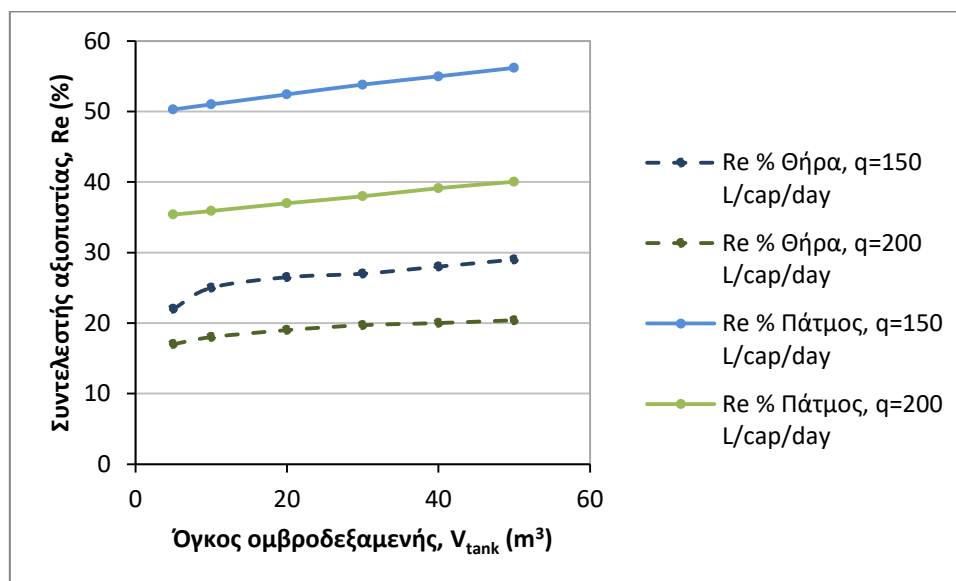
4.3.2.1 Σύγκριση με τη μέθοδο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν για τα δυο νησιά με χρήση της μεθόδου του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου. Η σύγκριση έγινε για δυο σενάρια κατοικίας με ποσά ημερήσιας κατανάλωσης $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$ και $q=200 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, για ποσοστό κάλυψης αναγκών $p=50\%$.

4.3.2.1.1 Σενάριο κατοικίας τριών ατόμων σε επιφάνεια 90 m^2

Η σύγκριση έγινε για σενάριο κατοικίας τριών μελών $N_{\text{cap}}=3$ με επιφάνεια $A=90 \text{ m}^2$. Σκοπός ήταν να συγκριθεί το ποσοστό αποδοτικότητας συναρτήσει του όγκου της ομβροδεξαμενής για χαμηλή και υψηλή ημερήσια κατανάλωση.

Στο Σχήμα 4.17 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δυο συστημάτων για τα νησιά της Θήρας και της Πάτμου.



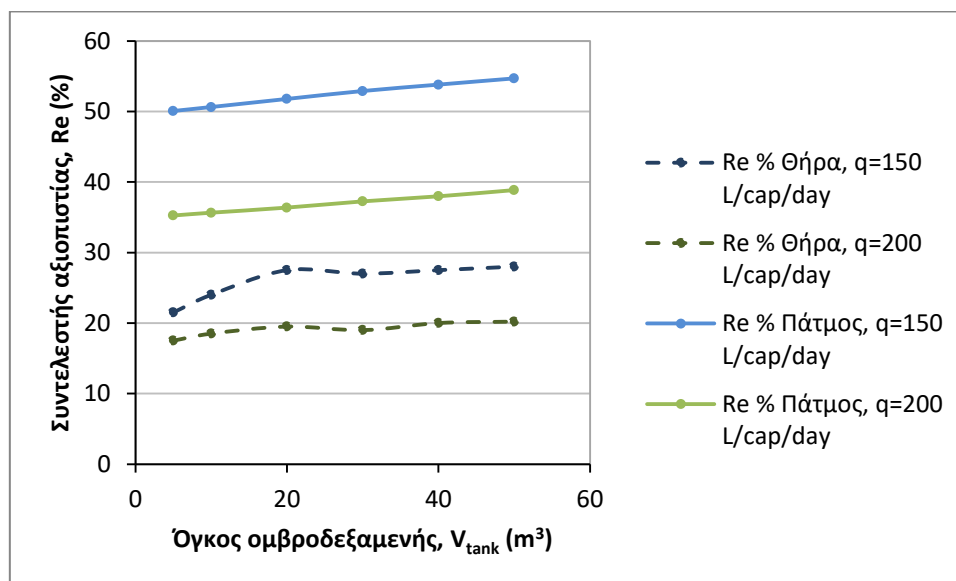
Σχήμα 4.17 Αποδοτικότητα συστημάτων Re συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής V_{tank} για χαμηλή και υψηλή ημερήσια κατανάλωση q σε κατοικία τριών ατόμων επιφάνειας $A=90 \text{ m}^2$

Παρατηρείται ότι το σύστημα της Πάτμου εμφανίζει μεγαλύτερη αποδοτικότητα που κυμαίνεται από 50 έως 56% για ημερήσια κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$. Αυτή είναι και η μέγιστη απόδοση του συστήματος για όγκο ομβροδεξαμενής $V_{\text{tank}}=50 \text{ m}^3$. Το σύστημα της Θήρας για την ίδια κατανάλωση προσδίδει αξιοπιστία από 22 έως 29%.

4.3.2.1.2 Σενάριο κατοικίας τεσσάρων ατόμων σε επιφάνεια 120 m^2

Έγινε επίσης σύγκριση των αποτελεσμάτων για σενάριο κατοικίας τεσσάρων μελών $N_{\text{cap}}=4$ με επιφάνεια $A=120 \text{ m}^2$. Μελετήθηκε το ποσοστό αποδοτικότητας συναρτήσει του όγκου της ομβροδεξαμενής για χαμηλή και υψηλή ημερήσια κατανάλωση.

