



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

---

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΟΙΚΙΣΤΙΚΗΣ  
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΝΗΣΙ**

---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Γεώργιος Νοταράς

**Επιβλέπων:** Νικόλαος Μαμάσης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2022





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

---

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΟΙΚΙΣΤΙΚΗΣ  
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΝΗΣΙ**

---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Γεώργιος Νοταράς

**Επιβλέπων:** Νικόλαος Μαμάσης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2022



**Γεώργιος Μ. Νοταράς**

Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Νοταράς, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Georgios Notaras 2022

All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organization (L. 5343/1932, art. 202).





Γεώργιος Μ. Νοταράς

Διπλωματική εργασία

Σχεδιασμός Ενεργειακά Αυτόνομης Οικιστικής  
Εγκατάστασης σε μη Διασυνδεδεμένο Νησί

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

Αθήνα 2022

---

Georgios M. Notaras

Diploma Thesis

Energy Autonomous Residential Design  
Installation on a non-Interconnected Island

National Technical University of Athens, School of Civil Engineering,  
Department of Water Resources and Environmental Engineering

Athens 2022





στην οικογένεια μου,



# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου στην σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Θα ήθελα σε αυτό το σημείο να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνέβαλαν στην μέχρι τώρα πορεία μου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας μου κ. Νικόλαο Μαμάση ο οποίος με εμπιστεύτηκε στη διερεύνηση του συγκεκριμένου θέματος. Η συνεχής καθοδήγηση, βοήθεια και στήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας και της φοίτησης μου στο προπτυχιακό πρόγραμμα ήταν για μένα σπουδαία. Αισθάνομαι ιδιαίτερα τυχερός και ευγνώμων που συνεργάστηκα με τον κ.Μαμάση και θα ήταν μεγάλη μου χαρά να συνεργαστώ ξανά στο μέλλον.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές της σχολής Π.Μ για τις γνώσεις και κυρίως για το τρόπο σκέψης, τις εμπειρίες και τις αξίες που μου μετέφεραν. Ξεχωριστά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο, τον κ.Ανδρέα Ευστρατιάδη καθώς και τον κ. Παναγιώτη Παπανικολάου για την πολύ σημαντική καθοδήγηση και βοήθεια τους όποτε τους ζητήθηκε.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους συμφοιτητές μου που με στήριξαν με βοήθησαν και ομόρφυναν ο καθένας με τον τρόπο του την προπτυχιακή μου πορεία. Αισθάνομαι τυχερός που γνώρισα πραγματικά καλά παιδιά με ευσυνειδησία μα πάνω από όλα ανθρώπους με σωστές αρχές.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους παππούδες μου, τους γονείς μου και τον αδελφό μου για τη συνεχή υποστήριξη τους με κάθε τρόπο.

Νοταράς Γεώργιος

Αθήνα,  
Νοέμβριος 2022



# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διαστασιολογείται ένα μίγμα πράσινων τεχνολογιών, με σκοπό την δημιουργία ενός αυτόνομου και χαμηλού περιβαλλοντικού αποτυπώματος οικισμού πενήντα κατοίκων. Ο οικισμός βρίσκεται σε λειτουργία μόνο κατά τη θερινή περίοδο δηλαδή τους μήνες (Ιούνιο-Αύγουστο) και η χωροθέτηση του γίνεται στα Αρμάθια Η. Ν. Κάσου, ένα μη διασυνδεδεμένο και ακατοίκητο νησί στο νοτιοανατολικό Αιγαίο. Η αυτοτέλεια του οικισμού αναφέρεται στην παραγωγή νερού καθώς και ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών του, με την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

Η παραγωγή νερού στον οικισμό επιτυγχάνεται μέσω ενός συστήματος συλλογή ομβρίων, όπου το νερό συλλέγεται τους μήνες που δε λειτουργεί ο οικισμός από κατάλληλα διαμορφωμένες στέγες, πεζοδρόμια και δρόμους του οικισμού. Για τη διαστασιολόγηση του συστήματος συλλογή ομβρίων πάρθηκαν βροχομετρικά δεδομένα έντεκα ετών από τον μετεωρολογικό σταθμό της Ηρωικής Νήσου Κάσου. Υπολογίστηκε η καθαρή απορροή από της επιφάνειες περισυλλογής και διαστασιολογήθηκε η χωρητικότητα των κεντρικών δεξαμενών αποθήκευσης του νερού ώστε το έλλειμμα νερού στον οικισμό να είναι μηδενικό. Παρουσιάζεται επιπλέον η διαμόρφωση του υδραυλικού δικτιού (δεξαμενής- αντλιών- σωληνώσεων) μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η αποθήκευση του βρόχινου νερού. Τέλος παραθέτονται τα διαγράμματα κάλυψης της ζήτησης του οικισμού σε νερό καθώς και υπερχειλίσης των κεντρικών δεξαμενών. Το νερό της βροχής επεξεργάζεται με κατάλληλο τρόπο πριν την παροχέτευση του. Σύστημα αφαλάτωσης έχει προβλεφθεί στον οικισμό σε περίπτωση ανάγκης.

Για την προαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας διαστασιολογείται ένα φωτοβολταϊκό πάρκο καθώς και ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης. Η διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού πάρκου πραγματοποιήθηκε με συλλογή μηνιαίων τιμών ακτινοβολίας της περιοχή μελέτης. Το φωτοβολταϊκό πάρκο σχεδιάστηκε ώστε η παραγόμενη ενέργεια του ημερησίου να καλύπτει τις ανάγκες του οικισμού, αλλά και συγχρόνως να παροχετεύσει ενέργεια στο σύστημα αντλησιοταμίευσης ώστε κατά τη διάρκεια της νύχτας να καλύπτει εκείνο τις ζητήσεις του οικισμού. Το σύστημα αντλησιοταμίευσης διαστασιολογήθηκε ώστε ο ταμιευτήρας του να μπορεί να ανταπεξέλθει και σε περιπτώσεις όπου τα φωτοβολταϊκά αδυνατούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.

Επιπροσθέτως παρουσιάζονται μέθοδοι διαχείρισης υγρών και στερεών αποβλήτων οικολογικής μορφής. Σχετικά με την διαχείριση των υγρών αποβλήτων σχεδιάζεται ένα σύστημα τεχνητού Υγροβιότοπου κατακόρυφης υπό-επιφανειακής ροής, ενώ η διαχείριση των στερεών επιτυγχάνεται μέσω της ανακύκλωσης και της μεθόδου της κομποστοποίησης.

Τέλος υπολογίστηκε με χονδρικό τρόπο το κόστος κάθε μονάδας ξεχωριστά προς τη σύγκριση των τεχνολογιών μεταξύ τους.

**Λέξεις κλειδιά:** Συλλογή ομβρίων υδάτων, επεξεργασία ομβρίων, αντίστροφη ώσμωση, τεχνητός υγροβιότοπος, κομποστοποίηση, ανακύκλωση, φωτοβολταϊκά, ηλεκτρικά αυτοκίνητα, αντλησιοταμίευση, υδροστρόβιλος, γεννήτρια πετρελαίου.



# ABSTRACT

---

In this thesis a mix of green technologies (environmentally friendly) is being dimensionalized, so as to create a self-sufficient settlement of 50 residents with low ecological footprint. The settlement is in operation only during the summer months (June-August) and its positioning is at Armathia H.I. Kasos, a non-interconnected and uninhabited island in southeast Aegean. The autonomy of the island refers to the production of water, as well as electricity to meet the needs of the settlement by utilizing renewable energy sources (RES).

Water production in the settlement is achieved through a rainwater harvesting system, where the water is collected during the months when the settlement is not operating from specially designed roofs, sidewalks and streets of the settlement. For the dimensioning of the rain collection system, eleven years of rainfall data were collected from the meteorological station of H.I. Kasos. The net runoff from the collection surfaces was calculated and the capacity of the central water storage tanks was dimensioned so that the water deficit in the settlement will be zeroed. Furthermore, the configuration of the hydraulic network (tank-pumps-pipes) through which the storage of rainwater is achieved is also presented. Finally, the diagrams for covering the settlement's water demand as well as the overflow of the central reservoirs are listed. Rainwater is treated in an appropriate way before being drained. A desalination system has been provided in the settlement in case of need.

For the promotion of electricity, a photovoltaic park as well as a pumped storage system are dimensioned. The demensioning of the photovoltaic park was carried out by collecting monthly radiation values of the study area. The photovoltaic park was designed so that the energy produced during the day covers the needs of the settlement, and simultaneously it channels energy into the pumped storage system so that during the night it covers the demands of the settlement. The pumped-storage system was dimensioned so that its reservoir could cope even in cases where the photovoltaics are unable to produce electricity. In addition, liquid and solid waste management methods of ecological substance are presented. Regarding the management of liquid waste, an artificial wetland system of vertical sub-surface flow is planned, while the management of solids is achieved through recycling and the method of composting.

To summarize, the cost of each unit was calculated roughly so as to compare the technology of each unit with each other.

**Keywords:** Rain water harvesting, rainwater treatment, reverse osmosis, artificial wetland, composting, recycling, photovoltaics, electric cars, pumped storage, hydro turbine, petrol generator.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	x
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	xii
ABSTRACT .....	xiv
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	xv
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	xix
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xxii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ & ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ .....	ii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Αντικείμενο εργασίας .....	1
1.2 Διάρθρωση εργασίας.....	2
2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΟΜΒΡΙΩΝ .....	4
2.1 Ορισμός .....	4
2.2 Ιστορικά στοιχεία .....	4
2.3 Οφέλη Συλλογής Βρόχινου Νερού.....	5
2.4 Μέθοδοι συλλογή ομβρίων .....	5
2.5 Συγκομιδή οικιακού όμβριου νερού .....	6
2.6 Τεχνολογία συστημάτων βρόχινου νερού .....	7
2.6.1 Οικιακά συστήματα .....	7
2.6.2 Σύστημα υπέργειας και υπόγειας δεξαμενή συλλογής .....	7
2.7 Σχεδιασμός συστήματος συλλογής ομβρίων .....	8
2.8 Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος .....	9
2.8.1 Δεξαμενές .....	9
2.8.2 Στέγη συλλογής.....	11
2.8.3 Σύστημα μεταφοράς.....	11
2.8.4 Φίλτρα .....	12
3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΣΤΑ ΑΡΜΑΘΙΑ Η. Ν. ΚΑΣΟΥ.....	13
3.1 Περιγραφή Ενεργειακού Οικισμού.....	13
3.2 Χωροθέτηση Αυτόνομης Οικιστικής Εγκατάστασης .....	14
3.3 Απαιτήσεις ζήτησης νερού στον οικισμό .....	16
3.3.1 Πληθυσμός Σχεδιασμού .....	16
3.3.2 Φυτοκάλυψη Οικισμού.....	17
3.3.3 Πισίνες Οικισμού .....	19
3.4 Σύστημα συλλογής ομβρίων οικισμού .....	21
3.5 Υπολογιστικό Μοντέλο .....	21



3.5.1	Μεθοδολογία Διαστασιολόγησης .....	21
3.5.2	Εφαρμογή Μοντέλου.....	25
3.6	Διαστασιολόγηση υδραυλικού δικτύου.....	30
3.6.1	Χωροθέτηση κεντρικών δεξαμενών αποθήκευσης .....	31
3.6.2	Διαστασιολόγηση προσωρινή δεξαμενή αποθήκευσης.....	32
4	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΜΒΡΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΠΡΟΣ ΠΟΣΗ .....	38
4.1	Χρήσεις και ρύπανση ομβρίων.....	38
4.2	Πειραματικά δεδομένα ποιότητας νερού συλλογή ομβρίων.....	41
4.2.1	Δεδομένα πειραματικής μελέτης (Podlaskie, Poland ).....	41
4.2.2	Φυσικοχημικά και υγειονομικά αποτελέσματα πειραματικής μελέτης (Podlaskie, Poland )	41
4.1	Επεξεργασία νερού στον οικισμό Αρμάθια Η. Ν. Κάσου.....	46
4.1.1	Γενικά στοιχεία επίδρασης ποιότητας όμβριου νερού στον οικισμό .....	46
4.1.2	Τεχνικές συντήρησης και βελτιστοποίησης ποιότητας αποθηκευμένου όμβριου νερού.....	47
5	ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ.....	49
5.1	Περιεκτικότητα του νερού σε στερεές ουσίες.....	49
5.2	Αντίστροφη ώσμωση (RO).....	50
5.3	Περιγραφή επιμέρους τμημάτων μονάδων αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση (RO).....	51
5.3.1	Παροχή θαλασσινού νερού προς αφαλάτωση .....	52
5.3.2	Προεπεξεργασία θαλασσινού νερού .....	52
5.3.3	Κυρίως σύστημα αφαλάτωσης μεμβράνες .....	53
5.3.4	Μετεπεξεργασία θαλασσινού νερού .....	53
5.3.5	Αντλίες παροχής θαλασσινού νερού .....	53
5.4	Διαστασιολόγηση εγκατάστασης αντίστροφής ώσμωσης οικισμού.....	54
5.4.1	Υπολογισμός απαιτούμενης παραγόμενης παροχής λειτουργίας εγκατάστασης αντίστροφης ώσμωσης (RO).....	54
5.4.2	Χωροθέτηση εγκατάστασης αντίστροφης ώσμωσης (RO).....	55
5.4.3	Διαστασιολόγηση τροφοδοτικής αντλίας εγκατάστασης αντίστροφης ώσμωσης (RO).....	56
6	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ ΟΙΚΙΣΜΟΥ .....	58
6.1	Νομοθετικό πλαίσιο .....	58
6.2	Τεχνητοί υδροβιότοποι .....	59
6.2.1	Υδροβιότοπους κατακόρυφης υποεπιφανειακής ροής (Vertical Flow- VF).....	59
6.3	Διεργασίες τεχνητών υδροβιότοπων.....	60
6.4	Προ-επεξεργασία / Πρωτοβάθμια επεξεργασία.....	62
6.5	Εκτίμηση δεδομένων σχεδιασμού (CW-VSSF) του οικισμού .....	63
6.5.1	Μέση ημερήσια παροχή (Qo).....	63

6.5.2	Μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια παροχή και παροχή αιχμής.....	64
6.5.3	Εκτίμηση φορτίων σχεδιασμού .....	66
6.6	Διαστασιολόγηση δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης.....	67
6.6.1	Χρόνος παραμονής δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης.....	68
6.6.2	Ισοζύγιο δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης.....	68
6.7	Διαστασιολόγηση τεχνητού Υγροβιότοπου κατακόρυφης υπό-επιφανειακής ροής (CW-VSSF) του οικισμού .....	69
6.7.1	Γενικά για τις μεθοδολογίες διαστασιολόγησης (CW-VSSF).....	69
6.7.2	Διαστασιολόγηση βάσει της επιτρεπόμενης υδραυλικής φόρτισης (HLR) .....	69
6.7.3	Διαστασιολόγηση βάσει της επιτρεπόμενης οργανικής φόρτισης (OLR).....	70
6.7.4	Διαστασιολόγηση με την χρήση σχέσεων για την πρόσληψη οξυγόνου βάσει το ισοζύγιο οξυγόνου κατά Cooper.....	71
6.7.5	Επιλογή επιφάνειας (CW-VSSF) .....	72
6.7.6	Απομάκρυνση ολικών στερεών (TSS) .....	72
6.7.7	Διαστασιολόγηση επιμέρους μονάδων .....	73
7	ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	77
7.1	Στερεά απόβλητα.....	77
7.2	Κομποστοποίηση.....	77
7.3	Συστήματα Κομποστοποίησης .....	78
7.3.1	Συστήματα ανοιχτού τύπου.....	78
7.3.2	Συστήματα κλειστού τύπου .....	78
7.4	Ανακύκλωση.....	79
7.5	Διαχείριση στερεών αποβλήτων στον οικισμό Αρμάθια Η. Ν. Κάσου.....	80
8	ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΟΙΚΙΣΜΟΥ .....	82
8.1	Απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας οικισμού τη θερινή περίοδο.....	82
8.1.1	Μόνιμα φορτία οικισμού .....	82
8.1.2	Μεταβαλλόμενα φορτία οικισμού .....	85
8.1.3	Συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας οικισμού.....	87
8.2	Φωτοβολταϊκά συστήματα .....	89
8.2.1	Ηλιακή ενέργεια.....	89
8.2.2	Φωτοβολταϊκό πλαίσιο και τεχνολογίες φωτοβολταϊκών πλαισίων .....	90
8.2.3	Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	92
8.2.4	Φωτοβολταϊκή συστοιχία.....	93
8.2.5	Διάταξη φωτοβολταϊκών πλαισίων .....	94
8.3	Φωτοβολταϊκό πάρκο στα Αρμάθια Η. Ν. Κάσου .....	97
8.3.1	Χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου (Φ.Π) .....	97

8.3.2	Διάταξη φωτοβολταϊκού συστήματος .....	98
8.3.3	Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας .....	101
9	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ .....	108
9.1	Περιγραφή συστήματος αντλησιοταμίευσης .....	108
9.2	Επιλογή σχεδιασμού δικτύου σωληνώσεων .....	108
9.2.1	Μονή σωλήνωση.....	108
9.2.2	Διπλή σωλήνωση .....	109
9.2.3	Μονή σωλήνωση με σύνθετη λειτουργία.....	110
9.3	Αντλητική εγκατάσταση .....	110
9.4	Υδροστροβίλος .....	111
9.4.1	Θεωρητικό ύψος υδροστροβίλου.....	112
9.4.2	Διάκριση των υδροστροβίλων.....	113
9.4.3	Επιλογή τύπου υδροστροβίλου .....	114
9.4.4	Βαθμός απόδοσης υδροστροβίλου .....	115
9.4.5	Ενεργειακή ανάλυση.....	116
9.5	Αντλησιοταμίευση οικισμού στα Αρμάθια Η. Ν. Κάσου .....	121
9.5.1	Περιγραφή του συστήματος αντλησιοταμίευσης του οικισμού .....	121
9.5.2	Επιλογή υδροστροβίλου και χωροθέτηση ταμιευτήρα .....	121
9.5.3	Λειτουργία υδροστροβίλου προς κάλυψη αναγκών οικισμού .....	123
9.5.4	Αντλητικό σύστημα θαλασσινού νερού .....	127
10	ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ .....	130
10.1	Χωροθέτηση και διαστασιολόγηση συστήματος γεννήτριας πετρελαίου .....	130
11	ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΜΟΥ .....	133
11.1	Κόστος συστήματος συλλογή ομβρίων (RWH).....	133
11.2	Κόστος συστήματος αφαλάτωσης αντιστροφής ώσμωσης (RO) .....	133
11.3	Κόστος τεχνητού υδροβιότοπος κατακόρυφης υποεπιφανειακής ροής (CW-VSSF).....	134
11.4	Κόστος φωτοβολταϊκού πάρκου.....	135
11.5	Κόστος συστήματος αντλησιοταμίευσης.....	135
11.6	Μονάδα γεννήτρια πετρελαίου .....	135
11.7	Συνολικό κόστος τεχνολογιών οικισμού.....	136
12	ΣΥΝΟΨΗ.....	137
12.1	Ενεργειακό ισοζύγιο οικισμού.....	137
12.2	Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	140
12.2.1	Συμπεράσματα .....	140
12.2.2	Προτάσεις .....	142
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	144

# ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Αποθήκευση βρόχινου νερού στο χώμα. ....	6
Σχήμα 2: Εξωτερική αποθήκευση βρόχινου νερού. ....	6
Σχήμα 3: Συλλογή νερού από στέγες και απορροές δρόμων. ....	6
Σχήμα 4: Τυπικό σύστημα συλλογή ομβρίων. ....	9
Σχήμα 5: Κάτοψη αυτόνομου οικισμού. ....	14
Σχήμα 6: Τοποθεσία Αρμάθια Κάσου. ....	15
Σχήμα 7: ELEVATION ARMATHIA. ....	15
Σχήμα 8: Χωροθέτηση ενεργειακού οικισμού. ....	16
Σχήμα 9: Ύψος βροχής στα Αρμάθια Η. Ν. Κάσου από 01/01/2011 έως και τη 31/12/2021 ....	26
Σχήμα 10: Καθαρό ύψος βροχής στα Αρμάθια Η. Ν. Κάσου από 01/01/2011 έως και τη 31/12/2021.....	26
Σχήμα 11: Ημερήσια εισροή (καθαρή απορροή), εκροή (ζήτηση) νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης για ( $V_{tank} = 1250m^3, A = 5250m^2$ ).....	27
Σχήμα 12: Αθροιστικός όγκος υπερχειλίσης $R_t$ νερού για ( $V_{tank} = 1250m^3, A = 5250m^2$ ).....	27
Σχήμα 13: Ημερήσια εισροή (καθαρή απορροή), εκροή (ζήτηση) νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης για ( $V_{tank} = 1266.40m^3, A = 5200m^2$ ).....	28
Σχήμα 14: Αθροιστικός όγκος υπερχειλίσης $R_t$ νερού για ( $V_{tank} = 1266.40m^3, A = 5200m^2$ ).....	28
Σχήμα 15: Ημερήσια εισροή (καθαρή απορροή), εκροή (ζήτηση) νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης για ( $V_{tank} = 1266.40m^3, A = 5250m^2$ ).....	29
Σχήμα 16: Αθροιστικός όγκος υπερχειλίσης $R_t$ νερού για ( $V_{tank} = 1266.40m^3, A = 5250m^2$ ).....	29
Σχήμα 17: Χωροθέτηση δεξαμενών αποθήκευσης.....	32
Σχήμα 18: Χωροθέτηση δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης.....	33
Σχήμα 19: Συχνότητα εμφάνισης των τιμών εισροής στη δεξαμενές αποθήκευσης.....	33
Σχήμα 20: Καθημερινή εισροή στην δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης.....	35
Σχήμα 21: Διακύμανση του όγκου νερού $VTR, tank(t)$ στη δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης.....	35
Σχήμα 22: Διακύμανση του ύψους νερού $HTR, tank(t)$ στη δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης.....	36
Σχήμα 23: Παρουσίαση αντλίας.....	37
Σχήμα 24: Καμπύλη λειτουργίας αντλίας KRAFT - KSP 150L.....	37
Σχήμα 25: Χρήσεις και επιτρεπόμενη ποιότητας νερού στις οικιακές ανάγκες.....	39
Σχήμα 26: Οι τρεις παράγοντες καταλληλότητας αποθηκευμένου βρόχινου νερού για σκοπούς πλύσης.....	39
Σχήμα 27: Σχηματική αναπαράσταση συλλογής βρόχινου και περιοχές μόλυνσης.....	40
Σχήμα 28: Ιστόγραμμα αποτελεσμάτων φυσικοχημικής φύσης πειραματικής μελέτης Podlaskie, Poland.....	43
Σχήμα 29: Ιστόγραμμα αποτελεσμάτων φυσικοχημικής φύσης πειραματικής μελέτης Podlaskie, Poland.....	44
Σχήμα 30: Ιστόγραμμα αποτελεσμάτων φυσικοχημικής φύσης πειραματικής μελέτης Podlaskie, Poland.....	44
Σχήμα 31: Ιστόγραμμα αποτελεσμάτων υγειονομικής φύσης πειραματικής μελέτης Podlaskie, Poland.....	46
Σχήμα 32: The National Secondary Drinking Water Standard for TDS in the United States.....	49
Σχήμα 33: Ωσμωση και αντίστροφη ώσμωση.....	50
Σχήμα 34: Διάγραμμα ροής αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση θαλασσινού νερού.....	54
Σχήμα 35: Χωροθέτηση εγκατάστασης RO.....	55
Σχήμα 36: Αντλία RO και καμπύλη λειτουργίας της [ <a href="https://axbul.bg/gr">https://axbul.bg/gr</a> ].....	56
Σχήμα 37: Αντλία TCHM 25200, 1780 RPM.....	57
Σχήμα 38: Τυπική τομή υδροβιότοπου υποεπιφανειακής κατακόρυφης ροής (Vertical Flow- VF).....	60
Σχήμα 39: Τυπική δεξαμενή καθίζησης. [ <a href="http://waterpurificationengineering.weebly.com">http://waterpurificationengineering.weebly.com</a> ].....	62
Σχήμα 40: Τυπική δεξαμενή Imhoff.....	63
Σχήμα 41: Δεξαμενή καθίζησης εμπορίου 1200 L.....	67
Σχήμα 42: Συγκέντρωση TSS εξόδου στους CW-VSSF [Kadlec & Wallac].....	73
Σχήμα 43: Σύστημα κομποστοποίησης ανοιχτού τύπου.....	78