Στο Σχήμα 4.18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δυο συστημάτων για τα νησιά της Θήρας και της Πάτμου.



Σχήμα 4.18 Αποδοτικότητα συστημάτων Re συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής V_{tank} για χαμηλή και υψηλή ημερήσια κατανάλωση q σε κατοικία τεσσάρων ατόμων επιφάνειας $A=120 \text{ m}^2$

Για το σενάριο των τεσσάρων κατοίκων σε επιφάνεια $A=120 \text{ m}^2$, παρατηρείται ίδια μορφή στις καμπύλες του Σχήματος 4.16 με αυτό του Σχήματος 4.15. Συγκεκριμένα, για κατανάλωση $q=200 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, το σύστημα της Πάτμου αποδίδει από 35 ως 39%, ενώ της Θήρας έχει απόδοση που κυμαίνεται από 18 έως 20%. Τα ποσοστά αυτά είναι πολύ κοντά αριθμητικά με τα αντίστοιχα του Σχήματος 4.15 για το σενάριο κατοικίας τριών μελών. Εξάγεται το συμπέρασμα πως ο συντελεστής αποδοτικότητας, Re συναρτήσει του όγκου της ομβροδεξαμενής, V_{tank} λαμβάνει περίπου τις ίδιες τιμές για τα δυο σενάρια που μελετήθηκαν.

4.3.2.2 Σύγκριση με τη μέθοδο μέγιστης άνομβρης περιόδου

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν για τα δυο νησιά με χρήση της μεθόδου του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου για το σύστημα της Πάτμου και της μέγιστης άνομβρης περιόδου για το σύστημα της Θήρας. Η σύγκριση έγινε για δυο σενάρια κατοικίας, με ποσοστό κάλυψης αναγκών $p=50\%$. Η ημερήσια κατανάλωση έλαβε τις τιμές $q=150, 180$ και $200 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$.

Η σύγκριση έγινε για δυο σενάρια κατοικίας με τις εξής παραδοχές για την επιφάνεια συλλογής, A και τον αριθμό των μελών της κατοικίας, N_{cap} :

$N_{cap}=2$ με επιφάνεια $A=60 \text{ m}^2$ και

$N_{cap}=4$ με επιφάνεια $A=120 \text{ m}^2$

Σκοπός ήταν να συγκριθεί το ποσοστό αποδοτικότητας συναρτήσει της κατανάλωσης και του όγκου της ομβροδεξαμενής. Ο όγκος δεξαμενής ομβρίων υδάτων υπολογίστηκε για το σύστημα της Θήρας με τη μέθοδο της μέγιστης άνυδρης περιόδου. Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δυο συστημάτων για τα νησιά της Θήρας και της Πάτμου.

Πίνακας 4.2 Αποτελέσματα της ανάλυσης των συστημάτων που αναπτύχθηκαν για τα νησιά Πάτμος και Θήρα

q=150 L/κάτοικο/ημέρα p=50%			
$N_{cap}=2 \mid A=60 \text{ m}^2$		$N_{cap}=4 \mid A=120 \text{ m}^2$	
$V_{tank}=30 \text{ m}^3$		$V_{tank}=55 \text{ m}^3$	
<i>Θήρα (Πρέκα, 2017)</i>	<i>Πάτμος</i>	<i>Θήρα (Πρέκα, 2017)</i>	<i>Πάτμος</i>
Re=27.9	Re=55.6	Re=27.9	Re=55.1
q=180 L/κάτοικο/ημέρα p=50%			
$N_{cap}=2 \mid A=60 \text{ m}^2$		$N_{cap}=4 \mid A=120 \text{ m}^2$	
$V_{tank}=40 \text{ m}^3$		$V_{tank}=70 \text{ m}^3$	
<i>Θήρα (Πρέκα, 2017)</i>	<i>Πάτμος</i>	<i>Θήρα (Πρέκα, 2017)</i>	<i>Πάτμος</i>
Re=23	Re=46.3	Re=23	Re=45.6
q=200 L/κάτοικο/ημέρα p=50%			
$N_{cap}=2 \mid A=60 \text{ m}^2$		$N_{cap}=4 \mid A=120 \text{ m}^2$	
$V_{tank}=45 \text{ m}^3$		$V_{tank}=80 \text{ m}^3$	
<i>Θήρα (Πρέκα, 2017)</i>	<i>Πάτμος</i>	<i>Θήρα (Πρέκα, 2017)</i>	<i>Πάτμος</i>
Re=20.4	Re=41.6	Re=20.4	Re=40.9

Για $N_{cap}=2$ και $A=60 \text{ m}^2$:

Παρατηρείται ότι για όγκο δεξαμενής $V_{tank}=30 \text{ m}^3$ και ημερήσια κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, το σύστημα της Πάτμου αποδίδει 56%, ενώ το σύστημα της Θήρας αποδίδει 28%. Λαμβάνοντας ως ποσό κατανάλωσης $q=200 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$ και όγκο δεξαμενής $V_{tank}=45 \text{ m}^3$, η απόδοση του συστήματος της Πάτμου είναι κατά 104% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του συστήματος της Θήρας.

Για $N_{cap}=2$ και $A=60 \text{ m}^2$:

Παρατηρείται ότι για όγκο δεξαμενής $V_{tank}=55 \text{ m}^3$ και ημερήσια κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, το σύστημα της Πάτμου αποδίδει κατά 97% περισσότερο σε σύγκριση με το σύστημα της Θήρας.

Το συμπέρασμα που εξάγεται από τον Πίνακα 4.2 είναι πως το σύστημα ομβρίων υδάτων που μελετήθηκε για το νησί της Πάτμου παρουσιάζει μεγαλύτερο συντελεστή αξιοπιστίας από αυτόν που προκύπτει για το νησί της Θήρας. Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες διαφορές του συντελεστή αξιοπιστίας για κάθε σενάριο σύγκρισης με τη μέθοδο της μέγιστης άνυδρης περιόδου.

Πίνακας 4.3 Ποσοστιαίες διαφορές του συντελεστή αξιοπιστίας για τα νησιά Θήρα και Πάτμο.

$N_{cap}=2 \mid A=60 \text{ m}^2$		
$q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$	$V_{tank}=30 \text{ m}^3$	99.28%
$q=180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$	$V_{tank}=40 \text{ m}^3$	101.30%
$q=200 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$	$V_{tank}=45 \text{ m}^3$	103.92%

$N_{cap}=4 \mid A=120 \text{ m}^2$		
$q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$	$V_{tank}=55 \text{ m}^3$	97.49%
$q=180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$	$V_{tank}=70 \text{ m}^3$	98.26%
$q=200 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$	$V_{tank}=80 \text{ m}^3$	100.49%

Παρατηρείται ότι οι συντελεστές αξιοπιστίας των συστημάτων που αναπτύχθηκαν για τα νησιά Θήρα και Πάτμο παρουσιάζουν μεγάλη ποσοστιαία διαφορά μεταξύ τους. Η διαφορά αυτή κυμαίνεται από 97.49 έως 103.92%.

5 Συμπεράσματα – Σύνοψη και Μελλοντική έρευνα

5.1 Σύνοψη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η διερεύνηση της αποδοτικότητας συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων για αστική χρήση στη νήσο Πάτμο. Για τη διαστασιολόγηση των δεξαμενών ομβρίων εφαρμόστηκε η μέθοδος του ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου για τα διαθέσιμα βροχομετρικά δεδομένα 10 υδρολογικών ετών.

Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιήθηκε εκτενής συλλογή δεδομένων, γεωλογικών, κλιματικών, πληθυσμιακών κλπ., ώστε να προσδιορισθούν τα χαρακτηριστικά και οι ιδιαιτερότητες της περιοχής. Έτσι, διαμορφώθηκαν κάποια σενάρια μελέτης που ανταποκρίνονται καλύτερα στα δημογραφικά και πολεοδομικά δεδομένα της Πάτμου. Τα σενάρια ήταν:

Σενάριο 1

1Α: Μονομελής κατοικία

1Β: Διμελής κατοικία

1Γ: Τριμελής κατοικία

1Δ: Τετραμελής κατοικία

Το Σενάριο 1 αφορά σε ποσοστό χρήσης συστήματος 35% και μέση ημερήσια κατανάλωση $q=180$ L/κάτοικο/ημέρα. Μελετήθηκε ο συντελεστής αξιοπιστίας, R_e συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής, A με μεταβολή του όγκου ομβροδεξαμενής, V_{tank} .

Σενάριο 2

2Α: Διμελής κατοικία

2Β: Τετραμελής κατοικία

Το Σενάριο 2 αφορά σε ποσοστό χρήσης συστήματος 35%, για χαμηλή ημερήσια κατανάλωση (150 L/κάτοικο/ημέρα), μέση (180 L/κάτοικο/ημέρα) και υψηλή (200

L/κάτοικο/ημέρα). Μελετήθηκε ο συντελεστής αξιοπιστίας, Re συναρτήσει του όγκου ομβροδεξαμενής, V_{tank} και της επιφάνειας συλλογής, A .

Σενάριο 3

3Α: Διμελής κατοικία, επιφάνεια συλλογής 50 m^2

3Β: Τετραμελής κατοικία, επιφάνεια συλλογής 90 m^2

Υπολογίστηκε το βέλτιστο ποσοστό χρήσης συναρτήσει του όγκου της ομβροδεξαμενής, V_{tank} για ημερήσια κατανάλωση χαμηλή ($150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$), μέση ($180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$) και υψηλή ($200 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$), με στόχο την πλήρη αποδοτικότητα του συστήματος.

Επίσης, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με τα αποτελέσματα προσομοίωσης των συστημάτων Κιμώλου και Θήρας.

Σύγκριση με τα αποτελέσματα για τη νήσο Κίμωλο

Έγινε σύγκριση για ένα σενάριο κατοικίας τεσσάρων μελών $N_{\text{cap}}=4$, με ποσοστό χρήσης $p=35\%$ και ημερήσια κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$. Μελετήθηκε συγκριτικά η αποδοτικότητα των συστημάτων.

Σύγκριση με τα αποτελέσματα για τη νήσο Θήρα

A: Σύγκριση με τη μέθοδο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

Σενάριο κατοικίας τριών ατόμων σε επιφάνεια 90 m^2

Σενάριο κατοικίας τεσσάρων ατόμων σε επιφάνεια 120 m^2

B: Σύγκριση με τη μέθοδο μέγιστης άνυδρης περιόδου

Σενάριο κατοικίας δυο ατόμων σε επιφάνεια 60 m^2

Σενάριο κατοικίας τεσσάρων ατόμων σε επιφάνεια 120 m^2

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση της αποδοτικότητας των συστημάτων. Στην περίπτωση B, έγινε σύγκριση με το σύστημα της Θήρας για όγκο δεξαμενής ομβρίων που υπολογίστηκε με τη μέθοδο της μέγιστης άνυδρης περιόδου.

5.2 Συμπεράσματα

Με βάση τα όσα αναπτύχθηκαν στην παρούσα εργασία, προκύπτει ότι η λύση της μεθόδου χρήσης ομβροδεξαμενών για κάλυψη μέρους της ζήτησης νερού σε επίπεδο οικίας είναι ιδιαίτερα αποδοτική για τη νήσο Πάτμο. Η μείωση του οικονομικού και περιβαλλοντικού κόστους του νερού θα είναι ένα από τα πολλά οφέλη της χρήσης δεξαμενών ομβρίων στο νησί.