Σχήμα 44: Κλειστό σύστημα κομποστοποίησης[Λουκάς 2008].	79
Σχήμα 45: Κάδοι ανακύκλωσης αναλόγως το υλικό.	80
Σχήμα 46: Ηλιακός φωτισμός φωταγώγησης δρόμων.	83
Σχήμα 47: Ηλιακός φωτισμός δαπέδου για φωταγώγηση μονοπατιών.	83
Σχήμα 48: Ηλεκτρικό αυτοκίνητο ZHIDOU D2S.	85
Σχήμα 49: Ποσοστιαία χρήση ηλεκτρικών συσκευών τη θερινή περίοδο 1/06 - 31/08 [Τσαρτσάλη 2013].	86
Σχήμα 50: Ημερήσια ζήτηση ισχύς τυπικής μέρας αιχμής	88
Σχήμα 51: Ημερήσια αθροιστική ζήτηση οικισμού ενέργειας (kWh)	88
Σχήμα 52: Μηνιαία αθροιστική ζήτηση οικισμού ενέργειας (kWh)	89
Σχήμα 53: Φωτοβολταϊκά πλαίσια από μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά και άμορφο πυρίτιο [https://www.solarreviews.com].	91
Σχήμα 54: Απόδοση φωτοβολταϊκών συστημάτων ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση του εδάφους ως προς το οριζόντιο επίπεδο [TEE TKM 2011, Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών,2008].	93
Σχήμα 55: Φωτοβολταϊκό συστοιχίες .[https://img-labmanager.s3.amazonaws.com]	93
Σχήμα 56: Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών συστημάτων.	94
Σχήμα 57: Γωνίες προσανατολισμού ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου [Πέρδιος 2011].	95
Σχήμα 58: Αποστάσεις κατάλληλης παράλληλης διάταξης Φ/Β πλαισίων [Πέρδιος, 2011].	96
Σχήμα 59: Διάγραμμα Monegon [Πέρδιος, 2011 ].	96
Σχήμα 60: Περιοχή έδρασης φωτοβολταϊκού πάρκου.	97
Σχήμα 61: Κάτοψη φωτοβολταϊκού πάρκου.	101
Σχήμα 62 : Παραγωγή ηλιακής ενέργειας (KWh/έτος/kWp) για την Ελλάδα.	102
Σχήμα 63: Μέση ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά τετραγωνικό φωτοβολταϊκών στην περιοχή των Δωδεκανήσων. [https://www.atmosphere-upatras.gr]	103
Σχήμα 64: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία ανά m <sup>2</sup> εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών στα Αρμάθια Η. Ν. Κάσου.	104
Σχήμα 65: Εύρος μηνιαίων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας.	105
Σχήμα 66: Συχνότητα εμφάνισης τιμών ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή μελέτης στα δώδεκα χρόνια. ...	105
Σχήμα 67: Διακύμανση ηλιοφάνειας στην Ελλάδα το έτος	106
Σχήμα 68: Διακύμανση ηλιοφάνειας στην Ελλάδα το χειμώνα	106
Σχήμα 69: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του φωτοβολταϊκού πάρκου για την περίοδο 2011-2022.	107
Σχήμα 70: Μέγιστη και ελάχιστη ετήσια αθροιστική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του φωτοβολταϊκού πάρκου την περίοδο 2011-2022.	107
Σχήμα 71: Τυπικό σύστημα αντλησιοταμίευσης με μονής σωλήνωσης [Σπύρου, 2009.]	109
Σχήμα 72: Τυπικό σύστημα αντλησιοταμίευσης με διπλή σωλήνωση. [Σπύρου, 2009]	110
Σχήμα 73: Λεπτομερής σχηματική διάταξη απλής αντλητικής εγκατάστασης [Δημήτριος Παπαντώνης 2009].	111
Σχήμα 74: Αρχή λειτουργίας υδροστροβίλου.	112
Σχήμα 75: Tourbine Application Chart.	115
Σχήμα 76: Θεωρητική υδραυλική πτώση στο υδροηλεκτρικό.	117
Σχήμα 77: Τυπικό διάγραμμα Shankey υδροηλεκτρικής εγκατάστασης (Καλδέλης και Καββαδίας, 2005).	120
Σχήμα 78: Χωροθέτηση συστήματος αντλησιοταμίευσης.	122
Σχήμα 79: Ημερήσιο διάγραμμα ισχύος παροχής υδροστροβίλου Pelton.	124
Σχήμα 80: Ημερήσια κάλυψη ζήτησης ισχύος οικισμού από τον υδροστροβίλο Pelton.	124
Σχήμα 81: Ημερήσια κάλυψη ζήτησης ενέργειας του οικισμού από τον υδροστροβίλο Pelton.	125
Σχήμα 82: Πενθήμερη κάλυψη ζήτησης ενέργειας από τον υδροστροβίλο Pelton.	125
Σχήμα 83: Μεταβολή του όγκου νερού του ταμιευτήρα κατά το διάστημα των πέντε ημερών μη ηλιοφάνειας.	126

Σχήμα 84: Αντλία αντλησιοταμίευσης TCHM 65200, 3550 RPM .	128
Σχήμα 85: Καμπύλη λειτουργίας της αντλίας TCHM 65200, 3550 RPM [ <a href="https://axbul.bg/gr">https://axbul.bg/gr</a> ].	128
Σχήμα 86: Χωροθέτηση κτηρίου γεννήτριας πετρελαίου.	130
Σχήμα 87: Γεννήτρια πετρελαίου PRAMAC Ιταλίας GSL 65D 59,7 KVA.	131
Σχήμα 88: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας του φωτοβολταϊκού πάρκου για τους θερινούς μήνες 2011-2022....	137
Σχήμα 89: : Ιστόγραμμα παραγόμενης και καταναλισκόμενης μηνιαίας ενέργειας στον οικισμό.....	138
Σχήμα 90: Διάγραμμα ροής ενέργειας και νερού στην εγκατάσταση.	139
Σχήμα 91: Χωροθέτηση συνολικά του μίγματος τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν.	140

# ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υλικών κατασκευής δεξαμενών αποθήκευσης ομβρίων. ....	10
Πίνακας 2: Μηνιαία και ημερήσια κατανομή ζήτησης οικισμού ( m3).....	23
Πίνακας 3: Χημικοσυνθετικής φύσης Αποτελέσματα πειραματικής μελέτης Podlaskie, Poland. ....	42
Πίνακας 4: Φυσικοχημικής φύσης Αποτελέσματα πειραματικής μελέτης Podlaskie, Poland. ....	42
Πίνακας 6: Αποτελέσματα υγειονομικής φύσης Podlaskie, Poland. ....	45
Πίνακας 7: Περιεκτικότητα σε στερεές ουσίες TDS θαλασσών και ωκεανών. ....	49
Πίνακας 8: Μηχανισμοί απομάκρυνσης ρύπων σε T.Y.....	61
Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά υλικών πληρώσεως στους CW-VSSF. ....	74
Πίνακας 11: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς εσωτερικού φωτισμού οικισμού. ....	83
Πίνακας 12: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ψυγειοκαταψυκτών οικισμού. ....	84
Πίνακας 13: Κύρια χαρακτηριστικά ΖΗΙΔΟΥ D2S.....	85
Πίνακας 14: Πίνακας φορτίων τυπικού νοικοκυριού [Τσαρτσάλη Ελένης 2013].....	86
Πίνακας 15: Καταναλώσεις στο σενάριο αιχμής.....	87
Πίνακας 16: Συγκεντρωτικός πίνακας καταναλώσεων για το σενάριο αιχμής την ημέρα και τον μήνα.....	89
Πίνακας 17: Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών. [Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, 2011] .....	92
Πίνακας 21: Ώρες ηλιοφάνειας στο νησί της Ρόδου το έτος, το καλοκαίρι, το φθινόπωρο, το χειμώνα [ <a href="https://www.meteorology.gr/statistika-iliofaneias-gia-tin-ellada/#!prettyPhoto">https://www.meteorology.gr/statistika-iliofaneias-gia-tin-ellada/#!prettyPhoto</a> ].....	106
Πίνακας 22: Διάκριση των υδροστροβίλων. ....	114
Πίνακας 23: Απαιτήσεις υδροστροβίλου-Υδροηλεκτρικού σε ενέργεια. ....	122
Πίνακας 24: Κατασκευαστικό κοστολόγιο συλλογή ομβρίων οικισμού. ....	133
Πίνακας 25: Κόστος λειτουργίας μονάδας RO για υφάλμυρο και θαλασσινό νερού.....	134
Πίνακας 26: Κόστος συστήματος RO οικισμού. ....	134
Πίνακας 27: Κατασκευαστικό κόστος τεχνητού Υγροβιότοπος(CW-VSSF) οικισμού.....	134
Πίνακας 28: Κατασκευαστικό κόστος φωτοβολταϊκού πάρκου οικισμού.....	135
Πίνακας 29: Κόστος συστήματος αντλησιοταμίευσης οικισμού. ....	135
Πίνακας 30: Κόστος αγοράς γεννήτριας πετρελαίου PRAMAC Ιταλίας GSL 65 D 59,7 KVA. ....	135
Πίνακας 31: Συγκεντρωτικός πίνακας κατασκευαστικού κόστους τεχνολογιών εγκατάστασης οικισμού. ....	136
Πίνακας 32: Συνοπτικός πίνακας παραγόμενης και καταναλισκόμενης μηνιαίας ενέργειας στον οικισμό. ....	138

# ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ & ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

---

**RWH** Συλλογή Ομβρίων

**OTC** Ικανότητα Πρόσληψης Οξυγόνου

**TDS** Συνολικά Διαλυμένα Στερεά

**CFU** Μονάδες Σχηματισμού Αποικιών

**RO** Αντίστροφη Ώσμωση

**DWS** Οικιακή Παροχή Νερού

**TSS** Ολικά Στερεά

**UV** Υπεριώδης Ακτινοβολία

**BOD** Βιολογική Ζήτηση Οξυγόνου

**ΥΠΕΚΑ** Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής

**COD** Χημική Ζήτηση Οξυγόνου

**ΥΠΕΧΩΔΕ** Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας Δημοσίων Έργων

**CW-VSSF** Τεχνητός Υγροβιότοπος Κατακόρυφης υπό-Επιφανειακής Ροής

**ΕΟΚ** Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα

**CW** Τεχνητοί Υγροβιότοποι

**ΦΒ** Φωτοβολταϊκό Πάρκο

**FWS** Τεχνητοί Υγρότοποι Επιφανειακής Ροής

**ΑΠΕ** Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

**SFS** Τεχνητοί Υγρότοποι υπό-Επιφανειακής Ροής

**Η. Ν. Κάσος** Ηρωική Νήσος Κάσος

**VF** Κατακόρυφη Ροή

**Τ.Υ** Τεχνητός Υγροβιότοπος

**HLR** Ρυθμός Υδραυλικής Φόρτισης

**OLR** Ρυθμός Οργανική Φόρτισης



# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.1 Αντικείμενο εργασίας

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την υλοποίηση μιας πράσινης οικιστικής εγκατάστασης σε περιβάλλον δύσκολα προσβάσιμο όπως ένα μη διασυνδεδεμένο νησί και πιο συγκεκριμένα στο ακατοίκητο νησί Αρμάθια Η. Ν. Κάσου των Δωδεκανήσων νοτιοανατολικά του Ελλαδικού χώρου. Με τον όρο πράσινη οικιστική εγκατάσταση αναφερόμαστε σε μια μονάδα με μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα όπου καθίσταται συγχρόνως αυτάρκης και αυτοτελής όσον αφορά την ύδρευση, άρδευση καθώς και την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

Καταρχάς για την υλοποίηση ενός μικρού περιβαλλοντικού αποτυπώματος στη μονάδα προβλέπεται συλλογή και οικολογικά σωστή διαχείριση των στερεών καθώς και των υγρών αποβλήτων της. Τα στερεά απόβλητα αντιμετωπίζονται αναλόγως με τη σύσταση τους στη συγκεκριμένη μονάδα και η διαχείριση τους επιτυγχάνεται μέσω της υιοθέτησης των μεθόδων της ανακύκλωσης καθώς και της επιτόπου χρήσης της κομποστοποίησης. Από την άλλη σχετικά με την διαχείριση των υγρών αποβλήτων στη συγκεκριμένη μονάδα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των τεχνητών υδροβιότοπων, μια μέθοδος που χρησιμοποιεί το ίδιο το περιβάλλον και τις βιοχημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε αυτό για τη βιολογική απομάκρυνση των ρύπων. Τέλος για την ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος θα πρέπει οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) που υιοθετούνται προς κάλυψη των ζητήσεων ενέργειας να ταιριάζουν και να προσαρμόζονται στη περιοχή μελέτης αφήνοντας αναλλοίωτο το περιβάλλον.

Στη συγκεκριμένη αυτάρκη εγκατάσταση, η παραγωγή νερού ύδρευσης και άρδευσης πραγματοποιείται μέσω της συλλογής όμβριων υδάτων. Η συλλογή του βρόχινου νερού θα μπορούσε να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους δημιουργίας λεκανών συλλογής, στην παρούσα εργασία η συλλογή επιτυγχάνεται μέσω στεγών, πεζοδρομίων και δρόμων. Το νερό αφού περάσει από μια διαδικασία επεξεργασίας καθίσταται έτοιμο για πόση και για οποιαδήποτε χρήση στον οικισμό. Αξίζει να αναφερθεί πως η αξιοπιστία και η αποτελεσματικότητα μεθόδων συλλογή ομβρίων εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης. Η βροχόπτωση στο νοτιοανατολικό Αιγαίο είναι σχετικά ασθενής οπότε η υλοποίηση της μεθόδου ήταν μια πρόκληση. Το μοντέλο συλλογή ομβρίων διαστασιολογήθηκε για την κάλυψη όλων των απαιτήσεων νερού της εγκατάστασης ωστόσο ως δικλείδα ασφαλείας υπάρχει πάντα διαθέσιμη μονάδα αφαλάτωσης στην εγκατάσταση για τυχόν κλιματολογικές μεταβολές σπάνιας κλίμακας.

Σχετικά με την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία θα καλύπτει όλες τις λειτουργίες του οικισμού στην παρούσα εργασία σχεδιάστηκε ένα υβριδικό σύστημα το οποίο απαρτίζουν οι (ΑΠΕ) ενός φωτοβολταϊκού πάρκου και ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης. Η αξιοποίηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου ήταν η πλέον αξιόπιστη λύση (ΑΠΕ), εφόσον οι ώρες ηλιοφάνειας στο νοτιοανατολικό Αιγαίο αγγίζουν το μέγιστο. Το φωτοβολταϊκό πάρκο στη παρούσα εργασία χρησιμοποιείται σαν τη κύρια μονάδα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς ένα ποσοστό της ημερήσιας παραγόμενης ενέργειας του παροχετεύεται εκτός της κάλυψης των αναγκών του οικισμού για την λειτουργία του συστήματος αντλησιοταμίευσης και πιο συγκεκριμένα για την κατανάλωση ενέργειας άντλησης. Αναλυτικότερα η περίσσια παραγόμενη ενέργεια των φωτοβολταϊκών ημερησίως, αν αφαιρέσουμε τις καταναλώσεις του

οικισμού, χρησιμοποιείται για την πλήρωση του ταμιευτήρα αντλησιοταμίευσης. Το σύστημα αντλησιοταμίευσης χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό και καλύπτει με τη σειρά του κατά κύριο λόγο τη νυχτερινή ζήτηση, όπου τα φωτοβολταϊκά αδυνατούν να συνεισφέρουν. Σαν δικλείδα ασφαλείας σε περίπτωση ανάγκης στον ταμιευτήρα αποθηκεύεται επιπλέον νερό. Τέλος για παν ενδεχόμενο στην εγκατάσταση υπάρχει μονάδα γεννήτριας πετρελαίου σε περίπτωση επιπρόσθετης ανάγκης. Στις απαιτήσεις ενέργειας του οικισμού μεταξύ άλλων περιλαμβάνεται και η χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων, όπου μειώνει επιπλέον το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της μονάδας συγκλίνοντας στις προδιαγραφές των έξυπνων πόλεων (smart cities).

### Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διαμόρφωση μιας μικρογραφίας πρότυπου οικισμού ενεργειακά αυτόνομου όπου θα συγκλίνει όσον αφορά το οικολογικό αποτύπωμα (στερεών, υγρών αποβλήτων, εκπομπών), τη διαχείριση και παραγωγή ενέργειας καθώς και την αυτονομία, στα πρότυπα των έξυπνων πόλεων (smart cities). Για το σκοπό αυτό παρουσιάζεται ένα μίγμα διαφόρων οικολογικών τεχνολογιών όπου συνδυαστικά δρουν αποτελεσματικά στην διαμόρφωση μιας αυτοτελούς μορφής ενός οικισμού. Τέτοιου είδους οικισμοί έχουν το τεράστιο πλεονέκτημα της χωροθέτησης τους σε οποιοδήποτε περιβάλλον όπου η αξιοποίηση των (ΑΠΕ) είναι πρόσφορη.

## **1.2 Διάρθρωση εργασίας**

Εκτός του παρόντος κεφαλαίου, όπου εισάγεται το γενικό πλαίσιο στο οποίο κινείται η διπλωματική, η εργασία αποτελείται από δεκατρία επιπλέον κεφάλαια.

Στο Κεφάλαιο 2 εισάγεται η έννοια της συλλογή ομβρίων των μεθόδων όπου επιτυγχάνεται καθώς και η τεχνολογία των συστημάτων της.

Στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται η διερεύνηση συλλογή ομβρίων στον ενεργειακό οικισμό, παρουσιάζοντας τη ζήτηση, το μοντέλο υπολογισμού της συλλογή ομβρίων, η εφαρμογή του μοντέλου καθώς και στοιχεία του υδραυλικού δικτύου αποθήκευσης των ομβρίων.

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται η μεθοδολογία επεξεργασίας του βρόχινου νερού ώστε να καθίσταται πόσιμο και έτοιμο για κάθε χρήση καθώς και ο τρόπος συντήρησής του.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η τεχνολογία της αφαλάτωσης και πιο συγκεκριμένα το σύστημα της αντίστροφης όσμωσης καθώς και η εφαρμογή του στον οικισμό σε περίπτωση ανάγκης.

Στο Κεφάλαιο 6 αναλύεται η επεξεργασία λυμάτων μέσω της τεχνολογίας των τεχνητών υδροβιότοπων καθώς και διαστασιολογείται μονάδα τεχνητού υδροβιότοπου επεξεργασίας των λυμάτων του οικισμού.

Στο Κεφάλαιο 7 περιγράφεται η διαχείριση στερεών αποβλήτων μέσω των μεθοδολογιών της κομποστοποίησης και της ανακύκλωσης καθώς και πώς αυτές μπορούν να εφαρμοστούν στον οικισμό.

Στο Κεφάλαιο 8 παρουσιάζεται η ηλεκτροδότηση του οικισμού προς κάλυψη των απαιτήσεων ζήτησης του μέσω της διαστασιολόγησης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου.

Στο Κεφάλαιο 9 περιγράφεται το σύστημα και η τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης καθώς και διαστασιολογείται σύστημα αντλησιοταμίευσης για την ενεργειακή κάλυψη αναγκών του οικισμού.

Στο Κεφάλαιο 10 παρουσιάζεται η τεχνολογία της ηλεκτρικής γεννήτριας πετρελαίου και η διαστασιολόγηση μιας τέτοιας μονάδας ως δικλείδα ενεργειακής ασφαλείας του οικισμού.

Στο Κεφάλαιο 11 περιγράφεται χονδρικός το κόστος κάθε επιμέρους τεχνολογίας που χρησιμοποιήθηκε στον οικισμό.

Στο Κεφάλαιο 12 συνοψίζονται οι ενεργειακοί υπολογισμοί της εγκατάστασης καθώς και παρατίθενται συμπεράσματα και προτάσεις.

Η εργασία ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των βιβλιογραφικών αναφορών που χρησιμοποιήθηκαν.

## 2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΟΜΒΡΙΩΝ

---

### 2.1 Ορισμός

Η συλλογή βρόχινου νερού (rainwater harvesting) είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη συλλογή, την αποθήκευση και τη μεταφορά του βρόχινου νερού από επιφάνειες, όπως είναι η στέγη, οι δρόμοι, οι βραχώδεις και εδαφικές λεκάνες, με σκοπό τη μελλοντική χρήση του. Η αποθήκευση του βρόχινου νερού πραγματοποιείται σε ειδικές δεξαμενές (rainwater tank) υπέργειες ή υπόγειες. Στη δεύτερη περίπτωση συντελεί και στην επαναφόρτιση του υπόγειου υδροφορέα.

### 2.2 Ιστορικά στοιχεία

Το βρόχινο είναι μαλακό νερό (μικρής σκληρότητας), οι συγκεντρώσεις αλάτων δηλαδή είναι πολύ περιορισμένες. Αυτό το κάνει άριστο στην μαγειρική, το φαγητό και ειδικά τα όσπρια βράζουν πολύ ευκολότερα και γρηγορότερα, το σαπούνι διαλύεται επίσης ευκολότερα διευκολύνοντας το πλύσιμο των ρούχων, στα μαλλιά δίνει στιλπνότητα και μετάξινη υφή, όμως είναι ακατάλληλο για πόσιμο. Για να αντιμετωπίσουν αυτές τις καταστάσεις όσοι αποθήκευαν βρόχινο νερό για πόσιμο, έριχναν στις δεξαμενές ασβέστη. Σήμερα όπου έχουν διατηρηθεί τέτοιες δεξαμενές, διακρίνονται στον πυθμένα υπολείμματα ασβέστη. Η αντίληψη όμως ότι ο ασβέστης ταυτόχρονα απολύμανε το αποθηκευμένο νερό, είναι λανθασμένη. Η συλλογή όμβριων υδάτων είναι μια παραδοσιακή τεχνική, που την συναντάμε σε διάφορες περιοχές ανά τον κόσμο ως μια μέθοδο για τη διάθεση γλυκού νερού για ανθρώπινη κατανάλωση και χρονολογείται εδώ και αρκετές εκατοντάδες χρόνια. Ανεξάρτητα από το ποσοστό διαθεσιμότητας του νερού σε διάφορες περιοχές (άνυδρες ή ημι-ένυδρες περιοχές), οι άνθρωποι κατόρθωσαν να επιβιώσουν διαχειριζόμενοι έξυπνα το διαθέσιμο νερό. Στις περιοχές αυτές, το νερό της βροχής ήταν η κύρια πηγή ύδρευσης [Bruins et al., 1986]. Βάσει αρχαιολογικών ευρημάτων σε διάφορα μέρη του κόσμου αποδεικνύεται ότι η συλλογή των βρόχινων υδάτων ήταν μια σημαντική πηγή νερού στις πρώιμες μορφές ανθρώπινου οικισμού, καθώς ο άνθρωπος είχε επινοήσει τρόπους και μέσα για την συλλογή και αποθήκευση του νερού της βροχής για αρδευτικούς σκοπούς, την εξασφάλιση νερού για οικιακή χρήση και την κτηνοτροφία. Η μέθοδος συλλογής του βρόχινου νερού ήταν πολύ απλή και χωρίς καμία επεξεργασία. Η έννοια της συλλογής όμβριων υδάτων πιθανολογείται ότι εφαρμόστηκε στην Κίνα πριν από 6000 χρόνια [Texas Water Development Board, 2005] ενώ αρχαιολογικά ευρήματα καταδεικνύουν την ύπαρξη συστημάτων συλλογής νερού ακόμη και πριν από 9000 χρόνια στην περιοχή της Ιορδανίας. Η πρακτική της ομβροσυλλογής εφαρμοζόταν, επίσης, πριν από 4500 χρόνια περίπου από τους αρχαίους πολιτισμούς της Μέσης Ανατολής. Στον Ελλαδικό χώρο, η αστική διαχείριση του νερού ήταν ήδη γνωστή από τη Μινωική και Μυκηναϊκή εποχή. Η χρήση δεξαμενών για την συλλογή και αποθήκευση των βρόχινων υδάτων στην Μινωική Κρήτη (3200-1100 π.Χ.) καθώς και τα συστήματα παροχής νερού στα μινωικά χωριά και στα ανάκτορα της Ηφαίστου, της Ζάκρου και του Μύρτου εξαρτιόνταν άμεσα από την βροχή. Καθώς το νερό της βροχής έπεφτε στις στέγες και τις αυλές των κτιρίων στην συνέχεια συλλέγονταν σε δεξαμενές. Παρόμοια συστήματα χρησιμοποίησαν και οι Μυκηναίοι κατά την Μυκηναϊκή περίοδο (1600- 1100 π.Χ.) καθώς και άλλα συστήματα όπως στέρνες και φράγματα μεγάλου μήκους. Η τεχνολογία συλλογής όμβριων υδάτων αναπτύχθηκε επίσης και κατά την διάρκεια της Κυκλαδικής περιόδου (3100-1600 π.Χ.). Στη Δήλο σημαντικά ευρήματα αυτής της περιόδου έδειξαν ότι το συλλεγμένο και αποθηκευμένο νερό σε στέρνες αποτελούσε σημαντική πηγή ύδρευσης. Τα περισσότερα σπίτια είχαν υπόγειες στέρνες στις αυλές τους (Koutsogiannis et al., 2008). Κατά τη διάρκεια της Ελληνιστικής περιόδου (περ. 323-146 π.Χ.) η τεχνολογία της συλλογής όμβριων υδάτων παρουσίασε σημαντική πρόοδο. Εκείνη την περίοδο, η συλλογή

όμβριων σε στέρνες αποτελούσε την αποκλειστική πηγή ύδρευσης σε πολλές πόλεις σε όλη την Ελλάδα [Angelakis and Spyridakis, 1996]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αρχαία πόλη της Περγάμου, όπου το 1993 βρέθηκαν 149 στέρνες που εξυπηρετούσαν περίπου 7900 κατοίκους (Garbrecht and Garbrecht, 2005). Η πρακτική της συλλογής όμβριων υδάτων συνεχίστηκε και η τεχνολογία βελτιώθηκε περαιτέρω κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο (περ. 67 π.Χ. - 330 μ.Χ.) και τη Βυζαντινή περίοδο(330 - 1204 μ.Χ.). Καθώς ο πληθυσμός των πόλεων μεγάλωνε, η κύρια προσέγγιση για την παροχή νερού έγινε η προμήθεια νερού από λεκάνες απορροής εκτός των πόλεων, το οποίο στη συνέχεια παρέχεται μέσω δικτύων μεγάλης κλίμακας. [<https://www.renewableenergyhub.co>]

## 2.3 Οφέλη Συλλογής Βρόχινου Νερού

Η συλλογή του βρόχινου νερού στις αστικές και αγροτικές περιοχές προσφέρει πολλά οφέλη. Σε αυτά περιλαμβάνεται η παροχή συμπληρωματικού νερού, η αυξημένη εδαφική υγρασία που είναι απαραίτητη για τη βλάστηση, ο τεχνητός εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα και η βελτίωση της ποιότητας του νερού. Σε επίπεδο κτιρίου, το νερό που συλλέγεται δύναται να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση, τα καζανάκια και το πλυντήριο ρούχων. Παρακάτω παρατίθενται επιγραμματικά τα κυριότερα οφέλη της συλλογής βρόχινου νερού:

- Τα νερά της βροχής είναι σχετικά καθαρά και αποτελεί ελεύθερο αγαθό.
- Η αποθήκευση του αποτελεί πηγή νερού σε περιπτώσεις που αυτό χρειάζεται.
- Διαχειρίζεται από τον ιδιοκτήτη και παρέχει μια αυτάρκεια.
- Είναι κοινωνικά αποδεκτό και φιλικό προς το περιβάλλον.
- Ενισχύει την εξοικονόμηση των υδατικών πόρων.
- Συντελεί στη μείωση της απορροής των ομβρίων και της ρύπανσης που προέρχεται από μη σημειακές πηγές.
- Χρησιμοποιεί απλές και ευέλικτες τεχνολογίες.
- Το κόστος λειτουργίας του είναι χαμηλό.
- Παρέχει ασφαλές πόσιμο νερό μετά από κατάλληλη επεξεργασία. [<http://www.watercache.com>]

## 2.4 Μέθοδοι συλλογή ομβρίων

Οι πρακτικές της συλλογής του βρόχινου νερού χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: τις χερσαίες (land – based) και αυτές που εφαρμόζονται στις οροφές και στις στέγες (roof – based). Στην πρώτη κατηγορία η απορροή προέρχεται από πλακόστρωτους ή καλυμμένους με τσιμέντο χώρους, όπως είναι τα πεζοδρόμια και οι αυλές και μεταφέρεται σε αυλάκια, λίμνες, δεξαμενές και ταμιευτήρες. Στη δεύτερη περίπτωση, η συλλογή του βρόχινου νερού πραγματοποιείται απευθείας από τη στέγη ενός κτιρίου και το νερό είναι καθαρότερο από το χερσαίο. Ένα χιλιοστό του συγκομιζόμενου βρόχινου νερού ισοδυναμεί με ένα λίτρο νερού ανά τετραγωνικό μέτρο. Μετά τη συλλογή και αποθήκευση του, το νερό της βροχής είναι πηγή στα νοικοκυριά για πόσιμο, μαγείρεμα, υγιεινή καθώς και για παραγωγική χρήση στη γεωργία. Παρακάτω παραθέτονται καθώς και παρουσιάζονται

Χερσαίες (land – based)

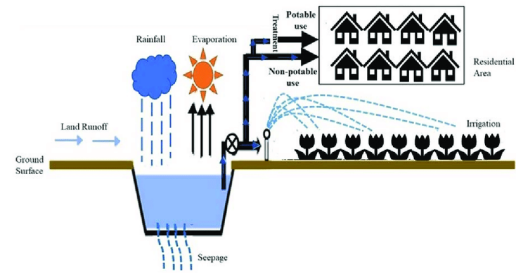
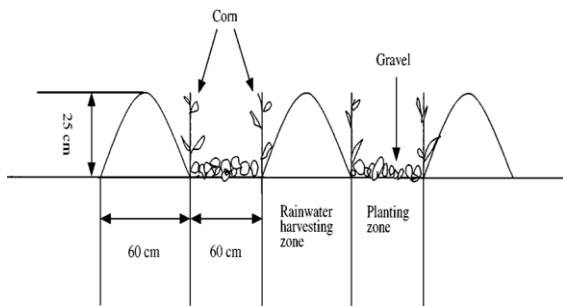
- Η συλλογή της βροχόπτωσης στην επιφάνεια όπου πέφτει και αποθηκεύεται στο χώμα (γεωργία).

- Εξωτερική συλλογή νερού, συλλογή απορροής που προέρχεται από βροχοπτώσεις σε άλλη επιφάνεια και αποθήκευση εξωτερικά (γεωργία).

Από οροφές και στέγες (roof – based)

- Εγχώρια, όπου συλλέγεται νερό από στέγες και απορροές δρόμων και αυλών.

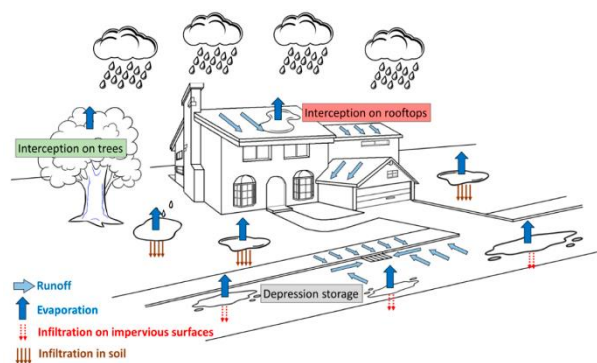
Στα Σχήματα 1,2 και 3 γίνεται εμφανής αναπαράσταση των πρακτικών συλλογής του βρόχινου νερού.



Σχήμα 1: Αποθήκευση βρόχινου νερού στο χώμα.

Σχήμα 2: Εξωτερική αποθήκευση βρόχινου νερού.

[<https://www.researchgate.net>]



Σχήμα 3: Συλλογή νερού από στέγες και απορροές δρόμων.

[<https://encrypted-tbn1.gstatic.com>]

## 2.5 Συγκομιδή οικιακού όμβριου νερού

Για την συλλογή ομβρίων οικιακής χρήσης, το νερό της βροχής συλλέγεται από ταρατσες, αυλές και δρόμους με χαμηλή συχνότητα και μπορεί να αποθηκευτεί κοντά σε αυτά. Οι δεξαμενές αποθήκευσης μπορούν να κατασκευαστούν υπόγεια ή υπέργεια. Το μέγεθος αποθήκευσης εξαρτάται από τις απαιτήσεις. Τα κοινά σχήματα δεξαμενών είναι κυβοειδή, κυλινδρικό ή διπλά καμπύλο. Για αποθήκευση σε μικρότερες δεξαμενές αποθήκευσης χρησιμοποιούνται τούβλα, σταθεροποιημένο χώμα, εμβαπτισμένο χώμα, πλαστικά φύλλα και βάζα κονιάματος κοινώς. Για μπορούν να κατασκευαστούν δοχεία νερού βροχής μεγαλύτερων

ποσοτήτων χρησιμοποιούνταν υλικά όπως κεραμικά, σιδηροτσιμέντο ή πολυαιθυλένιο. Οι δεξαμενές πολυαιθυλενίου είναι συμπαγείς αλλά έχουν μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης. Απαιτούνται προφυλάξεις κατά τη χρήση των δεξαμενών αποθήκευσης, πρέπει να περιλαμβάνουν κατάλληλο περίβλημα για ελαχιστοποίηση της μόλυνσης από ανθρώπους, ζώα ή άλλους περιβαλλοντικούς ρύπους και ένα στενό κάλυμμα για την πρόληψη της ανάπτυξης φυκιών και της εκτροφής κουνουπιών. Τα ανοιχτά δοχεία δεν συνιστώνται για συλλογή πόσιμου νερού. Το αποθηκευμένο νερό χρησιμοποιείται για οικιακούς σκοπούς, πότισμα κήπων και μικρής κλίμακας παραγωγικές δραστηριότητες. Το κύριο πλεονέκτημα του είναι η παροχή νερού ακριβώς κοντά στο νοικοκυριό. Σχετικά με το κόστος εγκατάστασης εξαρτάται από τις επιτόπιες απαιτήσεις, από το μέγεθος, το υλικό και το κατάσταση εάν η δεξαμενή πρέπει να κατασκευαστεί υπόγεια ή πάνω από το έδαφος. Το κόστος εγκατάστασης είναι υψηλό αλλά στη λειτουργία και στη συντήρηση συνήθως δεν παρατηρούνται σημαντικές δαπάνες. Το όφελος μιας δεξαμενής δεν είναι αυστηρά ανάλογη με το μέγεθός της. Ο λόγος είναι ότι μια μικρότερη δεξαμενή θα γεμίζει και θα αδειάζει συχνά ενώ μια μεγαλύτερη δεξαμενή θα ανακυκλώνεται μόνο σπάνια.

## **2.6 Τεχνολογία συστημάτων βρόχινου νερού**

### **2.6.1 Οικιακά συστήματα**

Τα οικιακά συστήματα συλλογής βρόχινου νερού αποτελούνται από τα παρακάτω στοιχεία:

- Επιφάνεια συλλογής βροχοπτώσεων
- Λούκια και υδρορροές
- Φίλτρα, εσχάρες και διαχωριστές πρώτης απόπλυσης που συντελούν στην απομάκρυνση των ρύπων
- Μία ή περισσότερες δεξαμενές
- Σύστημα επεξεργασίας και απολύμανσης του βρόχινου νερού
- Σύστημα διανομής επεξεργασμένου νερού

### **2.6.2 Σύστημα υπέργειας και υπόγειας δεξαμενή συλλογής**

Στο σύστημα υπέργειας δεξαμενής απαραίτητα στοιχεία είναι η δεξαμενή συλλογής και τα φίλτρα που τοποθετούνται στις υδρορροές. Το αποθηκευμένο νερό χρησιμοποιείται για την άρδευση της βλάστησης. Το κόστος αυτού του συστήματος είναι μικρό. Πολλές φορές τοποθετείται επιπλέον και μια αντλία με σκοπό την επίτευξη μεγαλύτερων παροχών. Στις περιπτώσεις που δεν είναι εφικτή η τοποθέτηση της υπέργειας δεξαμενής δίπλα στο σπίτι, επιλέγεται η χρήση ενός μικρού δοχείου συλλογής που μεταφέρει το βρόχινο νερό από την επιφάνεια απορροής σε μια δεξαμενή αποθήκευσης και επεξεργασίας μέσω αντλίας. Στο σύστημα αυτό είναι αναγκαία η τοποθέτηση ενός φλοτέρ, το οποίο, ανάλογα με τη στάθμη του μικρού δοχείου συλλογής, θα ενεργοποιεί την αντλία για τη μεταφορά του βρόχινου νερού προς τη μεγάλη δεξαμενή. Στο σύστημα υπόγειας δεξαμενής αποθήκευσης η απορροή από την ταράτσα συλλέγεται σε έναν κεντρικό σωλήνα μέσω του οποίου μεταφέρεται το βρόχινο νερό σε ένα υπόγειο σύστημα συλλογής. Βασικά τμήματα αυτού είναι τα φίλτρα στις υδρορροές, ένα επιπλέον φίλτρο συγκράτησης χονδρόκοκκων στερεών στην είσοδο της υπόγειας δεξαμενής και μια αντλία για την εξασφάλιση σταθερής πίεσης [<http://www.rainwaterharvesting.co.uk/>].

## 2.7 Σχεδιασμός συστήματος συλλογής ομβρίων

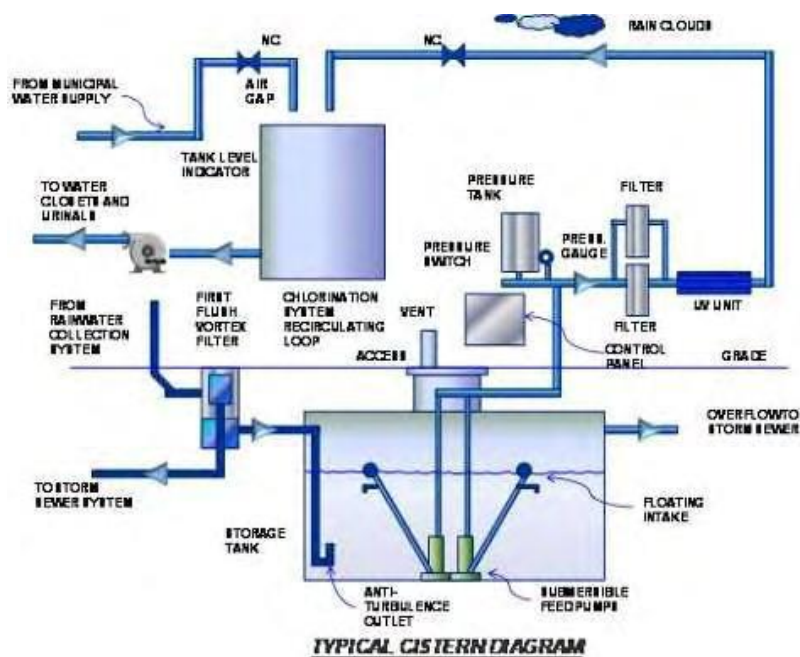
Στα συστήματα συλλογής βρόχινου νερού, το νερό αποστραγγίζεται από τις διάφορες επιφάνειες απορροής, όπως είναι η στέγη, πεζοδρόμια, και στη συνέχεια οδηγείται μέσω των υδρορροών σε ειδικές δεξαμενές -ντεπόζιτα όπου και αποθηκεύεται. Στο ντεπόζιτο μπορεί να καταλήγουν και το νερό από το μάνιο, το πλυντήριο, άλλες διαδικασίες (στην περίπτωση βιομηχανιών και άλλων), ώστε να συλλέγεται και από εκεί νερό. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η ύπαρξη συστήματος που θα εμποδίζει πιθανή εισχώρηση του βρόχινου νερού στο δίκτυο παροχής πόσιμου νερού. Τα ντεπόζιτα μπορεί να είναι υπόγεια ή υπέργεια, μέσα ή έξω από το κτίριο. Τα υπέργεια είναι προτιμότερα δεδομένου ότι μπορούν να ανιχνευθούν ευκολότερα πιθανές ρωγμές και διαρροές. Επίσης, με ανύψωσή τους πετυχαίνουμε μεγαλύτερη πίεση του νερού με αποτέλεσμα το νερό να εξάγεται ευκολότερα με τη βοήθεια της βαρύτητας και ίσως να μη χρειαστούν αντλίες. Τέλος, είναι συνήθως φθηνότερα από τα υπόγεια και καθαρίζονται ευκολότερα. Απαιτούν όμως περισσότερο χώρο όσον αφορά στο θέμα του χώρου, τα ντεπόζιτα μπορούν να τοποθετηθούν ακόμα και στον κήπο και να καλυφθούν από λεπτή στρώση χώματος όπου θα φυτευτούν μικρά φυτά ή γκαζόν. Επίσης, υπάρχουν μοντέρνα ντεπόζιτα με επίπεδα ή άλλα σχήματα που μπορούν να ενσωματωθούν στο κτίριο και να μην ενοχλούν. Καλό είναι επίσης να τοποθετούνται κοντά στις υδρορροές, στους σωλήνες νερού και σε σκιερά μέρη. Τα ντεπόζιτα ποικίλλουν τόσο στο υλικό κατασκευής όσο και στο κόστος τους. Τα υπέργεια μπορεί να είναι από μπετόν, μεταλλικά ή πλαστικά αλλά τα υπόγεια μόνο από μπετόν για να μη διαβρωθούν από την επαφή με το έδαφος. Φυσικά θα πρέπει να είναι υδατοστεγή. [<http://sydneywater.com>]

Τα στοιχεία ενός συστήματος συλλογής βρόχινου νερού είναι τα εξής:

- Φίλτρα: Φίλτρα άμμου, αμμοχάλικων, κάρβουνου ή σίτες πρέπει να τοποθετούνται στις υδρορροές ώστε να εμποδίζουν τα φύλλα, τα έντομα και άλλα σκουπίδια να εισέλθουν στο ντεπόζιτο. Υπάρχουν και φίλτρα που είναι ατσάλινα πλέγματα με ανοίγματα κάποιων (μm) για να φιλτράρουν ακόμα και στην άμμο, τη γύρη και τη λάσπη. Αυτά μπορεί να τοποθετηθούν μετά το ντεπόζιτο.
- Σύστημα εκτροπής του πρώτου, βρόμικου νερού της βροχής μακριά από το ντεπόζιτο. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια μιας βαλβίδας και ενός “κλειδιού” διακλάδωσης. Περίπου 20 πρώτα λίτρα ανά 100 τετραγωνικά μέτρα σκεπής πρέπει να απομακρύνονται. Τα συστήματα αυτά είναι φθηνότερα από τα φίλτρα και απαιτούν λιγότερη συντήρηση.
- Αντλία: Στην επιλογή της αντλίας, οι παράγοντες που θα πρέπει να συνεκτιμηθούν είναι η προοριζόμενη εφαρμογή, η αξιοπιστία και ο θόρυβος. Η προοριζόμενη εφαρμογή θα καθορίσει τον αριθμό των λίτρων που μπορεί να “μετακινήσει” ανά λεπτό. Επίσης υπάρχουν και αυτόματα συστήματα για την έναρξη και την παύση της λειτουργίας της αντλίας.
- Βαλβίδες ελέγχου της ροής του νερού.
- Αγωγός για την περίπτωση υπερχειλίσης.
- Προστατευτικό σύστημα για αποφυγή ρύπανσης του πόσιμου νερού από οπισθοδρόμηση του βρόχινου νερού στους αγωγούς, στην περίπτωση που συνδέονται. Επίσης, το δίκτυο σωληνώσεων του βρόχινου νερού δε θα πρέπει να συνδέεται με τους αποχετευτικούς αγωγούς για να μην υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης του νερού από αντίθετη ροή των υγρών αποβλήτων.
- Αυτόματο σύστημα ενεργοποίησης της παροχής πόσιμου νερού, για την περίπτωση που αδειάσει το νερό στο ντεπόζιτο ή υπάρχει διακοπή ρεύματος που απενεργοποιεί την αντλία. Έτσι ικανοποιείται και η ανάγκη για συνεχή και αξιόπιστη παροχή νερού.
- Κλειστή έξοδος στο κάτω τμήμα του ντεπόζιτου για την αφαίρεση της λάσπης που καθιζάνει.. [<http://waterinfo.gr>]

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται τα επιμέρους τμήματα ενός τυπικού συστήματος συλλογής ομβρίων.