Ειδικότερα, στο πλαίσιο της παρούσας εφαρμογής, για τα σενάρια που εξετάστηκαν εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα.

5.2.1 Σενάριο 1

Θεωρήθηκε μέση τιμή ημερήσιας κατανάλωσης $q=180$ L/κάτοικο/ημέρα για ποσοστό χρήσης νερού $p=35\%$. Είναι δυνατό να εξαχθούν συμπεράσματα για την αποδοτικότητα του συστήματος συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής, A και του όγκου ομβροδεξαμενης, V_{tank} . Ο αριθμός των μελών που περιλαμβάνει η κατοικία, N_{cap} επηρεάζει τη ζήτηση και γι' αυτό μελετήθηκαν επιμέρους σενάρια για διαφορετικό αριθμό μελών. Στη συνέχεια παρατίθενται τα συμπεράσματα για κάθε επιμέρους σενάριο που μελετήθηκε.

Σενάριο 1A

Το σενάριο 1A αφορά σε μονομελή κατοικία με μελέτη όγκου δεξαμενής V_{tank} από 5 έως 50 m^3 . Η απόδοση του συστήματος για το συγκεκριμένο σενάριο κυμαίνεται από 15 έως 100%. Όταν η επιφάνεια συλλογής A λαμβάνει τιμές από 10-30 m^2 , παρατηρείται απότομη αύξηση της αξιοπιστίας για κάθε όγκο ομβροδεξαμενής που μελετήθηκε. Για όγκους δεξαμενής 5 και 10 m^3 , το σύστημα φτάνει σε ποσοστό αξιοπιστίας 100% για επιφάνεια συλλογής 70 m^2 . Μεγαλύτεροι όγκοι δεξαμενής (από 20 έως 50 m^3), προσδίδουν πλήρη αποδοτικότητα στο σύστημα για επιφάνεια συλλογής 50 m^2 . Παρατηρήθηκε ότι για μεταβολή της επιφάνειας συλλογής από 30 σε 50 m^2 , το σύστημα αυξάνει την απόδοσή του κατά 30%.

Σενάριο 1B

Η απόδοση του συστήματος για το Σενάριο 1B που αφορά σε διμελή κατοικία, κυμαίνεται από 4 έως 100%. Παρατηρήθηκε ότι για αύξηση της επιφάνειας συλλογής από 10 έως 90

m^2 , το σύστημα αυξάνει σημαντικά την απόδοσή του για όλους τους όγκους δεξαμενής που μελετήθηκαν. Επίσης, προέκυψε ότι για αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής από 5 έως 40 m^3 , το σύστημα παρουσιάζει πλήρη αποδοτικότητα με συνεχώς μειούμενη επιφάνεια συλλογής. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι για όγκους δεξαμενής από 5 έως 30 m^3 , η αύξηση της επιφάνειας συλλογής από τα 70 στα 90 m^2 , αυξάνει την αξιοπιστία 20%. Ένα ακόμη συμπέρασμα που προέκυψε από τη μελέτη του σεναρίου 1B είναι ότι για μεγάλους όγκους ομβροδεξαμενής, η αποδοτικότητα φτάνει στο 100% για μικρή επιφάνεια συλλογής.

Σενάριο 1Γ

Το Σενάριο 1Γ αφορά σε κατοικία που αποτελείται από τρία μέλη. Η απόδοση του συστήματος για το συγκεκριμένο σενάριο βρέθηκε ότι λαμβάνει τιμές από 2 έως 100%. Παρατηρήθηκε απότομη αύξηση της απόδοσης για επιφάνεια συλλογής από 10 έως 130 m^2 και για όλους τους όγκους ομβροδεξαμενής που εξετάστηκαν. Για τον μικρότερο όγκο που μελετήθηκε, $V_{\text{tank}}=5 m^3$, το σύστημα αποδίδει πλήρως για επιφάνεια $A=250 m^2$. Ο μεγαλύτερος όγκος δεξαμενής που εξετάστηκε, $V_{\text{tank}}=50 m^3$, προσδίδει πλήρη αποδοτικότητα μόλις στα 150 m^2 επιφάνειας συλλογής. Επίσης, προέκυψε ότι για κάθε όγκο ομβροδεξαμενής που εξετάστηκε στο συγκεκριμένο σενάριο, για επιφάνεια συλλογής από 30 έως 130 m^2 , μια αύξηση της επιφάνειας κατά 20 m^2 , επιφέρει σταθερή άνοδο της αποδοτικότητας κατά 15%.

Σενάριο 1Δ

Η απόδοση του συστήματος για το Σενάριο 1Δ που αφορά σε τετραμελή κατοικία, κυμαίνεται από 1 έως 100%. Παρατηρήθηκε ότι για επιφάνεια συλλογής A έως 170 m^2 , η απόδοση του συστήματος παρουσιάζει απότομη αύξηση για όλους του όγκους ομβροδεξαμενής που μελετήθηκαν. Επιφάνειες συλλογής μεγαλύτερες από 170 m^2 , επιφέρουν μικρότερη επί τοις εκατό αύξηση της αξιοπιστίας με αντίστοιχη αύξηση της επιφάνειας για κάθε όγκο δεξαμενής. Για τον μικρότερο όγκο δεξαμενής που εξετάστηκε, $V_{\text{tank}}=5 m^3$, ο συντελεστής αξιοπιστίας έλαβε την τιμή 100% για πολύ μεγάλη επιφάνεια συλλογής $A=330 m^2$. Για όγκους $V_{\text{tank}}=40 m^3$ και $V_{\text{tank}}=50 m^3$, το σύστημα σημείωσε πλήρη απόδοση σε επιφάνεια $A=230 m^2$.