Σχήμα 4: Τυπικό σύστημα συλλογή ομβρίων.

[<https://img.tineye.com/>]

## 2.8 Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος

### 2.8.1 Δεξαμενές

Οι δεξαμενές είναι το πιο ακριβό εξάρτημα του συστήματος συλλογής όμβριων υδάτων. Ωστόσο αποτελούν και το πιο σημαντικό μέρος του συστήματος, καθώς η παροχή του νερού εξαρτάται από μια πλήρως λειτουργική δεξαμενή. Τα διαφορετικά υλικά κατασκευής της δεξαμενής διαφέρουν ανάλογα με την τοπική διαθεσιμότητα και το κλίμα. Οι δεξαμενές μπορούν να τοποθετηθούν είτε πάνω είτε κάτω από το έδαφος. Η τοποθεσία της δεξαμενής εξαρτάται από την αισθητική, το κλίμα και τις συνθήκες του εδάφους. Μερικοί προτιμούν να μην είναι ορατή η δεξαμενή αποθήκευσης και την βάζουν υπογείως. Ωστόσο η τοποθέτηση δεξαμενών υπογείως έχει μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης και μπορεί να μην είναι εφικτή σε περιοχές με βραχώδες έδαφος. Όταν οι δεξαμενές εγκαθίστανται κάτω από το έδαφος, το νερό διατηρείται σε μια δροσερή θερμοκρασία και δεν είναι προσπελάσιμο από το φως, μειώνοντας έτσι τις πιθανότητες βακτηριακής ανάπτυξης. Επίσης, κάποιες δεξαμενές δεν είναι κατάλληλες για ορισμένες κλιματικές ζώνες. Για παράδειγμα δεξαμενές από ξύλο δεν συνιστώνται για τις καυτές και ξηρές περιοχές. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα διαθέσιμα υλικά δεξαμενής και αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους [Texas Water Development Board 2005, Pushard 2007].

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υλικών κατασκευής δεξαμενών αποθήκευσης ομβρίων.

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

<b>Μέταλλο</b>		
<i>Γαλβανισμένος χάλυβας</i>	Εμπορικώς διαθέσιμος Μεταβάλλεται και μετακινείται εύκολα Διαθέσιμος σε ποικίλα μεγέθη Τοποθετείται ταινία εσωτερικά για πρόληψη από την διάβρωση	Ενδεχόμενη διάβρωση και σκουριά Πρέπει να είναι επενδεδυμένος για πόσιμη χρήση Μόνο πάνω από το έδαφος
<i>Χαλύβδινα βαρέλια (55 λίτρων)</i>	Εμπορικώς διαθέσιμα Μεταβάλλονται και μετακινούνται εύκολα	Έλεγχος πριν από την χρήση για τοξικές ουσίες Επιρρεπή στην διάβρωση και την σκουριά Μικρές δυνατότητες αποθήκευσης
<b>Σκυρόδεμα</b>		
<i>Μπετόν Αρμέ</i>	Ανθεκτικό και δύσκολο στην μεταφορά Εγκατάσταση κάτω ή πάνω από το έδαφος	Δυνατότητα να ραγίσει και να γίνει διαρροή Ουδετεροποιεί την όξινη βροχή

<b>Πέτρα, μπλοκ σκυροδέματος</b>	Ανθεκτικό και δυσκίνητο Διατηρείται δροσερό το νερό σε θερμά κλίματα	Δύσκολο να διατηρηθεί Ακριβή κατασκευή
<b>Ξύλο</b>		
<b>Ερυθρά ξυλεία, κέδρος, κνπαρίσι, πεύκο</b>	Ελκυστικό, ανθεκτικό Περιέχει φυσικό συντηρητικό Μπορεί να αποσυναρμολογηθεί για να μετακινηθεί Διαθέσιμο σε ποικίλα μεγέθη	Ακριβό Κατασκευάζεται από ειδικευμένους τεχνικούς Όχι για χρήση σε θερμά και ξηρά μέρη Μόνο πάνω από το έδαφος

### 2.8.2 Στέγη συλλογής

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

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

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

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

### 2.8.3 Σύστημα μεταφοράς

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

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

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

#### **2.8.4 Φίλτρα**

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

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

Ακόμα και σε γεγονότα υψηλών βροχοπτώσεων, τα φίλτρα θα πρέπει να είναι αποτελεσματικά κατά το φιλτράρισμα του νερού και να διοχετεύεται όσο το δυνατόν περισσότερο νερό στην δεξαμενή. Ως εκ τούτου, τα φίλτρα θα πρέπει να είναι αυτοκαθαριζόμενα και να στεγνώνουν γρήγορα μεταξύ των επεισοδίων βροχής.

Ο ανοξειδωτος χάλυβας θεωρείται το καλύτερο υλικό για το φίλτρο, διότι μπορεί να αντέξει όλες τις καιρικές συνθήκες, ακόμα και το σχηματισμό πάγου και τον παγετό, είναι αυτοκαθαριζόμενο και στεγνώνει μόνο του, διατηρεί το σχήμα του και δε σκουριάζει, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα μόλυνσης. Καλής ποιότητας φίλτρα χρειάζονται επιθεώρηση μόνο δύο έως τέσσερις φορές το χρόνο και διαρκούν όσο η διάρκεια ζωής του κτηρίου [LaBranche, 2007].

## 3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΟΙΚΙΣΜΟΥ ΣΤΑ ΑΡΜΑΘΙΑ Η. Ν. ΚΑΣΟΥ

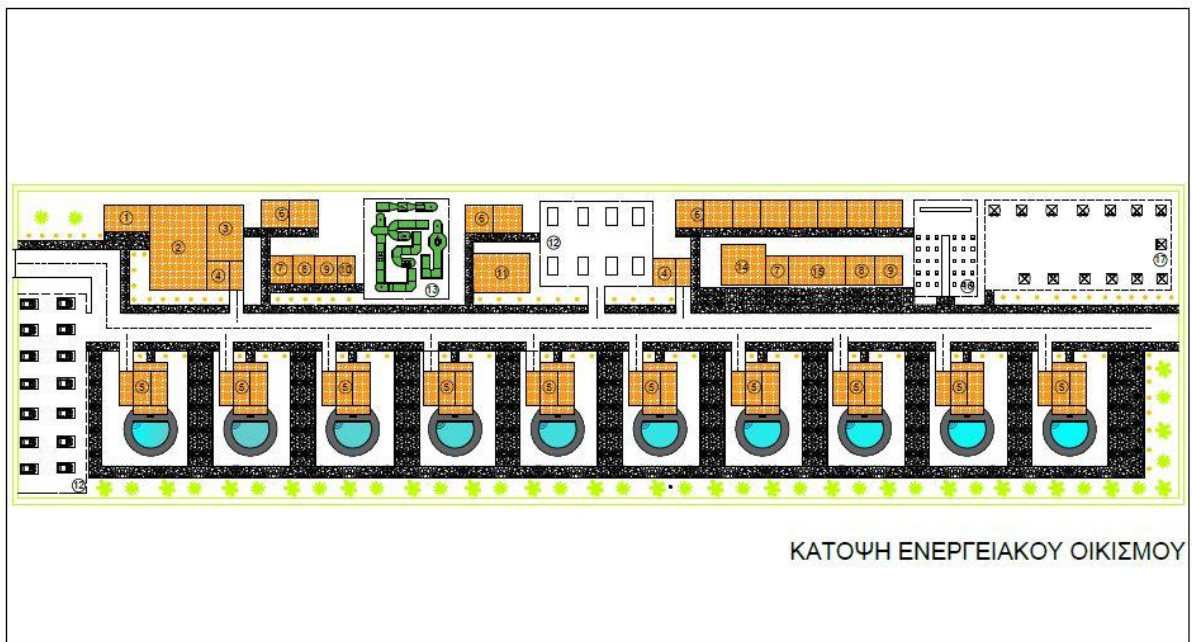
---

### 3.1 Περιγραφή Ενεργειακού Οικισμού

Η αυτόνομη οικιστική εγκατάσταση στη παρούσα εργασία είναι ουσιαστικά ένας οργανωμένος χώρος κατασκήνωσης, όπου παράγει αυτόνομα το νερό και την ενέργεια (ηλεκτρικό ρεύμα) που χρειάζεται για την κάλυψη των αναγκών του. Επιπλέον πραγματοποιείται η συλλογή, αποθήκευση και κατάλληλη διαχείριση των απορριμμάτων καθώς και των λυμάτων αυτού. Η παραγωγή νερού για πόση, λοιπές χρήσεις καθώς και άρδευση, πραγματοποιείται με την περισυλλογή όμβριων υδάτων υετών από κατάλληλα διαμορφωμένες επιφάνειες, όπως οι στέγες των κτιρίων του οικίσκου και τα πεζοδρόμια αυτού. Το νερό κατευθύνεται μέσω υδραυλικού δικτύου σε δεξαμενές όπου αναλόγως με τη χρήση που προορίζεται επεξεργάζεται ή και όχι. Η ενέργεια που χρειάζεται ο οικισμός για την ηλεκτροδότηση μηχανολογικού εξοπλισμού διευκόλυνσης και ψυχαγωγίας των χρηστών του παράγεται κατά βάση από φωτοβολταϊκό πάρκο που εδράζεται πλησίον αυτού και αποθηκεύεται με τη χρήση μπαταριών. Στο ισοζύγιο λαμβάνει χώρα και η χρήση αντλιών θερμότητας για τη ψύξη ή και τη θέρμανση χώρων αξιοποιώντας τις γεωθερμικές ιδιότητες του υπεδάφους.

Η αυτόνομη οικιστική εγκατάσταση έχει σχεδιαστεί με βάση τις τεχνικές και λειτουργικές προδιαγραφές του ΦΕΚ 2015 Αρ. Φύλλου 1476 και κατατάσσεται στην κατηγορία των πέντε αστερών. Εν συνεχεία παρουσιάζεται κάτοψη του οικισμού Σχήμα 5 καθώς και παραθέτονται επιγραμματικά οι υπηρεσίες που ο οικισμός περιλαμβάνει:

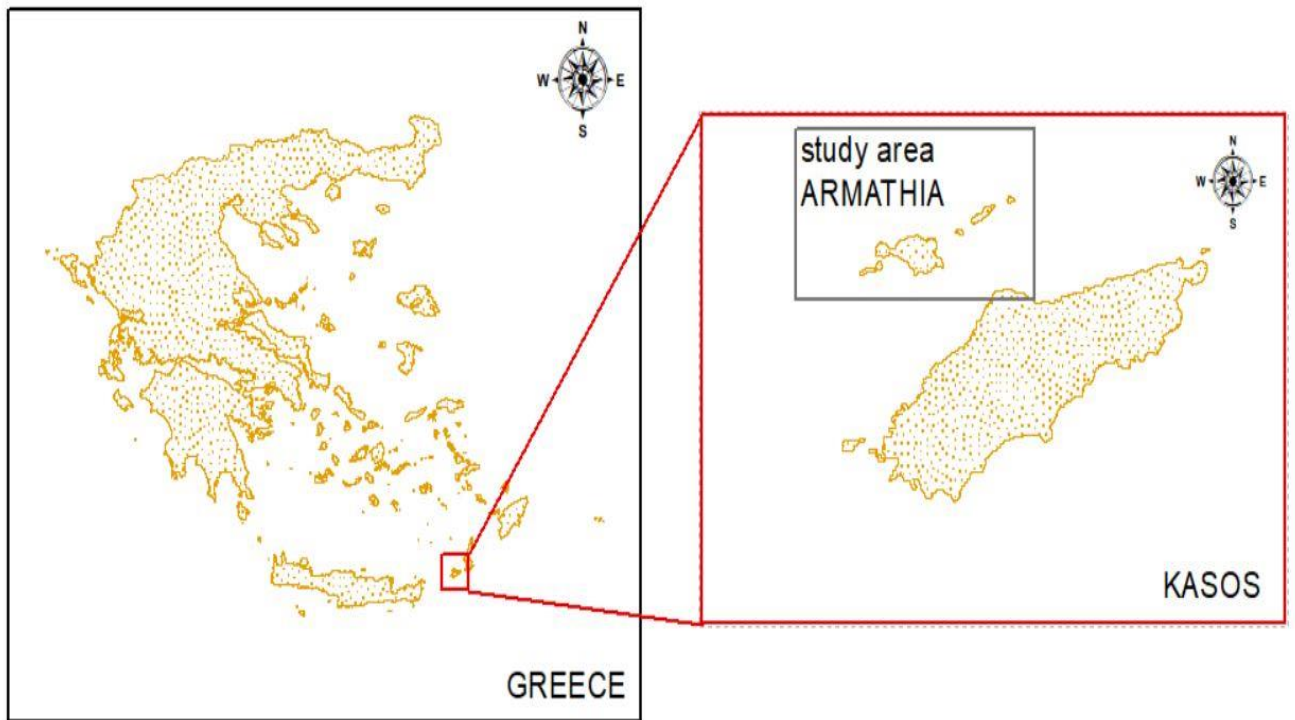
- Φυλάκιο εισόδου
- Χώρο υποδοχής
- Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων
- Εστιατόριο
- Δύο ιατρεία
- Δέκα υπερπολυτελείς κοιτώνες.
- Κοιτώνες προσωπικού
- Δύο κυλικεία
- Δύο καθαριστήρια με πλυντήρια
- Δύο κοινόχρηστους χώρους υγιεινής (τουαλέτες, λουτρά)
- Γήπεδο golf και χώρος φύλαξης εξαρτημάτων αυτού
- Κτίριο διοικήσεως
- Δύο χώρους στάθμευσης Ηλ.Οχημάτων
- Κλειστό γυμναστήριο
- Αναγνωστήριο
- Ειδικά διαμορφωμένος χώρος ελεύθερης κατασκήνωσης
- Θερινό κινηματογράφο
- Κέντρο νυχτερινής διασκέδασης



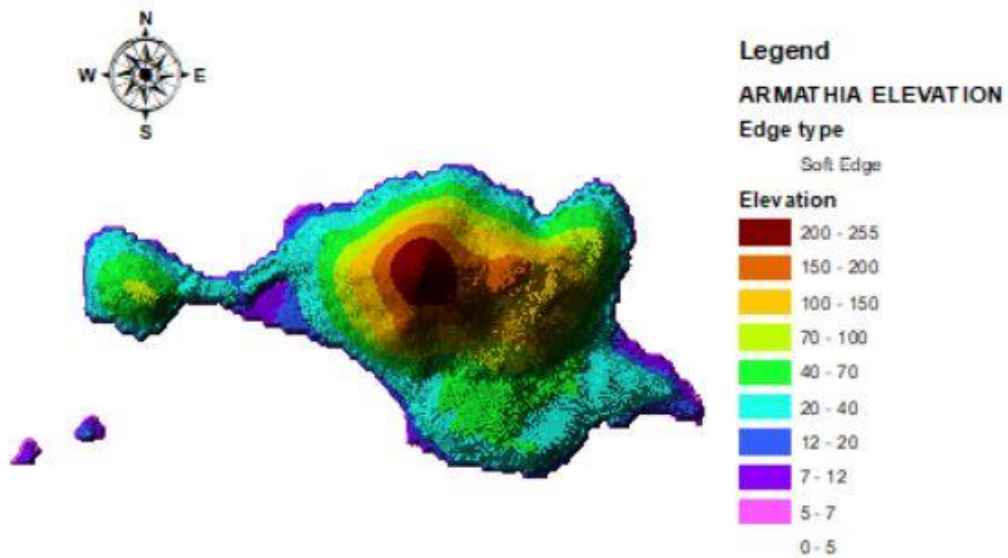
Σχήμα 5: Κάτοψη αυτόνομου οικισμού.

### 3.2 Χωροθέτηση Αυτόνομης Οικιστικής Εγκατάστασης

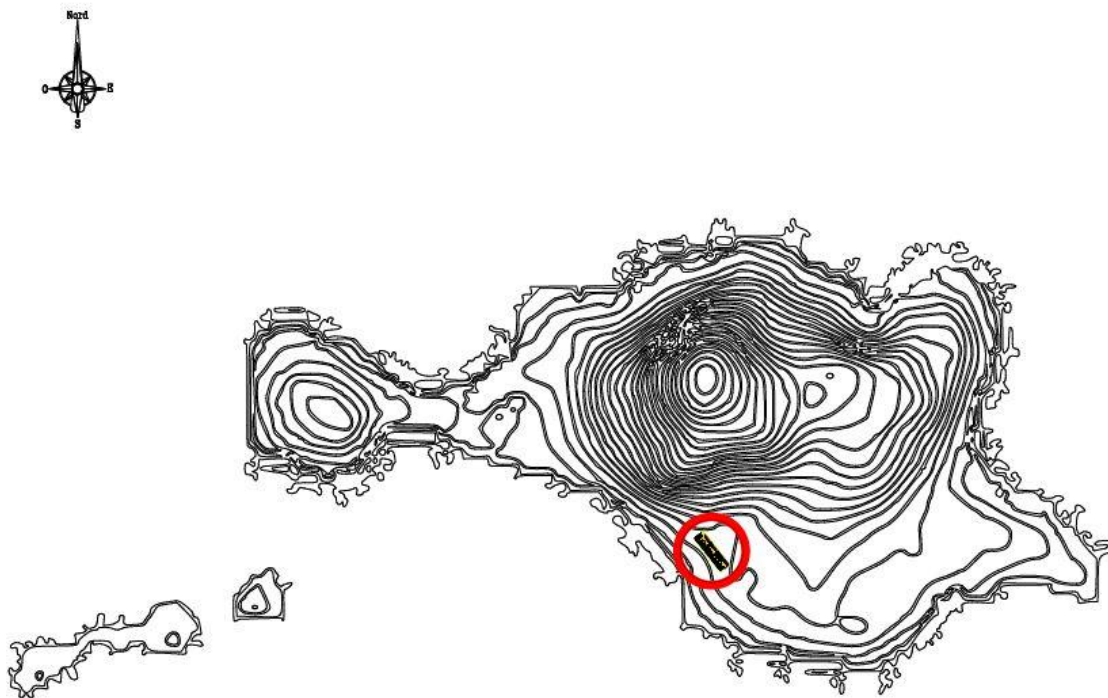
Για τη χωροθέτηση της εγκατάστασης επιλέχθηκε ένα μη διασυνδεδεμένο νησί το οποίο βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ελλάδος ανήκει στα Δωδεκάνησα και πιο συγκεκριμένα στο δήμο Κάσου. Το νησί αυτό ονομάζεται Αρμάθια και είναι μη κατοικήσιμο. Το ανάγλυφο του νησιού καθίσταται πρόσφορο για την φιλοξενία οικισμού. Στο νότιο του τμήμα διακρίνεται κόλπος όπου σχηματίζει παραλία και άνωθεν αυτής και σε μεγαλύτερο υψόμετρο διακρίνεται επίπεδο κομμάτι γης όπου και θα εδρασθεί ο ενεργειακός οικισμός. Το υψόμετρο του οικισμού κυμαίνεται γύρω στα 20 m από το υψόμετρο της θάλασσας και ο προσανατολισμός του νοτιοδυτικός. Μέσω των Σχημάτων 6,7,και 8 γίνεται κατανοητή η γεωγραφική θέση του νησιού το ανάγλυφο του καθώς και η περιοχή χωροθέτησης του οικισμού.



Σχήμα 6: Τοποθεσία Αρμάθια Κάσου.



Σχήμα 7: ELEVATION ARMATHIA.



Σχήμα 8: Χωροθέτηση ενεργειακού οικισμού.

### 3.3 Απαιτήσεις ζήτησης νερού στον οικισμό

Ο οικισμός καταλαμβάνει έκταση  $13.000 \text{ m}^2$  ή 13 στρέμματα, εδράζεται στο νησί Αρμάθια Η. Ν. Κάσου και η τοποθεσία του είναι αρκετά κοντά στην ακτογραμμή του νησιού. Η φυτοκάλυψη του καθίσταται αναγκαία για λόγους βιωσιμότητας σύμφωνα με το ΦΕΚ 2015 Αρ. Φύλλου 1476. Επιπλέον ο οικισμός διαθέτει δέκα στον αριθμό πισίνες  $20 \text{ m}^2$  έκαστη. Οι παράγοντες συνεπώς που επηρεάζουν τη ημερήσια ζήτηση σχεδιασμού του είναι οι εξής:

- Ο πληθυσμός σχεδιασμού του οικισμού καθώς και η συμπεριφορά αυτού.
- Οι απαιτήσεις σε άρδευση της φυτοκάλυψης του οικισμού.
- Το γέμισμα με νερό των πισινών του οικισμού.

#### 3.3.1 Πληθυσμός Σχεδιασμού

Ο εν λόγω οικισμός σχεδιάζεται ώστε να φιλοξενεί πενήντα άτομα την θερινή περίοδο, δηλαδή τους μήνες του καλοκαιριού (Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο). Σύμφωνα με το ΦΕΚ 2015 Αρ. Φύλλου 1476 η κατά κεφαλή ζήτηση για τις επιμέρους ανάγκες ενός ατόμου προσφέρεται ως  $q=150(L/d/per)$ . Επιπλέον συνυπολογίζονται οι πραγματικές/φυσικές απώλειες που οφείλονται σε διαρροές στις δεξαμενές, τις συνδέσεις των αγωγών (ιδιαίτερα στις οικιακές συνδέσεις). Σημαντικός παράγοντας είναι οι θραύσεις αγωγών λόγω καταπόνησης, έντονες διακυμάνσεις της πίεσης, υδραυλικά πλήγματα, παγετό,. εκτιμώνται απώλειες δικτύου της τάξης του 10%. Συνεπώς η μέση ημερήσια παροχή ζήτησης υπολογίζεται ως:



$$Q_E^d = q\Pi \quad (3.3.1)$$

Όπου

q: η ειδική (μέση κατά κεφαλή) κατανάλωση ( $q = 150 \left( \frac{L}{d(person)} \right)$ )

Π: ο πληθυσμός σχεδιασμού ( $\Pi = 50_{per}$ )

Επομένως:

$$Q_E^d = q\Pi = 150 \left( \frac{L}{d(person)} \right) \times 50_{per} = 7.5 \left( \frac{m^3}{d} \right)$$

$$Q_{E_{total}}^d = 1.1 \times Q_E = 8.3 \left( \frac{m^3}{d} \right)$$

### 3.3.2 Φυτοκάλυψη Οικισμού

Όπως προαναφέρθηκε η φυτοκάλυψη του οικισμού καθίσταται αναγκαία σύμφωνα με το ΦΕΚ 2015 Αρ. Φύλλου 1476 για λόγους βιωσιμότητας όπως η σκίαση και η αισθητική του οικισμού. Η έκταση του οικισμού δεν είναι μικρή και οι χώροι φυτοκάλυψης αναλογικά επίσης, κατά συνέπεια θα χρειαστούν μεγάλες ποσότητες νερού για τις αρδευτικές απαιτήσεις του οικισμού. Για την αποφυγή αυτών των απαιτήσεων αποφασίστηκε η φυτοκάλυψη του οικισμού να περιλαμβάνει φυτά και δέντρα ειδικών προδιαγραφών όπου με το ετήσιο βρόχινο νερό να καλύπτουν τις ανάγκες τους καθώς και να μπορούν να ανταπεξέλθουν στο κλίμα και τις συνθήκες της περιοχής.

#### Θάμνοι

❖ **BUDDLEIA** (Βουτλέια H: 2,50 m και D: 2 m )

Φυλλοβόλοι θάμνοι με αφιδωτό σχήμα. Άνθη σε φάβες ή βότρους από Ιούλιο μέχρι Σεπτέμβριο. Ταχείας ανάπτυξης, σκληροί, καθόλου απαιτητικοί σε έδαφος, προτιμούν ηλιόλουστη θέση. Αντέχουν στη θάλασσα. Απόσταση φύτευσης 1,50 m.

❖ **FORSYTHIA** (Φορσύθια H: 2 m και D: 1,50 m )

Φυλλοβόλοι θάμνοι μέτριας ανάπτυξης, πολύ ανθεκτικοί, που ζουν σε όλα τα εδάφη. Προτιμούν έκθεση προσήλια όπου η ανθοφορία είναι πιο άφθονη. Τα άνθη, κίτρινα, τον Μάρτιο πριν τα φύλλα. Φυτεύονται μεμονωμένοι, σε ομάδες και σε ελεύθερους φράκτες.

❖ **CALLISTEMON** (Καλλιστήμονας H: 2-3 m και D: 2-3 m )

Αειθαλής θάμνος με αμειδιωτό σχήμα και φύλλωμα λογχοειδές. Έχει άνθη ζωνρά κόκκινα τον Ιούλιο και Αύγουστο που μοιάζουν με κυλινδρικά βουρτσάκια. Χρειάζεται ήπιο κλίμα και δεν είναι ιδιαίτερα απαιτητικό σε εδαφικές συνθήκες. Βρίσκεται μεμονωμένο, σε ομάδες, σε συνθέσεις. Καλλιεργείται πολύ εύκολα σε γλάστρα.

❖ **P.tobira** (H: και D: 2,5-3 m)

Η πιο διαδομένη ποικιλία Βρίσκεται σε όλα τα παράλια και όχι μόνο. Καλής ανάπτυξης, με σφαιρικό σχήμα και φύλλα λαμπερά πράσινα. Άσπρα αρωματικά λουλούδια Απρίλιο-Μάιο. Επιδέχεται κλαδέματα Η καλλωπιστική της αξία οφείλεται στο πυκνό και ωραίο φύλλωμα, τα άφθονα αρωματικά άνθη και τους καρπούς που ανοίγουν το φθινόπωρο και αφήνουν να φανούν οι κόκκινοι σπόροι. Ευδοκμεί σε δροσερές περιοχές και ηλιαζόμενες ή ημισκιερές θέσεις. Ανέχεται τα συχνά ψαλιδίσματα φυτεύεται μοναχικό και κατά ομάδες. Αποστάσεις φύτευσης: 1-2 m κατά ομάδες, 0,60 m για μπορντούρα και 2-3 m για ελεύθερη ανάπτυξη [Τζούφρα, 1999].

Δέντρα

❖ **A.cyanophylla** (H: 4-6 m και D: 3-5m)

Αειθαλές δέντρο με ανώμαλη σφαιρική κόμη και φύλλα κυανοπράσινα, μακρόστενα. Άνθη κίτρινα κατά σφαιρικά κεφάλια ενωμένα σε ταξιανθίες βότρυς. Εποχή ανθοφορίας Μάρτιος - Μάιος. Αντέχει στα πολύ ξηρά εδάφη, ακόμη και τα υφάλμυρα Επειδή ευδοκμεί και στα ασβεστόχρα εδάφη, χρησιμοποιείται σαν υποκείμενο των ευαίσθητων στον ασβέστη ποικιλιών. Αντέχει κοντά στη θάλασσα. Οι βραχίονές της σπάζουν εύκολα από τους ισχυρούς ανέμους, γ' αυτό θέλει συχνά κλαδεύματα περιορισμού της κόμης.

❖ **A.semperflorens** (H: 4-6 m και D: 3-5 m)

Αειθαλές δέντρο με σφαιρική κόμη και φύλλα λογχοειδή, δερματώδη, ανοιχτοπράσινα, έμμισχα. Άνθη ωχροκίτρινα, κατά σφαιρικά κεφάλια ενωμένα σε αραιές ταξιανθίες βότρυς. Εποχή ανθοφορίας άνοιξη έως φθινόπωρο και σε θερμές περιοχές - προφυλαγμένες θέσεις ακόμα και το χειμώνα. Ευδοκμεί σε ηλιαζόμενες θέσεις. Αντέχει κοντά στη θάλασσα και σε όλα τα εδάφη. Αποστάσεις φύτευσης και για τα δύο είδη 4 -7 m.

❖ **ALBIZZIA** (Ακακία Κωνσταντινουπόλεως H: 8-12 m και D: 6-8 m )

Φυλλοβόλο δέντρο με μακριές διακλαδώσεις, με πολύ κομψό φύλλωμα που μοιάζει με τις φτέρες και χρώμα ανοιχτοπράσινο. Άνθη αρωματικά σαν μεταξένια πούπουλα, ενωμένα σε ομάδες, χρώματος λευκορόδινου. Εποχή ανθοφορίας Ιούνιος - Αύγουστος. Δίνει μεγάλο μα πολύ ελαφρύ ίσκιο. Ευδοκμεί σε εδάφη χωρίς πολύ ασβέστη, στραγγερά και στις ηλιαζόμενες θέσεις. Αντέχει κοντά στη θάλασσα. Φυτεύεται μοναχική για σκίαση μικρών χώρων ή σε ομάδες για σκίαση και διακόσμηση μεγαλύτερων χώρων, Αποστάσεις φύτευσης 8-10 m.

❖ **P. canariensis** (Πεύκη η κανάριος H: 15-20 m και D: 7-10 m )

Δέντρο των ζεστών παραθαλάσσιων περιοχών της Μεσογείου, με ίσιο κορμό και βλαστούς απλωνόμενους. Κόμη αρχικά πυραμιδοειδής, που στη μεγάλη ηλικία πλαταίνει πολύ. Δεν αντέχει τους δυνατούς και μεγάλης διάρκειας παγετούς αλλά αντέχει στη ζέστη και την ξηρασία. Ευδοκμεί σε όλα τα εδάφη. Κατάλληλη για δεντροστοιχίες μεγάλων περιαστικών λεωφόρων, δρόμων κηπουπόλεων και πάρκων.

❖ **P.halepiensis** (Πεύκη η χαλέπιος H: 15-20 m και D: 8-15 m )

Κωνοφόρο δέντρο με κορμό στρεβλό και κόμη ακανόνιστη. Οι βελόνες είναι λεπτές, όχι σκληρές, ανοιχτοπράσινες και πάντα σε ζεύγη. Αντέχει στην ξηρασία, κοντά στη θάλασσα στον αέρα. Σε νεαρή ηλικία ανέχεται τα ψαλιδίσματα και μπορεί να διαμορφώσει, με πυκνή φύτευση και ψαλιδίσματα, πυκνό πρασινοτάπητα ύψους 0,40-0,60 m σε ξηροφυτικές συνθήκες.

❖ **ΦΟΙΝΙΚΟΕΙΔΗ**

Τα φοινικοειδή περιλαμβάνουν πάνω από 3000 είδη, από τα οποία μόνο ο *Chamaerops humilis* είναι αυτοφυές στην Ευρώπη. Όλα τα υπόλοιπα κατάγονται από τις τροπικές χώρες, μα μερικά απ' αυτά έχουν τόσο καλά εγκλιματιστεί στα δικά μας εύκρατα κλίματα, που σήμερα ανήκουν πια στο Μεσογειακό τοπίο, που είναι σίγουρο ότι θα έχανε σε χαρακτήρα και γοητεία αν δεν υπήρχαν. Φυτεύονται σε δεντροστοιχίες δρόμων πολύ κοντά στη θάλασσα, σε σχηματισμούς διόδων προσπέλασης και για δημιουργία συστάδων σε πάρκα. Χρησιμοποιούνται ακόμη φυτεμένα σε μεγάλα φυτοδοχεία για διακόσμηση εσωτερικών χώρων, αυλών, ταρατσών.

❖ **Chamaerops humilis** (Χαμαίρωψ ο χαμηλός H: 3-5 m )

Έχει σχεδόν πάντα πολλαπλούς κορμούς διαφόρων υψών, που καλύπτονται από μαύρες τριχοειδής ίνες και τελειώνουν με σκουροπράσινα φύλλα σαν βεντάλιες, με οδοντωτούς μίσχους. Αποστάσεις φύτευσης 3 m.

❖ **Phoenix canariensis** (Φοίνικας κανάριος H: 15-20 m )

Τα φύλλα του είναι φτερώδη, τοξοειδή, μήκους 5-6 m, σύνθετα από 150-200 μυτερά πράσινα φυλλάκια. Μικρά σκουροκίτρινα λουλούδια σε κρεμαστές ταξιανθίες, που ανθίζουν τον Απρίλιο και ωοειδείς καρποί που μοιάζουν με χουρμάδες και ωριμάζουν σε θερμά κλίματα. Αποστάσεις φύτευσης 8-12 m [Τζούφρα, 1999].

### 3.3.3 Πισίνες Οικισμού

Ο οικισμός διαθέτει δέκα  $n=10$  πισίνες στον αριθμό με εμβαδόν  $A_{pool} = 20 \text{ m}^2$  και βάθος  $H=2 \text{ m}$  έκαστη, οπότε τα συνολικά κυβικά νερού που θα χρειαστούν για το αρχικό τους γέμισμα ανέρχονται στα:

$$V_{tot} = n \times A_{pool} \times H = 10 \times 20_{\text{m}^2} \times 2_{\text{m}} = 400_{\text{m}^3}.$$

Είναι προφανές πως ο φυσιολογικός παράγοντας απώλειας νερού στην πισίνα οφείλεται στη δική τους χρήση, αφού όσο πιο ανώτερη είναι η χρήση της πισίνας (αριθμός λουόμενων, τύπος χρηστών πισίνας, ώρες χρήσης) θα έχουμε μεγαλύτερη απώλεια πραγματικού νερού στην αδρανή πισίνα σε αυτό που θεωρείται φυσιολογικό, τέλος μια μικρή ποσότητα νερού κατακρατείται στο σύστημα φιλτραρίσματος της πισίνας σχεδόν αμελητέα. Επίσης σημαντικό παράγοντα απωλειών νερού σε μια πισίνα αποτελεί και η εξάτμιση.

Για τη μελέτη απωλειών νερού στην πισίνα λόγω της εξάτμισης, πρέπει να μελετηθούν πολλοί παράγοντες όπως: το κλίμα, η επιφάνεια και το βάθος πισίνας, το χρώμα πισίνας, είτε έχει κάλυμμα είτε όχι, εποχή του χρόνου, ώρες απευθείας ηλιακού φωτός στην πισίνα, θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος. Η εξάτμιση είναι μια φυσική διαδικασία που επηρεάζει πάντα το νερό, όποιες κι αν είναι οι συνθήκες. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την εξάτμιση του νερού στην πισίνα εξαρτώνται από την περιοχή στην οποία βρίσκεται.

- Οι ώρες του ήλιου, που η πισίνα μπορεί να έχει τη μέρα και οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του νερού και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός εξάτμισης, επομένως μια θερμαινόμενη πισίνα εξατμίζεται πιο γρήγορα από μια εξωτερική πισίνα. Όσο πιο ξηρός είναι ο αέρας, τόσο πιο γρήγορος είναι ο ρυθμός εξάτμισης, σε συνθήκες υψηλής υγρασίας, η εξάτμιση είναι μικρότερη.
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πισίνας όπως το βάθος της. Επίσης η έκταση αυτής όσο μεγαλύτερη είναι η πισίνα, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο όγκος του νερού που χάνεται από την εξάτμιση.

Το καθημερινό γέμισμα νερού η πισινών συνολικά λόγω των παραπάνω παραγόντων υπολογίζεται εμπειρικά ως:

$$\alpha_{\pi} = \lambda \times A_{pool} \times n \quad (4.2)$$

Όπου:

$\lambda$ : εμπειρικός συντελεστής απωλειών  $3.75 \left(\frac{cm}{week}\right)$

$A_{pool}$ : το εμβαδόν της πισίνας ( $m^2$ )

$n$ : αριθμός των πισινών

Επομένως:

$$\alpha_{\pi} = \lambda \times A_{pool} \times n = 3.75 \left(\frac{cm}{week}\right) \times 20_{m^2} \times 10 = 7.5 \left(\frac{m^3}{week}\right) = 1.1 \left(\frac{m^3}{d}\right)$$

Αποφασίστηκε η κάλυψη της ανάγκης νερού των πισινών του οικισμού να υλοποιηθεί με την άντληση θαλασσινού νερού με χρήση αντλιοστασίου, οπότε δε συμπεριλαμβάνεται στους υπολογισμούς αναγκών με βρόχινο νερό. Η συνολική ποσότητα θαλασσινού νερού που απαιτείται προς άντληση υπολογίζεται:

$$Q_{sea} = V_{pool}^{total} + \alpha_{\pi} \times T_{max} \times n \quad (4.3)$$

Όπου:

$V_{pool}^{total}$ : ο συνολικός όγκος νερού που απαιτείται για το αρχικό γέμισμα των πισινών.

$\alpha_{\pi}$ : καθημερινές απαιτήσεις πισινών για νερό λόγω απώλειας αυτού.

$T_{max}$ : ο χρόνος λειτουργίας των πισινών ανά μέρα, στη παρούσα μελέτη λόγω της ύπαρξης μεγάλου αριθμού παραλιών στην περιοχή εκτιμάται:  $T_{max} = 6 \left(\frac{h}{d}\right)$ .

$n$  : ο αριθμός ημερών λειτουργίας του οικισμού στην παρούσα μελέτη  $n = 92_d$ .

Επομένως:

$$Q_{sea} = V_{pool}^{total} + \alpha_{\pi} \times T_{max} \times n = 400_{m^3} + 1.1 \left(\frac{m^3}{d}\right) \times 6 \left(\frac{h}{d}\right) \times 92_d = 425.30_{m^3}$$

### 3.4 Σύστημα συλλογής ομβρίων οικισμού

Οι επιφάνειες που αξιοποιήθηκαν για την συλλογή βρόχινου νερού στον οικισμό εκτός από τα ειδικός διαμορφωμένα παρτέρια για την τεχνίτη συλλογή νερού άρδευσης είναι:

Οι στέγες των κτιρίων 30%

Δρόμοι πεζοδρομιά και χώροι στάθμευσης 70%

Ο κατάλληλος ως επιφάνεια τύπος συλλογής νερού στέγης όπου συνάπτει και στην παραδοσιακή αισθητική του οικισμού είναι οι κεκλιμένες στέγες. Στις κεκλιμένες στέγες το νερό ρέει με τη βοήθεια της βαρύτητας στις υδρορροές που βρίσκονται γύρω από την περίμετρο, έτσι είναι ευκολότερο να οργανωθεί η κίνησή του στη σωστή κατεύθυνση. Φίλτρα υπάρχουν όπου καθίσταται αναγκαίο για την παρεμπόδιση και απομάκρυνση φερτών. Το σχήμα της οροφής, δεν επηρεάζει τη σύνθεση του νερού αντιθέτως το υλικό στέγης μπορεί να προκαλέσει δηλητηρίαση ή ασθένεια. Ο αμίαντος, που είναι απλώς μέρος των πλακών, είναι πολύ επικίνδυνος. Ο χαλκός και ο μόλυβδος είναι επίσης επικίνδυνοι, μπορούν να περιέχονται σε σωλήνες, υδρορροές ή συνδετήρες. Συνεπώς για τον παρόν οικισμό επιλέγεται σαν υλικό στέγης τα κεραμικά πλακίδια και υλικό σωληνώσεων δικτύου, σωλήνες από PVC. Οι δρόμοι τα πεζοδρόμια και οι χώροι στάθμευσης διαμορφώνονται με κατάλληλες κλίσεις για την αποτελεσματική συλλογή του βρόχινου νερού στο δίκτυο. Ως υλικό κατασκευής των επιλέγεται το σκυρόδεμα.

### 3.5 Υπολογιστικό Μοντέλο

#### 3.5.1 Μεθοδολογία Διαστασιολόγησης

Για την προσομοίωση της λειτουργίας των δεξαμενών καθώς και της βέλτιστης επιφάνειας συλλογής, αναπτύχθηκε ένα υδρολογικό μοντέλο. Αρχικά υπολογίστηκε η ημερήσια δυνητική απόδοση βροχής, χρησιμοποιώντας χρονοσειρές μετρήσεων βροχόπτωσης και εκτιμήσεις πιθανής εξάτμισης. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν συνθετικές χρονοσειρές ημερήσιας ζήτησης νερού με σκοπό να διατηρηθούν (α) ορισμένα εποχιακά πρότυπα κατανάλωσης νερού και (β) ένας προκαθορισμένος μέσος ετήσιος όγκος ζήτησης νερού, ο οποίος υπολογίστηκε λαμβάνοντας τα κοινωνιολογικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης εποχής λειτουργίας του οικισμού. Τέλος, καθορίστηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά (περιοχή συλλογής, χωρητικότητα δεξαμενής) ενός συγκεκριμένου συστήματος και υπολογίστηκαν οι ημερήσιες χρονοσειρές διεργασιών υδατικού ισοζυγίου (υπερχειλίση, έλλειμμα, αποθήκευση). Η απόδοση του υδροσυστήματος ποσοτικοποιήθηκε με εκτίμηση των ακόλουθων δεικτών:

- ο το ποσοστό των ημερών που δεν ικανοποιήθηκε η ζήτηση νερού
- ο μέσος ετήσιος όγκος του νερού της βροχής που δεν αξιοποιήθηκε (υπερχείλιση),
- ο μέσο ετήσιο έλλειμμα νερού που ικανοποιεί πλήρως την απαιτούμενη ζήτηση (έλλειμμα),
- ο αριθμός διαδοχικών ημερών με έλλειμμα νερού.