Το συμπέρασμα που προέκυψε από τη μελέτη του Σεναρίου 1 είναι πως για αύξηση του όγκου δεξαμενής με ταυτόχρονη αύξηση της επιφάνειας συλλογής, ο συντελεστής αξιοπιστίας αυξάνεται. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των μελών μιας κατοικίας, η ελάχιστη απόδοση του συστήματος μειώνεται. Συγκεκριμένα, στο Σενάριο 1Α η ελάχιστη απόδοση είναι 15%, ενώ στο Σενάριο 1Δ είναι 1%. Τέλος, προέκυψε ότι για κατοικίες με περισσότερα μέλη, απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια συλλογής για την πλήρη απόδοση του συστήματος.

5.2.2 Σενάριο 2

Εξετάστηκε ποσοστό χρήσης συστήματος $p=35\%$ για τρία διαφορετικά ποσά ημερήσιας κατανάλωσης $q=150, 180, 200$ L/κάτοικο/ημέρα. Υπολογίστηκε η αποδοτικότητα του συστήματος συναρτήσει της επιφάνειας συλλογής, A και του όγκου ομβροδεξαμενής, V_{tank} . Μελετήθηκαν δυο επιμέρους σενάρια με διαφορετικό αριθμό μελών κατοικίας και τα συμπεράσματα που προέκυψαν για κάθε ένα από αυτά περιγράφεται στη συνέχεια.

Σενάριο 2Α

Στο σενάριο 2Α μελετήθηκε κατοικία με δυο μέλη και επιφάνεια συλλογής $A=30, 50$ και 70 m^2 .

Για επιφάνεια συλλογής 30 m^2 , βρέθηκε ότι η μέγιστη απόδοση του συστήματος είναι 47% και επιτυγχάνεται για ημερήσια κατανάλωση $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα και μέγιστο όγκο ομβροδεξαμενής $V_{\text{tank}}=50 \text{ m}^3$. Για ημερήσια κατανάλωση $q=180$ L/κάτοικο/ημέρα, η απόδοση του συστήματος κυμαίνεται από 27 έως 37%. Ακόμα μικρότερη απόδοση παρατηρείται για ημερήσια κατανάλωση $q=200$ L/κάτοικο/ημέρα, αφού το σύστημα αποδίδει μόλις 32% για όγκο $V_{\text{tank}}=50 \text{ m}^3$. Προέκυψε επίσης, ότι η αύξηση του όγκου της ομβροδεξαμενής οδηγεί σε ταχύτερη αύξηση του συντελεστή αξιοπιστίας για την περίπτωση χαμηλής κατανάλωσης, $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα.

Για επιφάνεια συλλογής 50 m^2 , διαπιστώθηκε ότι η μέγιστη απόδοση του συστήματος είναι 74% και επιτυγχάνεται για ημερήσια κατανάλωση $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα. Για ημερήσια κατανάλωση $q=180$ L/κάτοικο/ημέρα, η απόδοση του συστήματος έλαβε τις τιμές από 50 έως 61%. Ποσοστά απόδοσης από 44 έως 54% παρατηρήθηκαν για την υψηλή ημερήσια κατανάλωση $q=200$ L/κάτοικο/ημέρα.

Για επιφάνεια συλλογής 70 m^2 , διαπιστώθηκε ότι το σύστημα αποδίδει πλήρως για ημερήσια κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$ και όγκο δεξαμενής 50 m^3 . Για όγκο $V_{\text{tank}}=5 \text{ m}^3$, ο συντελεστής αξιοπιστίας φτάνει στο 88%. Υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας σημειώθηκαν επίσης για τα επίπεδα μέσης και υψηλής ημερήσιας κατανάλωσης. Για μέση κατανάλωση $q=180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, η απόδοση κυμαίνεται από 72 έως 82%. Η υψηλή κατανάλωση $q=200 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$ βρέθηκε ότι προσδίδει στο σύστημα αξιοπιστία από 65 έως 73%.

Το συμπέρασμα που προέκυψε από τη μελέτη του Σεναρίου 2Α είναι πως η χαμηλή ημερήσια κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, εξασφαλίζει μεγαλύτερη αποδοτικότητα στο σύστημα. Όσο αυξάνεται η κατανάλωση, ο συντελεστής αξιοπιστίας μειώνεται. Προέκυψε το συμπέρασμα ότι αύξηση της επιφάνειας συλλογής από 30 σε 50 m^2 , οδηγεί σε συνολική αύξηση της απόδοσης του συστήματος κατά 57%. Η αντίστοιχη αύξηση από 50 σε 70 m^2 , οδηγεί σε αύξηση της απόδοσης κατά 35% αντίστοιχα.

Σενάριο 2B

Το Σενάριο 2B αφορά σε κατοικία με τέσσερα μέλη. Μελετήθηκε η αποδοτικότητα του συστήματος για μεταβαλλόμενη επιφάνεια συλλογής, A και όγκων ομβροδεξαμενής, V_{tank} . Τα συμπεράσματα που προέκυψαν για διαφορετικά ποσά ημερήσιας κατανάλωσης παρατίθενται στη συνέχεια.

Για ημερήσια κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, βρέθηκε ότι για επιφάνεια συλλογής μεγαλύτερη από 270 m^2 , το σύστημα αποδίδει πλήρως για όλους τους όγκους ομβροδεξαμενής που μελετήθηκαν. Η ελάχιστη επιφάνεια που προσδίδει συντελεστή αξιοπιστίας 100% στο σύστημα είναι τα 170 m^2 , για την περίπτωση όγκου δεξαμενής $V_{\text{tank}}=50 \text{ m}^3$. Η ελάχιστη απόδοση του συστήματος στην περίπτωση της επιφάνειας $A=50 \text{ m}^2$ είναι 26%.