Για τους υπολογισμούς του μοντέλου πραγματοποιήθηκε συλλογή πραγματικών δεδομένων βροχής από τον βροχομετρικό σταθμό Η. Ν. Κάσου. Ο όγκος των διαθέσιμων μετρήσεων ήταν αυτός των 11 ετών, επομένως η χρονοσειρά της βροχόπτωσης έχει βάθος τα έντεκα έτη. Πιο συγκεκριμένα λήφθηκαν δεδομένα βροχοπτώσεων από την 01/01/2011 έως και τη 31/12/2021. Όσον αφορά την εξάτμιση στο νότιο ανατολικό τμήμα της Ελλάδος πάρθηκαν προσεγγιστικές τιμές με βάση το μεσογειακό κλίμα που ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Αρχικά από πραγματικά δεδομένα βροχής υπολογίστηκε η μέση ετήσια βροχόπτωση  $\bar{P}$  (mm) ως εξής:

$$\bar{P} = \frac{365}{N} \times \sum_{t=1}^N P_t \quad (4.4)$$

Όπου:

$P_t$ : το μετρούμενο ύψος βροχής σε mm κάθε ημέρας, χρόνος  $t$  (d)

$N$ : ο συνολικός αριθμός δεδομένων βροχής (d)

Το ημερήσιο ύψος βροχής  $R_t$  (mm) σε χρόνο  $t$  (d) μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το συντελεστή απορροής  $C$  της περιοχής συλλογής της βροχής κεκλιμένης κεραμικής στέγης, δαπέδων από σκυρόδεμα ( $C=0.9$ ):

$$R_t = C \times P_t \quad (4.5)$$

Η καθημερινή απορροή  $M_d$  προκύπτει ως η διαφορά του ημερήσιου ύψους βροχής  $R_t$  και της εποχιακής εξάτμισης  $E_t$  σύμφωνα με τη σχέση:

$$if[R_t > E_t \text{ then } [M_d = R_t - E_t] \text{ else } [M_d = 0]] \quad (4.6)$$

Συνεπώς η συνολική απορροή ορίζεται ως το άθροισμα των επιμέρους απορροών  $\sum M_t$  σε (mm).

Ο καθημερινός όγκος απορροής που ταυτίζεται με τον όγκο εισροής στη δεξαμενή  $I_d$  αποθήκευσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_d = 10^{-3} \times A \times M_d \quad (4.7)$$

Ο αντίστοιχος αθροιστικός όγκος απορροής σε χρόνο  $t$ , ο οποίος είναι και ο αθροιστικός όγκος εισροής  $\sum I_t \text{ m}^3$  στη δεξαμενή αποθήκευσης προκύπτει ως:

$$\sum I_t = 10^{-3} \times A \times \sum M_t \quad (4.8)$$

Όπου:

A: η επιφάνεια συλλογής βροχής ( $\text{m}^2$ ).

Όπως προαναφέρθηκε από εξίσωση: η μέση ημερήσια παροχή ζήτησης  $Q_{E_{total}}^d$  είναι:

$$Q_{E_{total}}^d = 8.3 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right)$$

Ο οικισμός συλλέγει όλο το έτος βρόχινο νερό αλλά “λειτουργεί” μόνο τη θερινή περίοδο (Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο). Έτσι μέση ετήσια ζήτηση  $Q_{E_{total}}^y$  ισοκατανέμεται σε αυτούς τους τρεις μήνες και κατά επέκταση στις μέρες κάθε μήνα, για το εν λόγω χρονικό διάστημα υπολογίζεται:

$$Q_{E_{total}}^y = Q_{E_{total}}^d \times N_d \quad (4.9)$$

Όπου:

$N_d$ : ο αριθμός των ημερών Ιουνίου, Ιουλίου, Αυγούστου, ( $N_d=92 \text{ d}$ ).

Επομένως:

$$Q_{E_{total}}^y = Q_{E_{total}}^d \times N_d = 8.3 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) \times 92_d = 763.60 \text{ m}^3$$

Στον (Πίνακα 2) παρουσιάζεται η μηνιαία καθώς και η ημερήσια τιμή ζήτησης  $\Delta O_t$  του οικισμού όπως προκύπτει από την ισοκατανομή της ετήσιας ζήτησης στους τρεις αυτούς μήνες.

Πίνακας 2: Μηνιαία και ημερήσια κατανομή ζήτησης οικισμού ( $\text{m}^3$ ).

Ζήτηση ( $\text{m}^3$ )		Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος
<b>Μηνιαία</b>	$Q_{E_{total}}^m = Q_{E_{total}}^y / 3$	254.51	254.51	254.51
<b>Ημερήσια</b>	$\Delta O_t = \frac{Q_{E_{total}}^m}{N_d} = \frac{Q_{E_{total}}^y}{3 N_d}$	8.48	8.21	8.21

Για τους απολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η ημερήσια τιμή ζήτησης  $\Delta O_t$  (ζήτηση) του οικισμού αντίστοιχα για κάθε μήνα καθώς και η ημερήσια εισροή  $I_d$  (απορροή). Εν συνεχεία προκύπτει ο καθαρός όγκος νερού που θα καταλήξει στην δεξαμενή αποθήκευσης την κάθε ημέρα  $t$ , ως διαφορά ημερήσια εισροής και εκροής:

$$\Delta S_t = I_t - \Delta O_t \quad (4.10)$$

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου μεγέθους της δεξαμενής αποθήκευσης γίνεται με δοκιμές, υποθέτοντας μια αρχική τιμή  $S_0$  για  $t=0$  (αρχικά αποθηκευμένο νερό στη δεξαμενή). Η τιμή  $S_0$  μπορεί να είναι οποιαδήποτε τιμή είτε να είναι μηδενική ( $S_0=0$ ) που υποδηλώνει ότι η δεξαμενή είναι αρχικώς άδεια, είτε εναλλακτικά η δεξαμενή να θεωρηθεί πλήρης ( $S_0=V_{tank}$ ), είτε σε κάποια αυθαίρετη στάθμη. Για να ληφθεί υπόψη η χωρητικότητα της δεξαμενής κατά τον υπολογισμό της ποσότητας αποθηκευμένου νερού στη δεξαμενή την κάθε μέρα  $t$ , αν  $V_{tank}$  είναι η χωρητικότητα της δεξαμενής, ο πραγματικά διαθέσιμος όγκος αποθηκευμένου νερού  $S_{t,tank}$  στην δεξαμενή την ημέρα  $t$  προκύπτει από την ακόλουθη διαδικασία-αλγόριθμο:

$$\begin{aligned} & \text{if}[S_{t-1} + \Delta S_t < 0 \text{ then } 0] \\ & \text{if}[S_{t-1} + \Delta S_t > V_{tank} \text{ then } V_{tank}] \\ & \text{if}[S_{t-1} + \Delta S_t > 0 \text{ then } S_{t-1} + \Delta S_t] \\ & \text{if}[S_{t-1} + \Delta S_t < V_{tank} \text{ then } S_{t-1} + \Delta S_t] \end{aligned} \quad (4.11)$$

Ο τελικός όγκος της δεξαμενής προκύπτει με ταυτόχρονες δοκιμές μεταξύ των παραμέτρων του όγκου της δεξαμενής αποθήκευσης  $V_{tank}$  και της επιφάνειας συλλογής βρόχινου νερού  $A$ , ώστε να καλύπτεται η ζήτηση του οικισμού 100% δηλαδή και τις 92 ημέρες λειτουργίας του καθώς και ο όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης που θα προκύπτει να είναι ο ελάχιστος.

Επιπλέον υπολογίζεται ο ημερήσιος όγκος του νερού που υπερχειλίζει  $Z_t$  από τη δεξαμενή αποθήκευσης όταν αυτή είναι γεμάτη τη χρονική στιγμή  $t$  ως εξής:

$$\text{if}[S_t = V_{tank} \text{ then } [S_{t-1} + \Delta S_t - V_{tank}] \text{ else } [0] \quad (4.12)$$

Επίσης υπολογίζεται ο ημερήσιος όγκος του νερού ελλείμματος  $F_t$  όταν η δεξαμενή στερείται νερό και δε μπορεί να ανταπεξέλθει στη ζήτηση τη χρονική στιγμή  $t$  ως εξής:

$$\text{if}[S_t = 0 \text{ then } [\Delta S_t + S_{t-1}] \text{ else } [0] \quad (4.13)$$

Τέλος υπολογίζονται οι δείκτες αξιοπιστίας του μοντέλου:

- ο το ποσοστό των ημερών που δεν ικανοποιήθηκε η ζήτηση νερού



$$P_1 = \frac{N_F}{N_d} \times 100 \quad (4.14)$$

Όπου:

$N_F$ : αριθμός ημερών που η δεξαμενή είχε έλλειμμα

$N_d$ : ο αριθμός των ημερών Ιουνίου, Ιουλίου, Αυγούστου, ( $N_d=92$  d).

- ο μέσος ετήσιος όγκος του νερού της βροχής που δεν αξιοποιήθηκε (υπερχείλιση),

$$P_2 = \frac{365}{N} \times \sum_{t=1}^N Z_{(t)} \quad (4.15)$$

Όπου:

$N$ : ο συνολικός αριθμός δεδομένων βροχής (d).

$Z_t$ : ο ημερήσιος όγκος νερού που υπερχειλίζει  $Z_t$  ( $m^3$ )

- το μέσο ετήσιο έλλειμμα νερού που ικανοποιεί πλήρως την απαιτούμενη ζήτηση (έλλειμμα),

$$P_3 = \frac{365}{N} \times \sum_{t=1}^N F_{(t)} \quad (4.16)$$

Όπου:

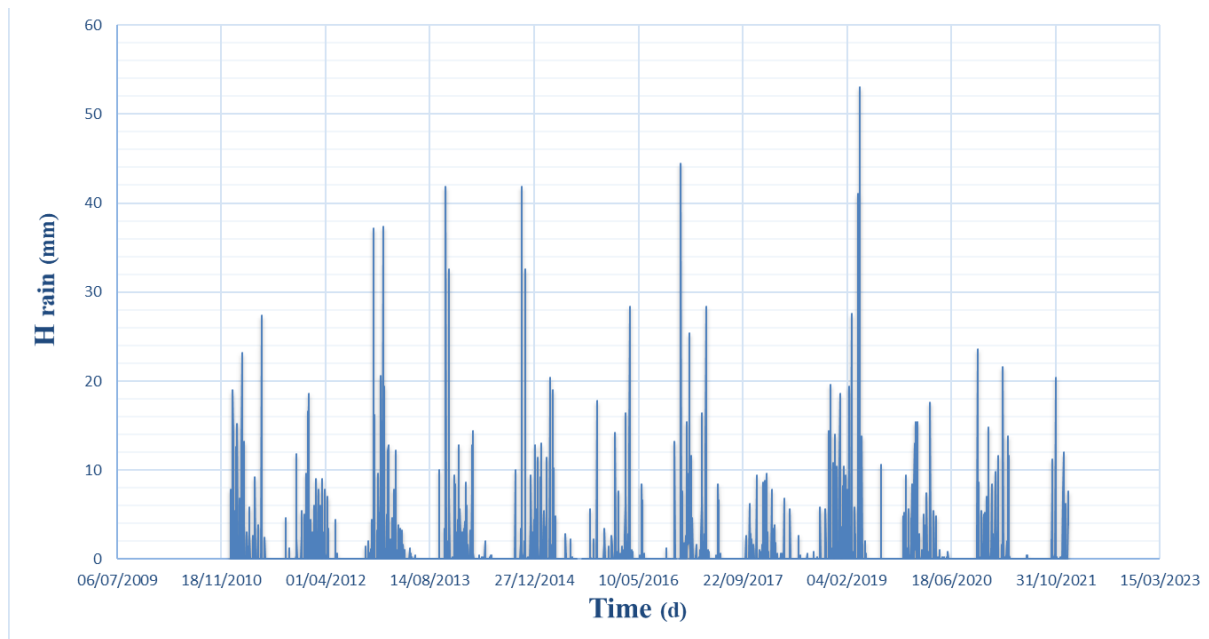
$N$ : ο συνολικός αριθμός δεδομένων βροχής (d)

$F_t$ : ο ημερήσιος όγκος του νερού ελλείματος  $F_t$  ( $m^3$ )

- αριθμός διαδοχικών ημερών με έλλειμμα νερού ( $P_4$ )

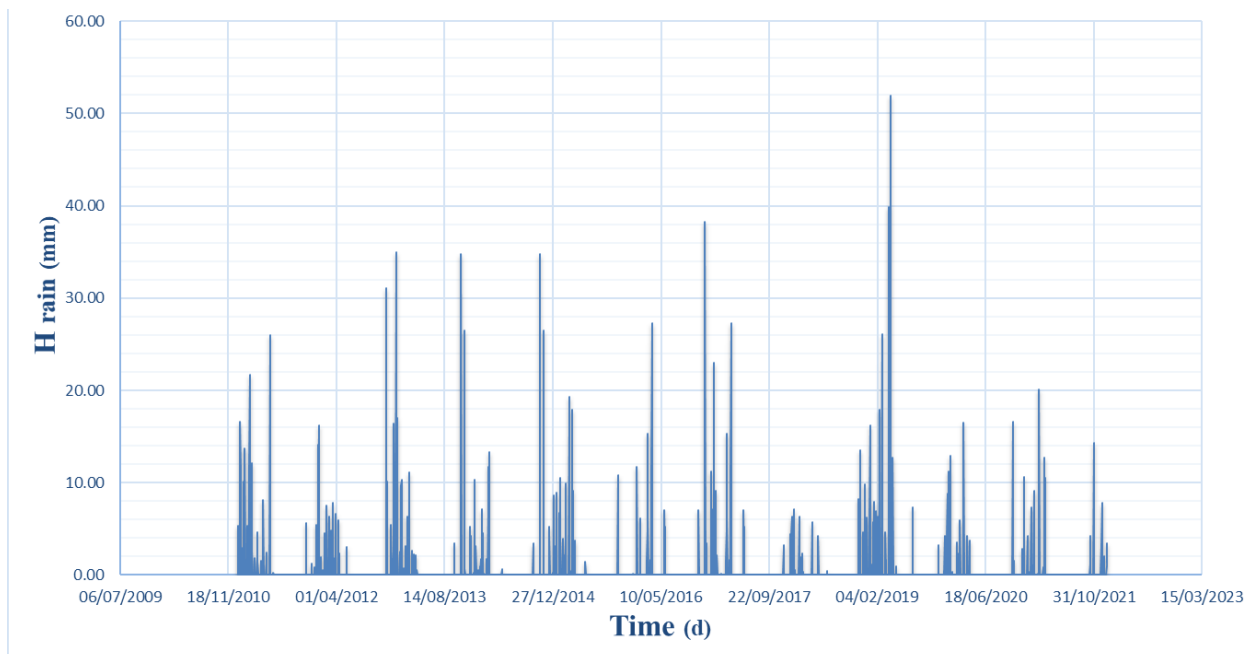
### 3.5.2 Εφαρμογή Μοντέλου

Αρχικά έγινε ανάλυση των δεδομένων βροχής από τον βροχομετρικό σταθμό του νησιού της Η. Ν. Κάσου. Στο Σχήμα 9 που ακολουθεί παρουσιάζεται το ημερήσιο ύψος βροχής που χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς. Το ύψος της βροχής κυμαίνεται από 0.00 έως 53.00 mm και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 284,23 mm.



Σχήμα 9: Ύψος βροχής στα Αρμάθια Η. Ν. Κάσου από 01/01/2011 έως και τη 31/12/2021 .

Η καθαρή απορροή βρόχινου νερού λαμβάνεται από τη διαφορά των βροχομετρικών δεδομένων και της εποχιακής εξάτμισης. Στο Σχήμα 10 που ακολουθεί παρουσιάζεται το καθαρό ύψος βρόχινου νερού απορροής. Το καθαρό ύψος της βροχής κυμαίνεται από 0.00 mm έως 51.91 mm και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 170.40 mm.

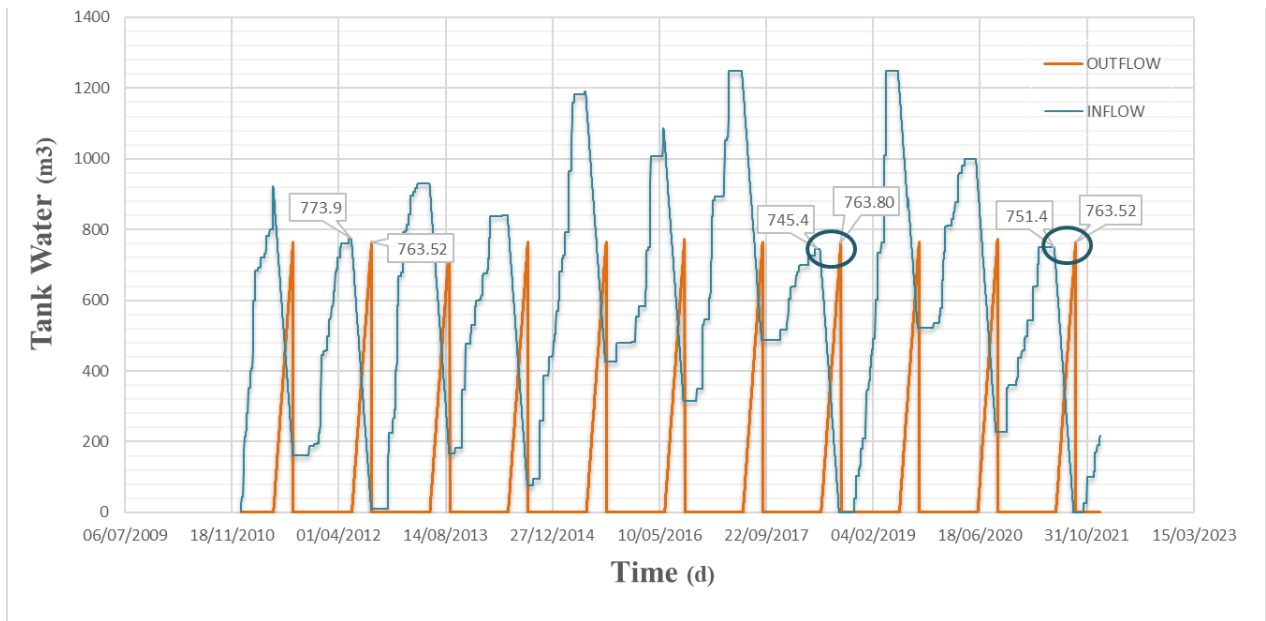


Σχήμα 10: Καθαρό ύψος βροχής στα Αρμάθια Η. Ν. Κάσου από 01/01/2011 έως και τη 31/12/2021.

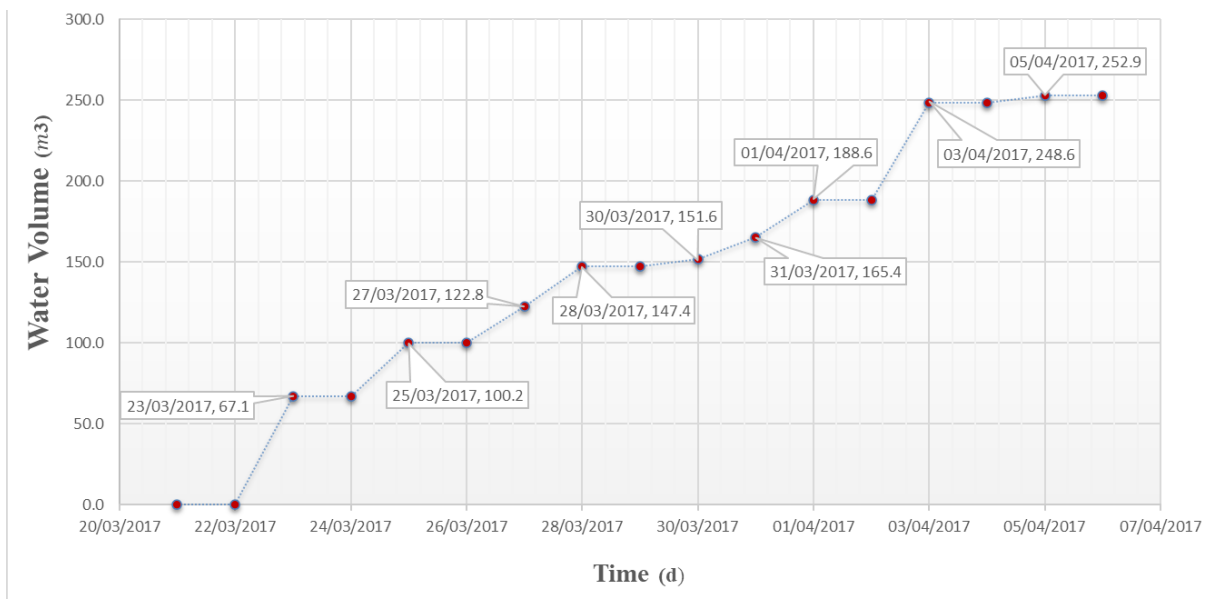
Για τον υπολογισμό του βέλτιστου συνδυασμού επιφάνειας συλλογής βρόχινου νερού και χωρητικότητας της δεξαμενής αποθήκευσης. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με κριτήριο τη κάλυψη ποσοστού 100% της ζήτησης του οικισμού καθώς και ελαχιστοποίηση του όγκο της δεξαμενής αποθήκευσης. Εν συνεχεία παρουσιάζονται τρεις ενδεικτικές περιπτώσεις αυτών.

Περίπτωση 1:  $V_{\text{tank}}=1250 \text{ m}^3$ ,  $A=5250 \text{ m}^2$

Στα Σχήματα 11 και 12 που ακολουθούν παρουσιάζεται η ημερήσια εισροή (καθαρή απορροή), εκροή (ζήτηση) νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης καθώς και ο αθροιστικός όγκος υπερχείλισης της δεξαμενής αποθήκευσης, για ( $V_{\text{tank}}=1250 \text{ m}^3$ ,  $A=5250 \text{ m}^2$ ). Παρατηρούνται τρεις επίμαχες θέσης μη κάλυψης της απαιτούμενης ζήτησης, εκ των οποίων οι δύο επιβεβαιώνονται ότι αστοχούν. Πράγματι το μοντέλο αστοχεί σε τέσσερις ημέρες 4 στον αριθμό, πιο συγκεκριμένα 30,31/08/18 & 30,31 /08/21 με συνολικό όγκο ελλείμματος  $28.50 \text{ m}^3$ . Επιπλέον η δεξαμενή υπερχειλίζει 9d ημέρες το οποίο αντιστοιχεί σε αθροιστικό όγκο υπερχείλισης νερού  $\Sigma R_t=252.90 \text{ m}^3$ .



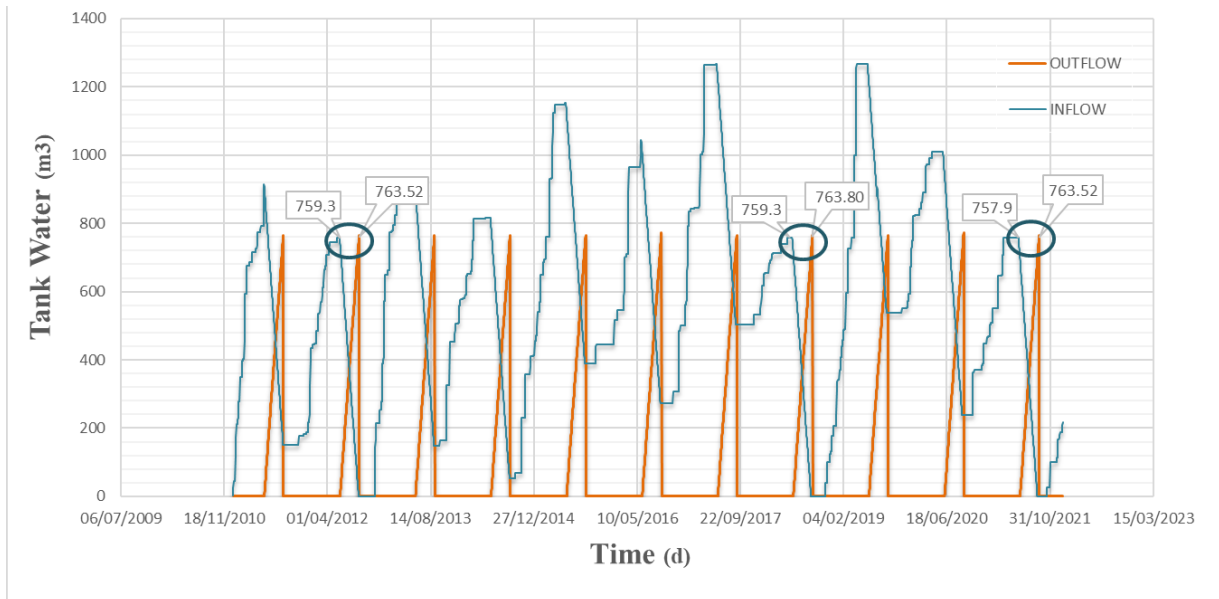
Σχήμα 11: Ημερήσια εισροή (καθαρή απορροή), εκροή (ζήτηση) νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης για ( $V_{\text{tank}} = 1250 \text{ m}^3$ ,  $A = 5250 \text{ m}^2$ ).



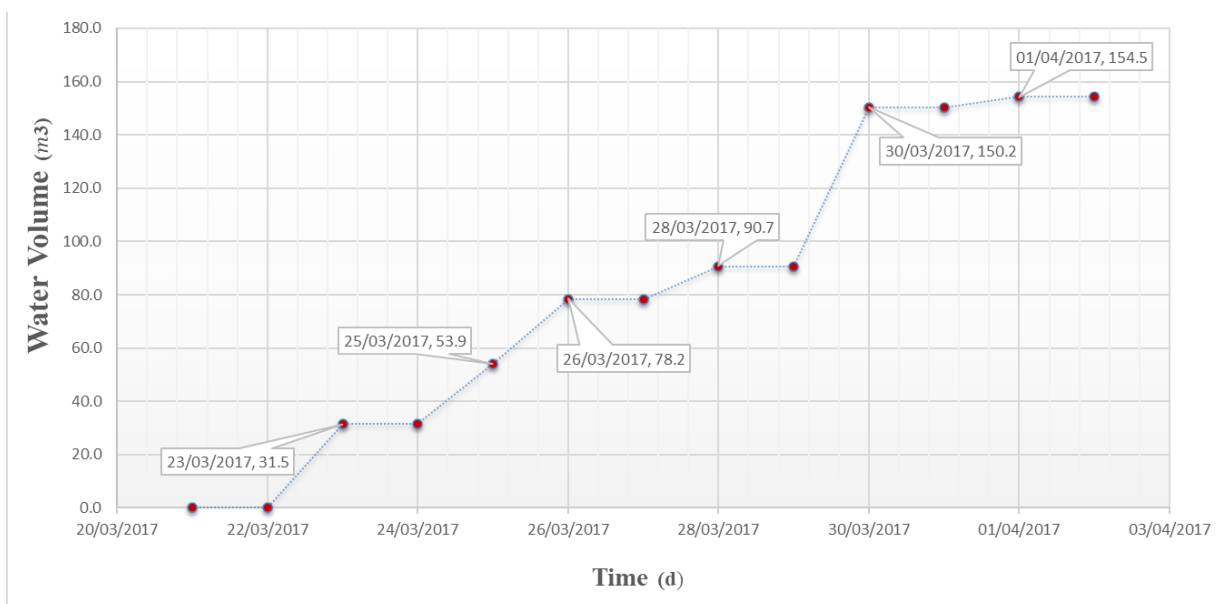
Σχήμα 12: Αθροιστικός όγκος υπερχείλισης  $\Sigma R_t$  νερού για ( $V_{\text{tank}} = 1250 \text{ m}^3$ ,  $A = 5250 \text{ m}^2$ ).

Περίπτωση 2:  $V_{\text{tank}}=1266.40 \text{ m}^3$ ,  $A=5200 \text{ m}^2$

Στα Σχήματα 13 και 14 που ακολουθούν παρουσιάζεται η ημερήσια εισροή (καθαρή απορροή), εκκροή (ζήτηση) νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης καθώς και ο αθροιστικός όγκος υπερχειλίσσης της δεξαμενής αποθήκευσης, για ( $V_{\text{tank}}=1266.40 \text{ m}^3$ ,  $A=5200 \text{ m}^2$ ). Παρατηρούνται τρεις επίμαχες θέσεις μη κάλυψης της απαιτούμενης ζήτησης, όπου και επιβεβαιώνονται η αστοχία τους. Πράγματι το μοντέλο αστοχεί σε τρεις ημέρες στον αριθμό, πιο συγκεκριμένα 31 /08/12, 31 /08/18, 31 /08/21 με συνολικό όγκο ελλείμματος 12.30  $\text{m}^3$ . Επιπλέον η δεξαμενή υπερχειλίζει έξι (6d) ημέρες το οποίο αντιστοιχεί σε αθροιστικό όγκο υπερχειλίσσης νερού  $\Sigma R_t=154.50 \text{ m}^3$ .



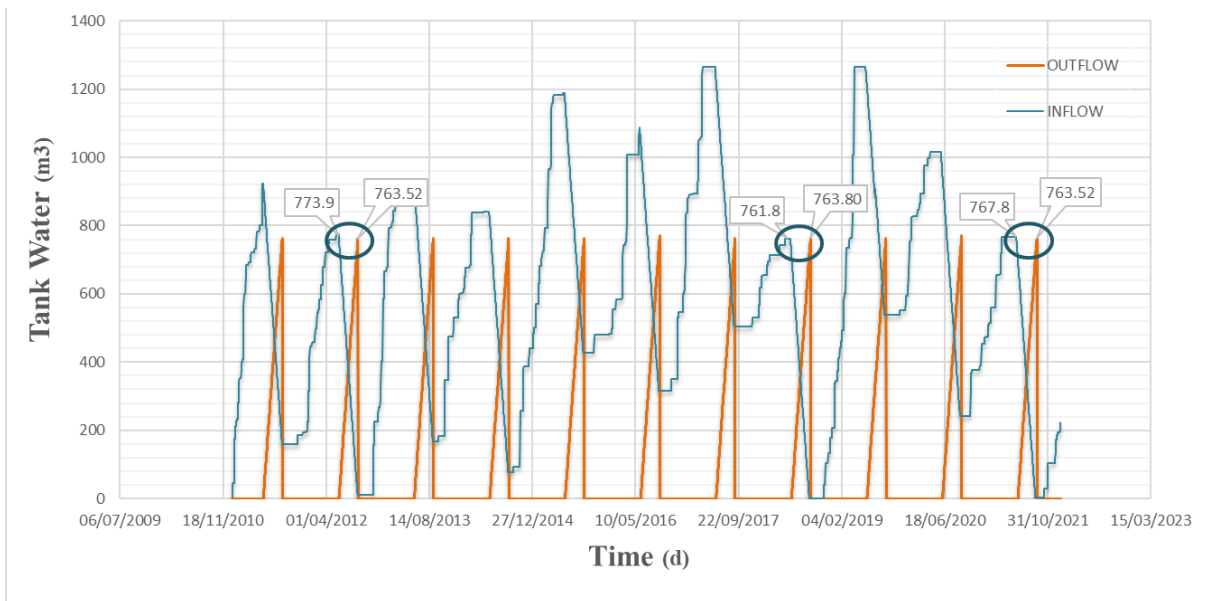
Σχήμα 13: Ημερήσια εισροή (καθαρή απορροή), εκκροή (ζήτηση) νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης για ( $V_{\text{tank}} = 1266.40 \text{ m}^3$ ,  $A = 5200 \text{ m}^2$ ).



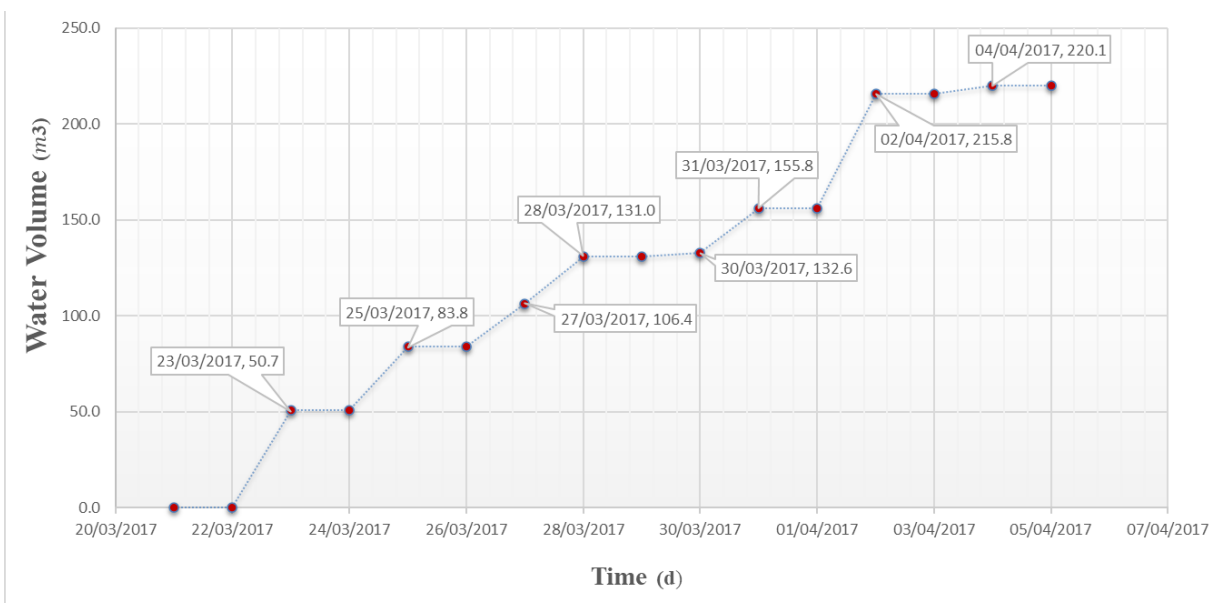
Σχήμα 14: Αθροιστικός όγκος υπερχειλίσσης  $\Sigma R_t$  νερού για ( $V_{\text{tank}} = 1266.40 \text{ m}^3$ ,  $A = 5200 \text{ m}^2$ ).

Περίπτωση 3:  $V_{\text{tank}}=1266.40 \text{ m}^3$ ,  $A=5250 \text{ m}^2$

Στα Σχήματα 15 και 16 που ακολουθούν παρουσιάζεται η ημερήσια εισροή (καθαρή απορροή), εκκροή (ζήτηση) νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης καθώς και ο αθροιστικός όγκος υπερχειλίσσης της δεξαμενής αποθήκευσης, για ( $V_{\text{tank}}=1266.40 \text{ m}^3$ ,  $A=5250 \text{ m}^2$ ). Παρατηρούνται τρεις επίμαχες θέσεις μη κάλυψης της απαιτούμενης ζήτησης, όπου καμία εκ των οποίων δεν επιβεβαιώνεται να αστοχεί οριακά. Πράγματι το μοντέλο δεν αστοχεί και ο όγκος ελλείμματος είναι μηδενικός. Επιπλέον η δεξαμενή υπερχειλίζει οχτώ ημέρες (8d) το οποίο αντιστοιχεί σε αθροιστικό όγκο υπερχειλίσσης νερού  $\Sigma R_t=220.10 \text{ m}^3$ . Το γεγονός ότι η δεξαμενή υπερχειλίζει δεν επηρεάζει τη διαστασιολόγηση, Καταληκτικά επιλέγεται όγκος δεξαμενής και επιφάνεια συλλογής αντίστοιχα  $V_{\text{tank}}=1266.40 \text{ m}^3$ ,  $A=5250 \text{ m}^2$ . Στη πράξη η δεξαμενή που θα κατασκευαστεί θα έχει χωρητικότητα (ωφέλιμο όγκο)  $V_{\text{tank}}=1270 \text{ m}^3$ , και αντίστοιχο μέσο ετήσιο αθροιστικό όγκο υπερχειλίσσης  $\Sigma R_t=220.10 \text{ m}^3$ .



Σχήμα 15: Ημερήσια εισροή (καθαρή απορροή), εκκροή (ζήτηση) νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης για ( $V_{\text{tank}} = 1266.40 \text{ m}^3$ ,  $A = 5250 \text{ m}^2$ ).



Σχήμα 16: Αθροιστικός όγκος υπερχειλίσσης  $\Sigma R_t$  νερού για ( $V_{\text{tank}} = 1266.40 \text{ m}^3$ ,  $A = 5250 \text{ m}^2$ ).

Υπολογίζονται οι δείκτες αξιοπιστίας του μοντέλου:

- ο το ποσοστό των ημερών που δεν ικανοποιήθηκε η ζήτηση νερού

$$P_1 = \frac{N_F}{N_d} \times 100 = 0$$

Όπου:

$N_F$ : αριθμός ημερών που η δεξαμενή είχε έλλειμμα,  $N_F=0$  (d)

$N_d$ : ο αριθμός των ημερών Ιουνίου, Ιουλίου, Αυγούστου,  $N_d=92$  (d)

- ο μέσος ετήσιος όγκος του νερού της βροχής που δεν αξιοποιήθηκε (υπερχείλιση),

$$P_2 = \frac{365}{N} \times \sum_{t=1}^N Z_{(t)} = 220.10_{m^3}$$

Όπου:

$N$ : ο συνολικός αριθμός δεδομένων βροχής (d).

$Z_t$ : ο ημερήσιος όγκος νερού που υπερχειλίζει  $Z_t$  ( $m^3$ )

- το μέσο ετήσιο έλλειμμα νερού που ικανοποιεί πλήρως την απαιτούμενη ζήτηση (έλλειμμα),

$$P_3 = \frac{365}{N} \times \sum_{t=1}^N F_{(t)} = 0_{m^3}$$

Όπου:

$N$ : ο συνολικός αριθμός δεδομένων βροχής ( $d$ ) .

$F_t$ : ο ημερήσιος όγκος του νερού ελλείμματος  $F_t=0$  ( $m^3$ )

- αριθμός διαδοχικών ημερών με έλλειμμα νερού ( $P_4$ )

$$P_3 = 0 \rightarrow P_4 = 0$$

### 3.6 Διαστασιολόγηση υδραυλικού δικτύου

Το βρόχινο νερό θα συλλέγεται μέσω της βαρύτητας σε δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης όπου μέσω αυτής θα μεταφέρεται στην κεντρική μονάδα αποθήκευσης του μέσω καταθλιπτικού αγωγού. Εφόσον τη χειμερινή περίοδο δεν υπάρχει ζήτηση σε ενέργεια, προτιμάται η χρήση αντλιών προς ανύψωση του τότε, ώστε κατά τη διάρκεια λειτουργίας του οικισμού να παρέχεται μέσω της βαρύτητας.

### 3.6.1 Χωροθέτηση κεντρικών δεξαμενών αποθήκευσης

Από τους υπολογισμούς προέκυψε ωφέλιμος όγκος δεξαμενής αποθήκευσης  $V=1270 \text{ m}^3$  το αποτέλεσμα κρίνεται λογικό εφόσον η συλλογή του βρόχινου νερού πραγματοποιείται όλο το χρόνο και δεν υπάρχει ζήτηση παρά μόνο κατά τη λειτουργία του οικισμού δηλαδή μόνο τη θερινή περίοδο επομένως . Λόγω του μεγάλου όγκου αποφασίστηκε να κατασκευαστούν τέσσερις όμοιες δεξαμενές χωρητικότητας ωφέλιμου όγκου  $V_{SF,tank(1,2,3,4)}=318 \text{ m}^3$ . Επομένως έκαστη θα έχει διαστάσεις  $7 \times 7 \times 7.2 \text{ m}$  και κατασκευαστικό όγκο  $V_{SF,str,tank}=353 \text{ m}^3$ . Η προσαύξηση αυτή στον κατασκευαστικό όγκο είναι λόγω του συνυπολογισμού κενού όγκου ασφαλείας καθώς και όγκου έκπλυσης φερτών.

Σχετικά με τη χωροθέτηση των δεξαμενών αποθήκευσης το υψόμετρο τους υπολογίστηκε με βάση την εξασφάλιση ελάχιστων επιτρεπόμενων πιέσεων στον οικισμό καθώς και μη υπέρβασης του ύψους πίεσης που μπορούν να αντέξει το δίκτυο.

- ο το ανώτερο επιθυμητό όριο είναι 6-7 atm (60-70 m ισοδύναμου ύψους νερού).
- η ελάχιστη πίεση εκροής των λήψεων κυμαίνεται από 0.4 έως 1.2 atm δηλαδή εξασφάλιση 4m πίεσης νερού στο υψηλότερο σημείο των κτηρίων.

Ο περιορισμός ανώτατης πίεσης διευθετείται τοπογραφικά, η ανώτατη πίεση υπολογίζεται για στατική κατάσταση δικτύου και το στατικό ύψος πίεσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{P_{max}}{\gamma} = AΣΥ - z_{min} < 70_m \quad (4.17)$$

Όπου:

AΣΥ: ανώτατη στάθμη ύδατος δεξαμενής

$z_{min}$ : κατώτατο σημείο οικισμού

Κατ' ελάχιστον, η δεξαμενή τοποθετείται 15 ως 25 m πάνω από το μέγιστο υψόμετρο ανάπτυξης του οικισμού. Για την κάλυψη του περιορισμού ελάχιστων πιέσεων χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$\frac{p}{\gamma} = (n + 1) \times 4 > 15 \quad (4.18)$$

Όπου:

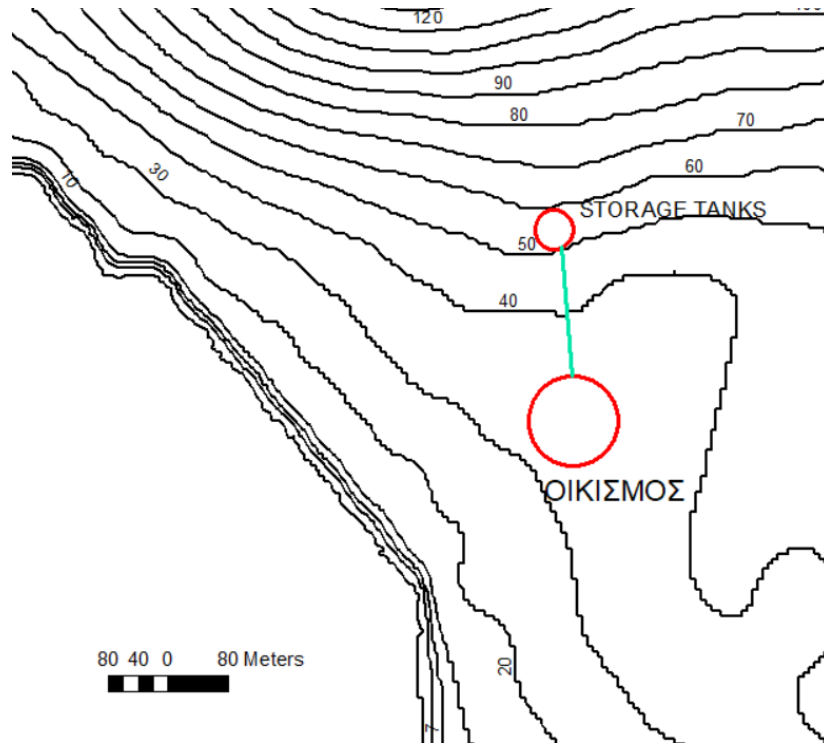
n: ο μέγιστος αριθμός ορόφων του οικισμού, στη προκειμένη  $n=1$ .

Επομένως:

$$\frac{p}{\gamma} = (n + 1) \times 4 = 8 < 15$$

$$\frac{p}{\gamma} = 25_m$$

Οι δεξαμενές αποθήκευσης πρέπει να έχουν 25 m υψομετρική διαφορά από τον οικισμό. Εφόσον του υψόμετρο του οικισμού είναι στα 35 m, επιλέγεται υψόμετρο δεξαμενών αποθήκευσης  $H_{SF,tank(1,2,3,4)}=50$  m και σε απόσταση  $L_{SF,tank(1,2,3,4)}=160$  m. Στο Σχήμα 17 παρουσιάζεται η ακριβής χωροθέτηση των δεξαμενών αποθήκευσης.