Για ημερήσια κατανάλωση $q=180 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, προέκυψε πλήρης αποδοτικότητα του συστήματος για επιφάνεια συλλογής $A=230 \text{ m}^2$, και όγκους δεξαμενής $V_{\text{tank}}=40$ και 50 m^3 . Η ελάχιστη απόδοση που επιτυγχάνει το σύστημα για επιφάνεια $A=50 \text{ m}^2$ είναι 20%.

Για ημερήσια κατανάλωση $q=200 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, σημειώθηκε πλήρης απόδοση για επιφάνεια συλλογής $A=250 \text{ m}^2$, με όγκο ομβροδεξαμενής $V_{\text{tank}}=50 \text{ m}^3$. Για επιφάνεια συλλογής $A=50 \text{ m}^2$, ο συντελεστής αξιοπιστίας έλαβε την τιμή 17%.

Το συμπέρασμα που προέκυψε από τη μελέτη του Σεναρίου 2B είναι ότι η ελάχιστη απόδοση του συστήματος είναι μεγαλύτερη για την μικρότερη κατανάλωση $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα. Με αύξηση της κατανάλωσης κατά 30 L/κάτοικο/ημέρα, το σύστημα χάνει το 30% της αξιοπιστίας του. Από τα 180 L/κάτοικο/ημέρα, αν αυξήσουμε την κατανάλωση κατά 20 μόνο L/κάτοικο/ημέρα, το σύστημα χάνει επιπλέον 18% της αξιοπιστίας του. Συνεπώς, για μεγαλύτερη ημερήσια κατανάλωση, απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια συλλογής για την καλύτερη απόδοση του συστήματος δεξαμενής ομβρίων υδάτων.

5.2.3 Σενάριο 3

Στο Σενάριο 3 μελετήθηκε η σχέση του βέλτιστου ποσοστού χρήσης συναρτήσεως του όγκου της ομβροδεξαμενής, για διάφορες τιμές της ημερήσιας κατανάλωσης ώστε να επιτυγχάνεται η πλήρης αποδοτικότητα του συστήματος. Η ομβροδεξαμενή θεωρήθηκε αρχικά γεμάτη, με όγκο από 5 έως 50 m³. Εξετάστηκαν δυο σενάρια κατοικίας και τα συμπεράσματα που προέκυψαν αναλύονται για κάθε ένα από αυτά στη συνέχεια.

Σενάριο 3A

Στο Σενάριο 3A μελετήθηκε κατοικία επιφάνειας $A=50$ m² που αποτελείται από δυο μέλη. Προέκυψε ότι το μέγιστο ποσοστό χρήσης p για την πλήρη αποδοτικότητα του συστήματος είναι 26% για την κατανάλωση $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα. Για αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής V_{tank} από 5 σε 10 m³, σημειώνεται αύξηση στο ποσοστό χρήσης κατά 12%. Η αύξηση του όγκου της δεξαμενής από 10 σε 20 m³ προσδίδει τη μεγαλύτερη αύξηση που είναι 21%. Για όγκους μεγαλύτερους από 20 m³, η περαιτέρω αύξηση του όγκου προκαλεί αύξηση του ποσοστού χρήσης μόνο κατά 4%.

Σενάριο 3B

Το Σενάριο 3B αφορά σε κατοικία επιφάνειας $A=90$ m² με τέσσερα μέλη. Βρέθηκε ότι το μέγιστο ποσοστό χρήσης p για την πλήρη αποδοτικότητα του συστήματος είναι 22% για την κατανάλωση $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα. Αύξηση του όγκου ομβροδεξαμενής V_{tank} από 5 σε 10 m³ επιφέρει αύξηση στο ποσοστό χρήσης κατά 15%. Η μεγαλύτερη αύξηση που επιτυγχάνεται σημειώθηκε για μεταβολή του όγκου από 10 σε 20 m³. Από τα 20 στα 30

m^3 , το ποσοστό χρήσης αυξάνεται κατά 11%. Περαιτέρω αύξηση του όγκου της δεξαμενής αυξάνει το ποσοστό χρήσης κατά 5% μόνο.

Το συμπέρασμα που εξάγεται μέσω του Σεναρίου 3 είναι ότι αύξηση της επιφάνειας συλλογής για δεδομένο όγκο, είναι ικανή να αυξήσει το βέλτιστο ποσοστό χρήσης. Η αύξηση του όγκου της δεξαμενής για δεδομένη επιφάνεια συλλογής αυξάνει το ποσοστό χρήσης, αλλά όχι κατά αντιστοιχία.

5.2.4 Σύγκριση με άλλα νησιά

5.2.4.1 Σύγκριση με το σύστημα που αναπτύχθηκε για τη νήσο Κίμωλο.

Πραγματοποιήθηκε σύγκριση για σενάριο κατοικίας τεσσάρων μελών με ποσοστό χρήσης $p=35\%$ και ημερήσια κατανάλωση $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα. Αναλύονται τα συμπεράσματα της μελέτης αποδοτικότητας συναρτήσεως της επιφάνειας συλλογής, A για κάθε σύστημα.

Για όγκο δεξαμενής $V_{\text{tank}}=20$ m^3 , η αποδοτικότητα του συστήματος της Κιμώλου κυμαίνεται από 35 έως 62%. Η αντίστοιχη αποδοτικότητα για το σύστημα της Πάτμου κυμαίνεται από 50 έως 97%. Επομένως, για το συγκεκριμένο σενάριο που εξετάστηκε, η μέγιστη απόδοση για την Κίμωλο αντιστοιχεί σε 62%, ενώ για την Πάτμο σε 97%.

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι στο σύστημα της Πάτμου, για αύξηση της επιφάνειας συλλογής έως 160 m^2 , το σύστημα αποδίδει περισσότερο σε σύγκριση με αυτό της Κιμώλου. Για μεγαλύτερες επιφάνειες συλλογής τα συστήματα παρουσιάζονται να αποδίδουν με τον ίδιο ρυθμό. Η μεταβολή της επιφάνειας συλλογής από 100 σε 120 m^2 και όγκο δεξαμενής 10 m^3 , για το σύστημα της Κιμώλου αποδίδει 12.5%, ενώ για της Πάτμου αποδίδει 21%.

Η μεγαλύτερη απόκλιση στα αποτελέσματα για τα δυο νησιά, εμφανίστηκε για επιφάνεια συλλογής $A=160$ m^2 και $V_{\text{tank}}=5$ m^3 . Το σύστημα της Πάτμου απέδωσε 94%, ενώ της Κιμώλου μόλις 43%.

Συνεπώς, η αποδοτικότητα του συστήματος συναρτήσεως της επιφάνειας συλλογής για διάφορες τιμές του όγκου της δεξαμενής παρουσιάζει μεγάλες διαφορές για τα δυο νησιά.

5.2.4.2 Σύγκριση με το σύστημα που αναπτύχθηκε για τη νήσο Θήρα.

Για το νησί της Θήρας, έγινε η ανάπτυξη μοντέλου δεξαμενής ομβρίων και με τη χρήση της μεθόδου μέγιστης άνυδρης περιόδου. Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των δυο συστημάτων με τη θεώρηση δυο σεναρίων κατοικίας για κάθε μέθοδο σύγκρισης.

Σύγκριση με τη μέθοδο ημερήσιου υδατικού ισοζυγίου

Για ημερήσια κατανάλωση $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα και $q=200$ L/κάτοικο/ημέρα, για ποσοστό κάλυψης αναγκών $p=50\%$, εξετάστηκαν δυο σενάρια κατοικίας και τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

Για σενάριο κατοικίας με τρία μέλη και επιφάνεια συλλογής $A=90$ m²:

Παρατηρήθηκε ότι το σύστημα της Πάτμου εμφανίζει μεγαλύτερη αποδοτικότητα που κυμαίνεται από 50 έως 56% για ημερήσια κατανάλωση $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα. Αυτή είναι και η μέγιστη απόδοση του συστήματος για όγκο ομβροδεξαμενής $V_{\text{tank}}=50$ m³. Το σύστημα της Θήρας για την ίδια κατανάλωση αποδίδει από 22 έως 29%.

Για σενάριο κατοικίας με τέσσερα μέλη και επιφάνεια συλλογής $A=120$ m²:

Για κατανάλωση $q=200$ L/κάτοικο/ημέρα, το σύστημα της Πάτμου αποδίδει από 35 ως 39%, ενώ της Θήρας έχει απόδοση που κυμαίνεται από 18 έως 20%.

Εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο συντελεστής αποδοτικότητας, Re συναρτήσει του όγκου της ομβροδεξαμενής, V_{tank} λαμβάνει περίπου τις ίδιες τιμές για τα δυο σενάρια που μελετήθηκαν.

Σύγκριση με τη μέθοδο μέγιστης άνυδρης περιόδου

Για ημερήσια κατανάλωση $q=150, 180, 200$ L/κάτοικο/ημέρα και ποσοστό κάλυψης αναγκών $p=50\%$, εξετάστηκαν δυο σενάρια κατοικίας και τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

Για σενάριο κατοικίας με δυο μέλη και επιφάνεια συλλογής $A=60$ m²:

Για όγκο δεξαμενής $V_{\text{tank}}=30$ m³ και ημερήσια κατανάλωση $q=150$ L/κάτοικο/ημέρα, το σύστημα της Πάτμου αποδίδει 56%, ενώ το σύστημα της Θήρας αποδίδει 28%. Λαμβάνοντας ως ποσό κατανάλωσης $q=200$ L/κάτοικο/ημέρα και όγκο δεξαμενής

$V_{\text{tank}}=45 \text{ m}^3$ η απόδοση του συστήματος της Πάτμου είναι κατά 104% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του συστήματος της Θήρας.

Για σενάριο κατοικίας με τέσσερα μέλη και επιφάνεια συλλογής $A=120 \text{ m}^2$:

Παρατηρήθηκε ότι για όγκο δεξαμενής $V_{\text{tank}}=55 \text{ m}^3$ και ημερήσια κατανάλωση $q=150 \text{ L/κάτοικο/ημέρα}$, το σύστημα της Πάτμου αποδίδει κατά 97% περισσότερο σε σύγκριση με το σύστημα της Θήρας.

Το συμπέρασμα που προέκυψε είναι πως το σύστημα ομβρίων υδάτων που μελετήθηκε για το νησί της Πάτμου παρουσιάζει μεγαλύτερο συντελεστή αξιοπιστίας από αυτόν που προκύπτει για το νησί της Θήρας.

Η σύγκριση της απόδοσης των συστημάτων για τα νησιά της Πάτμου, Κιμώλου και Θήρας, οδήγησε στο συμπέρασμα πως το σύστημα της Πάτμου παρουσιάζει μεγαλύτερο συντελεστή αξιοπιστίας. Το γεγονός αυτό αποδίδεται αφενός μεν στην μεγαλύτερη ποσότητα μέσης ετήσιας βροχόπτωσης που δέχεται το νησί της Πάτμου σε σύγκριση με τα άλλα δυο νησιά, αφετέρου δε, στο διαφορετικό τρόπο κατανομής της βροχόπτωσης.

5.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η σταδιακή ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των υδατικών πόρων χρήζει άμεση αντιμετώπιση. Η μελλοντική έρευνα είναι το στοιχείο που θα οδηγήσει στην επίλυση του προβλήματος λειψυδρίας στο νησί της Πάτμου, που είναι ένα από τα πολλά άνυδρα νησιά της Ελλάδας. Η εξοικονόμηση έστω και μικρών ποσοτήτων νερού πρόκειται να βοηθήσει σημαντικά στην αντιμετώπιση της κατάστασης.

Οι ανάγκες νερού στο νησί της Πάτμου διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό το χειμώνα και το καλοκαίρι λόγω του τουρισμού. Μια πρόταση για μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να είναι η μελέτη ενός συστήματος συλλογής ομβρίων με κυμαινόμενη ημερήσια κατανάλωση ανάλογα την εποχή του έτους, ($q_{\text{θερος}} \neq q_{\text{χειμώνα}}$), τη θερμοκρασία και τα επίπεδα υγρασίας της ατμόσφαιρας. Θα μπορούσε να μελετηθεί το σύστημα για διαφορετικό αριθμό μελών ανά οικία στο έτος, καθώς το καλοκαίρι εξυπηρετούνται περισσότερα άτομα ανά οικία σε σύγκριση με το χειμώνα.

Επίσης, προτείνεται η διερεύνηση με ταυτόχρονη οικονομοτεχνική αξιολόγηση ενός ανάλογου συστήματος που όμως θα λειτουργεί σε επίπεδο οικοδομικού συγκροτήματος

αντί της οικιακής βάσης. Στο πλαίσιο αυτό προτείνεται να εφαρμοστεί κατάλληλο μοντέλο που θα λαμβάνει υπόψη την ποσότητα ύδατος που θα προέρχεται από συστάδα κατοικιών, και θα οδηγεί στη διαστασιολόγηση μιας κεντρικής δεξαμενής κάλυψης μέρους της οικιακής ζήτησης νερού για τις αντίστοιχες κατοικίες.

Συμπερασματικά, η όποια μελλοντική έρευνα προτείνεται να βασιστεί και σε πιο λεπτομερή στοιχεία αναφορικά με την υφιστάμενη κατάσταση του νησιού (πχ. αριθμός εν λειτουργία ομβροδεξαμενών), προκειμένου η αξιολόγηση επιμέρους λύσεων υδροδότησης να είναι πιο αξιόπιστη.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

- Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2015). Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (GR14), Αθήνα.
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), Προσωπική επικοινωνία.
- Κουμουρά, Κ. (2016). Ανάλυση αβεβαιότητας στη διαστασιολόγηση δεξαμενών ομβρίων υδάτων για τη νήσο Κίμωλο. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- 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.
- Πρέκα, Μ. (2016). Διερεύνηση της αποδοτικότητας ομβροδεξαμενών στη νήσο Θήρα. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Σύνδεσμος Ελληνικών Τουριστικών Επιχειρήσεων (ΣΕΤΕ), Προσωπική επικοινωνία.

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).

- Appan, A. (2000). A dual-mode system for harnessing roofwater for non-potable uses. *Urban water*, 1(4), 317-321.
- 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.
- Coombes, P. J., Argue, J. R., & Kuczera, G. (2000). Figtree Place: a case study in water sensitive urban development (WSUD). *Urban Water*, 1(4), 335-343.
- 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., & Butler, D. (2000). Simulating the performance of rainwater collection and reuse systems using behavioural models. *Building Services Engineering Research and Technology*, 21(2), 99-106.
- 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.
- Ghisi E., Montibeller A. and Schmidt R. (2006). Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. *Building Environment*, 41, 204-210.

- Guo, Y., & Baetz, B. W. (2007). Sizing of rainwater storage units for green building applications. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(2), 197-205.
- Helmreich, B., & Horn, H. (2009). Opportunities in rainwater harvesting. *Desalination*, 248(1-3), 118-124.
- Herrmann, T., & Schmida, U. (2000). Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban water*, 1(4), 307-316.
- 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.
- Karavitis, C. A. (2008). Water Use in Europe. Booklet Series: B, Number: 5. Land care in desertification affected areas: from science towards application (LUCINDA) Specific Support Action, DG-Research-1163, Global Change and Ecosystems.
- Kinkade-Levario, H. (2007). Design for water: rainwater harvesting, stormwater catchment, and alternate water reuse. New society publishers.
- Koumoura, K. A., Feloni, E. G., Londra, P. A., Baltas, E. A., & Tsihrintzis, V. A. Uncertainty analysis in sizing rainwater harvesting tanks in an isolated island with limited water resources.
- Lagouvardos, K., Kotroni, V., Bezes, A., Koletsis, I., Kopania, T., Lykoudis, S., & Vougioukas, S. (2017). The automatic weather stations NOANN network of the National Observatory of Athens: operation and database. *Geoscience Data Journal*, 4(1), 4-16.
- 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.
- Li, Z., Boyle, F., & Reynolds, A. (2010). Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. *Desalination*, 260(1-3), 1-8.
- 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.
- 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.
- Preka, M., Feloni, E., Londra, P., Kotsifakis, K., Baltas, E. (2017). Rainwater harvesting tanks' efficiency in Thera island.
- Sturm, M., Zimmermann, M., Schütz, K., Urban, W., & Hartung, H. (2009). Rainwater harvesting as an alternative water resource in rural sites in central northern Namibia. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(13-16), 776-785.
- 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. V. A. N. G. E. L. O. S. (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.
- By, U. N. E. P. (2009). *Rainwater harvesting: A lifeline for human well-being*.
- 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

www.elime.gr/ Ένωση Λιμένων Ελλάδος (Accessed March 2018)

www.filotis.itia.ntua.gr/ Φιλότης, Βάση Δεδομένων για την Ελληνική Φύση (Accessed April 2018)

www.google.com/earth/ (Accessed February 2018)

www.medies.net/ Μεσογειακό Γραφείο Πληροφόρησης για το Περιβάλλον, τον Πολιτισμό και την Αειφόρο Ανάπτυξη (Accessed June 2018)

www.statistics.gr/ Ελληνική Στατιστική Αρχή (Accessed February 2018)

<http://www.watertech.ie/> (Accessed September 2018)