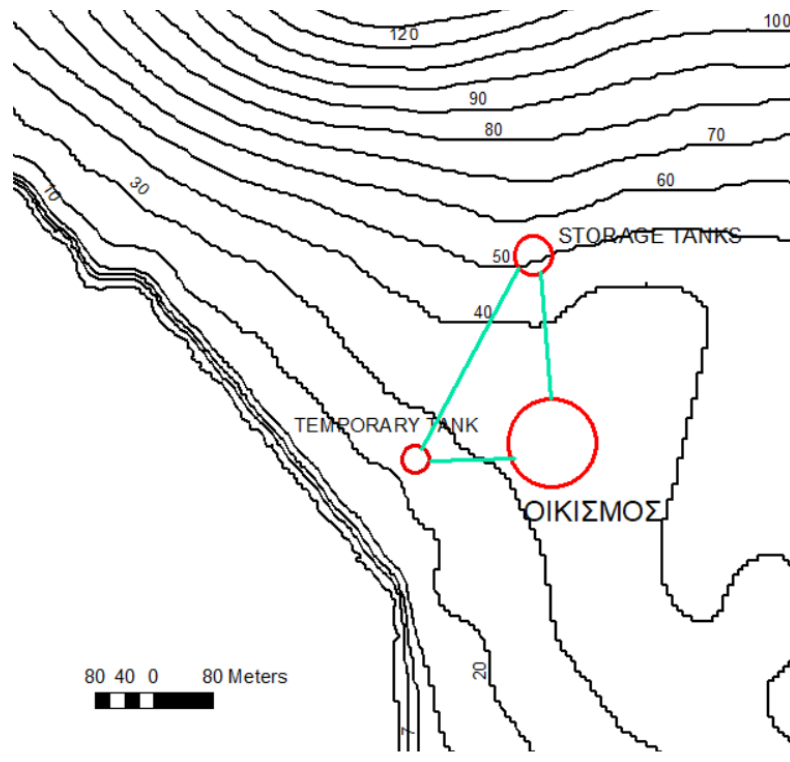


Σχήμα 17: Χωροθέτηση δεξαμενών αποθήκευσης.

### 3.6.2 Διαστασιολόγηση προσωρινή δεξαμενή αποθήκευσης

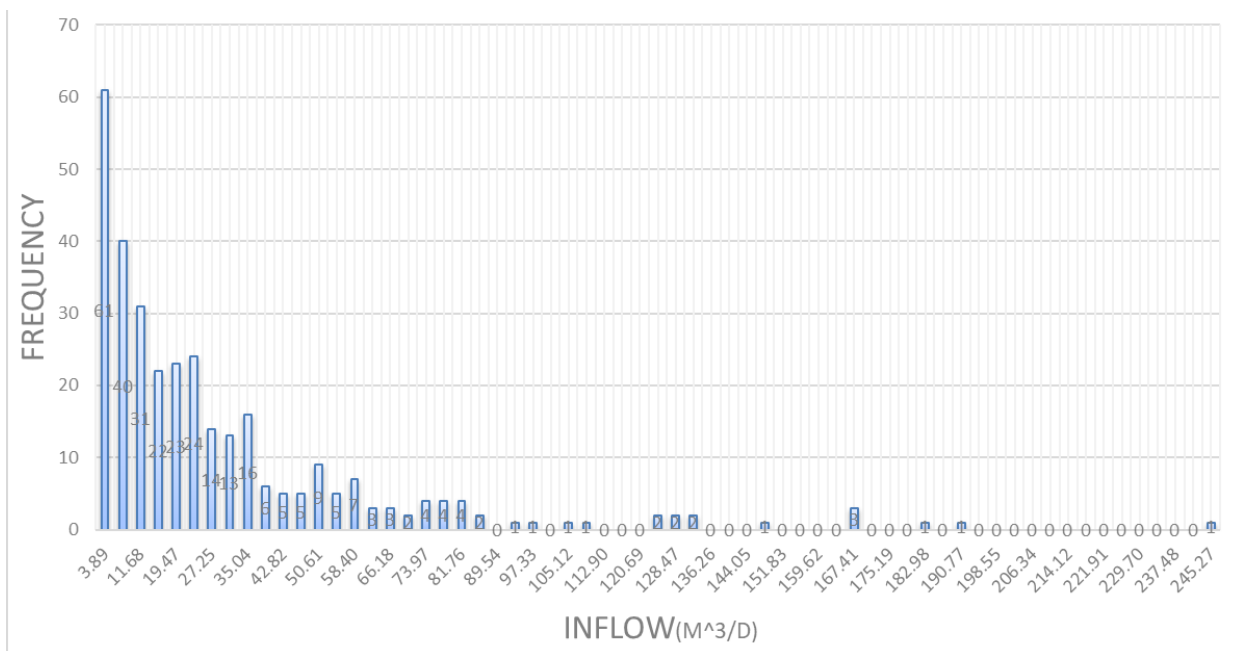
Το βρόχινο νερό που θα συλλέγεται από τις διάφορες επιφάνειες συλλογής θα μεταφέρεται μέσω δικτύου σε δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης μέσω της βαρύτητας. Ο οικισμός έχει χωρομετρηθεί σε υψόμετρο  $H_{οικ}=35$  m, η δεξαμενή αυτή θα χωροθετηθεί σε χαμηλότερο υψόμετρο από αυτό του οικισμού και πιο συγκεκριμένα  $H_{TR,tank}=25$  m και σε απόσταση  $L_{TR,tank}=100$  m. Η ακριβής θέση της δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 18.





Σχήμα 18: Χωροθέτηση δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης.

Εν συνεχεία για τη διαστασιολόγηση της δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης χρησιμοποιήθηκε η συχνότητα εμφάνισης των τιμών εισροής στις δεξαμενές αποθήκευσης Σχήμα 19, καθώς και πραγματοποιήθηκε βελτιστοποίηση μεταξύ των παραμέτρων της χωρητικότητας της δεξαμενή  $V_{TR,tank}$  και της αντλίας που θα χρησιμοποιηθεί προς άντληση.



Σχήμα 19: Συχνότητα εμφάνισης των τιμών εισροής στη δεξαμενές αποθήκευσης.

Παρατηρείται από το διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης εισροών ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των εισροών κυμαίνεται μέχρι  $Q_{inf(t)} = 90 \text{ (m}^3/\text{d)}$ , από εκεί και ύστερα η συχνότητα εμφάνισης των μεγαλύτερων τιμών εισροής με μέγιστη την  $Q_{inf,max} = 245.27 \text{ (m}^3/\text{d)}$  είναι πολύ μικρή.

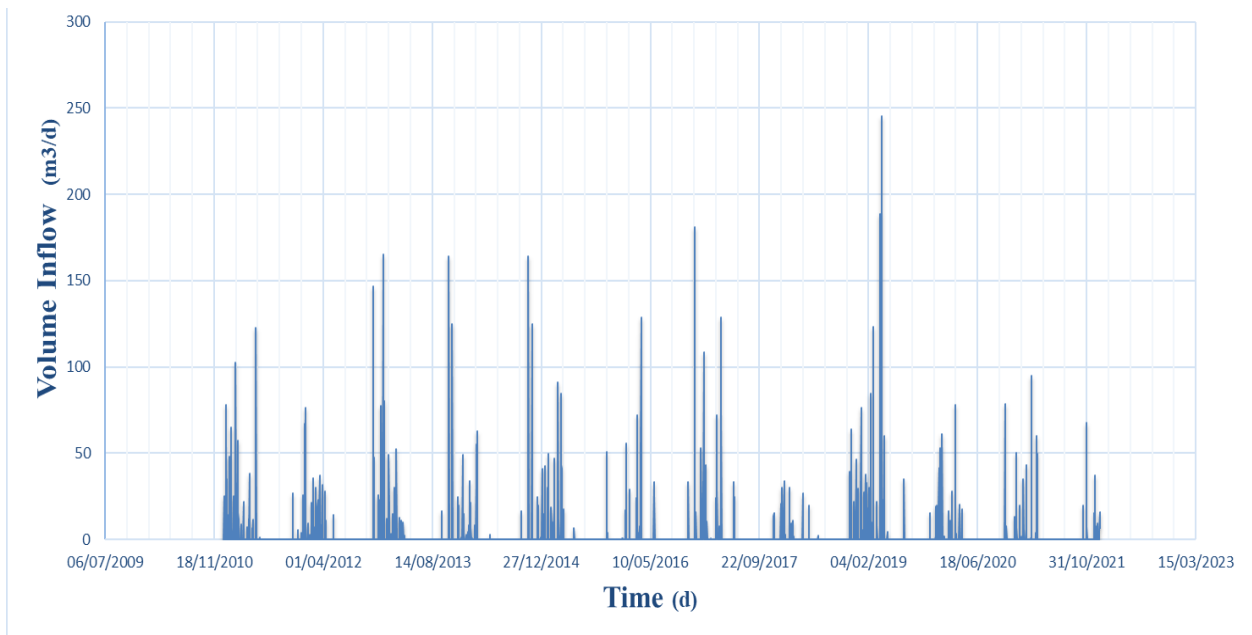
Για τη διαστασιολόγηση της προσωρινής δεξαμενής με βάση από τα δεδομένα καθαρής εισροής βροχόπτωσης προγραμματίστηκε αλγόριθμος βελτιστοποίησης με βάση τις εξής παραμέτρους:

- Την χωρητικότητα της δεξαμενής  $V_{TR,tank}$
- Η δεξαμενή να λειτουργεί μέχρι ένα συγκεκριμένο ύψος λειτουργεί στα 80% της χωρητικότητας της.
- Την απόδοση αναρρόφησης της αντλίας  $Q_{TR,A}$
- Τον όγκο υπερχείλισης της δεξαμενής

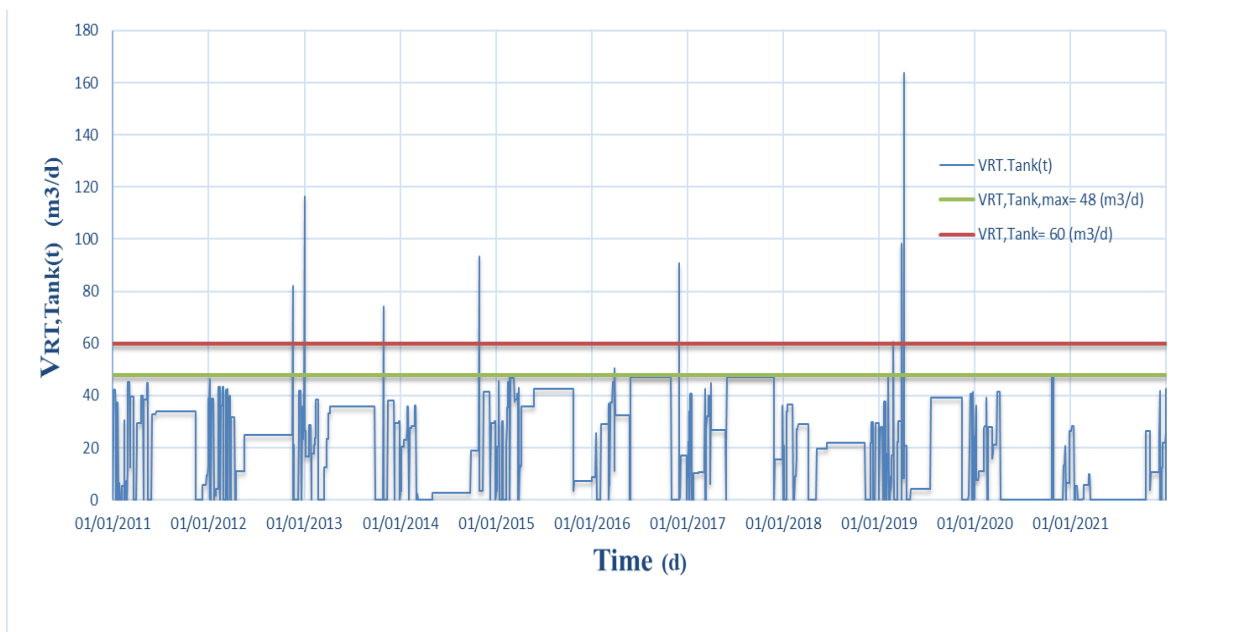
Ο βέλτιστος συνδυασμός της χωρητικότητας  $V_{R,TR,tank}$  και των προδιαγραφών της αντλίας  $Q_{TR,A}$  υπολογίστηκε από επαναληπτική διαδικασία-αλγόριθμο αλλαγής των παραμέτρων αυτών, ώστε η χωρητικότητα της δεξαμενής σε συνδυασμό με το κόστος της αντλίας (στα 50 χρόνια) καθώς και των προδιαγραφών της να ελαχιστοποιούνται. Η διαφορά του αθροίσματος των καθαρών εισροών βροχόπτωσης στη ξεραμμένη και της αθροιστικής ζήτησης της στο στη μοντελοποίηση των έντεκα χρόνων είναι:  $\sum I_t - \sum O_t = 440.30 \text{ m}^3$ . Επομένως η δεξαμενή έχει της δυνατότητα υπερχείλισης όγκου  $V_{R,TR,max} = 440 \text{ m}^3$  Εν συνεχεία παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε :

$$\begin{aligned}
 & \text{if}[\Delta s_{t-1} + \Delta s_t > 0.8 \times V_{TR,tank} \text{ and } \Delta s_{t-1} + \Delta s_t - Q_{TR,A} > 0 \text{ then } \Delta s_{t-1} + \Delta s_t - Q_{TR,A}] \\
 & \text{if}[\Delta s_{t-1} + \Delta s_t < 0.8 \times V_{TR,tank} \text{ and } \Delta s_{t-1} + \Delta s_t > 0 \text{ then } \Delta s_{t-1} + \Delta s_t] \\
 & \text{if}[\Delta s_{t-1} + \Delta s_t > 0.8 \times V_{TR,tank} \text{ and } \Delta s_{t-1} + \Delta s_t - Q_{TR,A} < 0 \text{ then } 0] \\
 & \text{if}[\Delta s_{t-1} + \Delta s_t = 0 \text{ then } 0]
 \end{aligned} \tag{4.19}$$

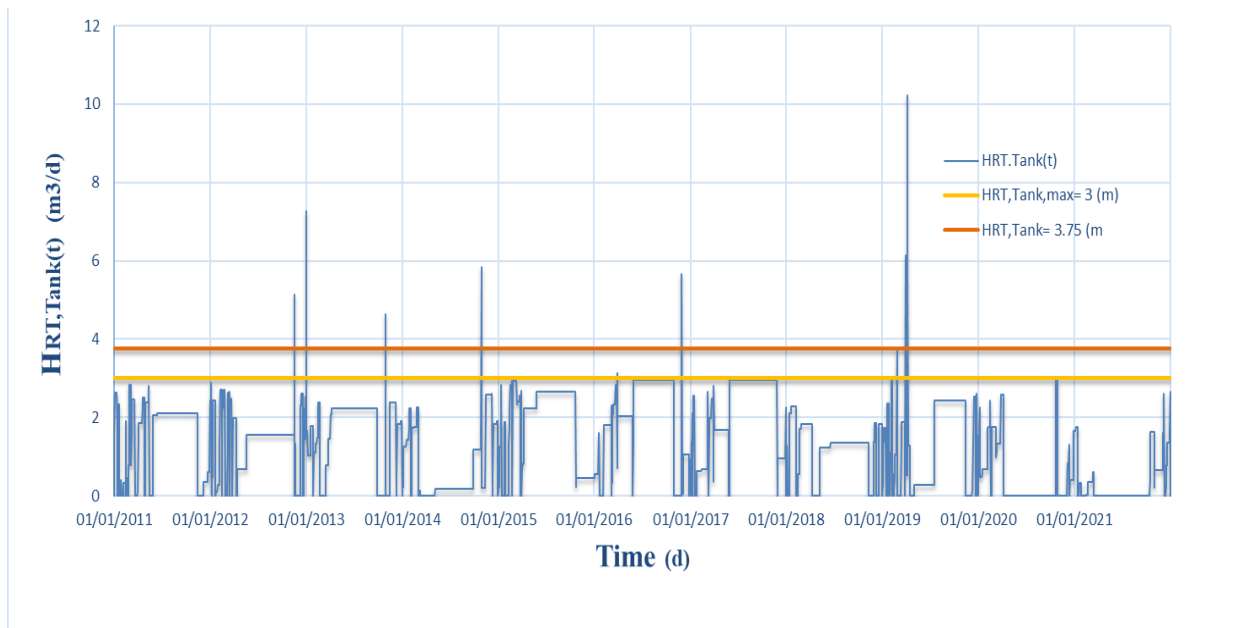
Από τη βελτιστοποίηση προκύπτει χωρητικότητα δεξαμενής  $V_{R,TR,tank} = 60 \text{ m}^3$  με διαστάσεις  $4 \times 4 \times 3.75 \text{ m}$ . Η δεξαμενή θα γεμίζει έως το ύψος  $h_{TR,tm} = 3 \text{ m}$  που αντιστοιχεί σε όγκο  $V_{TM,tank(3)} = 48 \text{ m}^3$ , αφήνοντας έτσι ένα κενό ασφαλείας  $h_e = 0.75 \text{ m}$ . Η μη υπέρβαση του ύψους των τριών μέτρων θα επιτευχθεί με μηχανισμό φλοτέρ όπου θα ενεργοποιεί την λειτουργία της αντλίας. Οι προδιαγραφές αντλίας υπολογίστηκαν  $Q_{TR,A} = 90 \text{ (m}^3/\text{d)}$ . Θα τοποθετηθούν δυο αντλίες των  $45 \text{ (m}^3/\text{d)}$  και μια εφεδρική. Οι αντλίες κατά την ενεργοποίηση τους θα λειτουργούν την ημέρα 15 (h/d) αυτό συνεπάγεται  $Q_{TR,A} = 90 \text{ (m}^3/\text{h)}$ . Παρακάτω στα Σχήματα 20,21 και 22 παρουσιάζεται το μοντέλο λειτουργίας της δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης υπό αναρρόφηση. Το μοντέλο έχει συνολικές απώλειες λόγω υπερχείλισης  $\sum O_t = 437.5 \text{ m}^3 < V_{R,TR,max} = 440 \text{ m}^3$ .



Σχήμα 20: Καθημερινή εισροή στην δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης.



Σχήμα 21: Διακύμανση του όγκου νερού  $V_{TR,tank}(t)$  στη δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης.

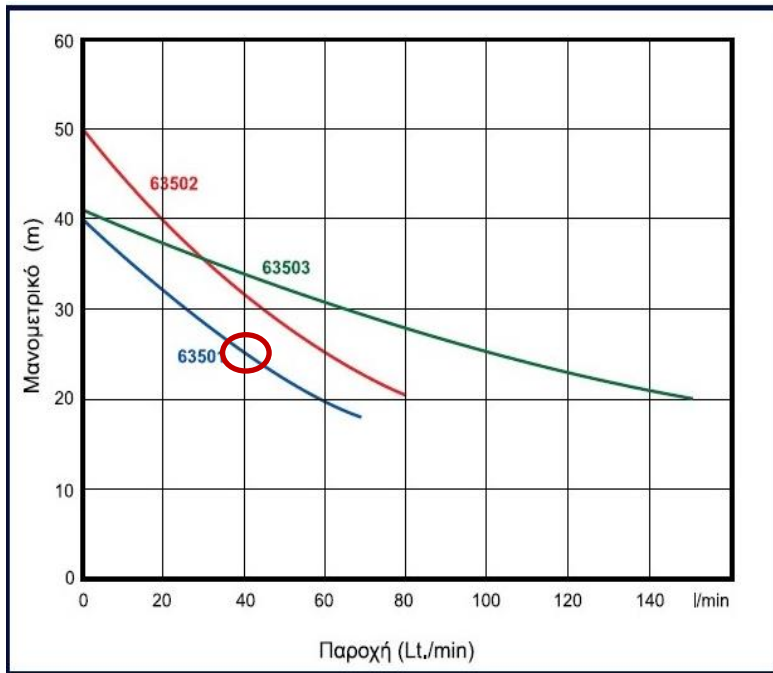


Σχήμα 22: Διακύμανση του ύψους νερού  $H_{TR,tank(t)}$  στη δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης.

Μετά από έρευνα στο εμπόριο επιλέχθηκε η αντλία KRAFT - KSP (Αντλία Νερού Επιφανείας Αυτόματης Αναρρόφησης 63501 ) Σχήμα 23 στη τιμή των 189.00€ και για τρεις αντλίες 567 €, οι προδιαγραφές της παρουσιάζονται παρακάτω. Το μανομετρικό ύψος που πρέπει να εξυπηρετεί είναι αυτό της υψομετρικής διαφοράς των δεξαμενών  $H_{SF,tank(1,2,3,4)} - H_{TM,tank} = 50 - 25 = 25$  m, επιπλέον το απόσταση μεταξύ των δεξαμενών υπολογίστηκε  $L_{TR,SF,tank} = 240$  m θα χρησιμοποιηθεί αγωγός PVC με διαμέτρου 1". Εν συνεχεία παραθέτονται οι προδιαγραφές της αντλίας που επιλέχθηκε, και η καμπύλη λειτουργίας της Σχήμα 24.

Προδιαγραφές αντλίας:

- Ισχύς: 1100 W (1.5 Hp)
- Τάση 230 V/50 Hz
- Μανομετρικό: 50 m (max)
- Παροχή: 4800 lt/h (max)
- Στόμιο Εισόδου: 1" 1/4
- Στόμιο Εξόδου: 1"
- Ύψος Αναρρόφησης: 9 m (max)
- Διαστάσεις συσκευασίας: 55x24x27 cm
- Βάρος: 24.5 Kg



Σχήμα 23: Παρουσίαση αντλίας.

Σχήμα 24: Καμπύλη λειτουργίας αντλίας KRAFT - KSP 150L.

[\[https://anytools.gr/\]](https://anytools.gr/)

Από την καμπύλη λειτουργίας της αντλίας παρατηρείται ότι για τα 25m μανομετρικού λειτουργεί με παροχή  $Q_{TR,A}=40$  (l/min) = 57.6 (m<sup>3</sup>/d), για δύο αντλίες  $\Sigma Q_{TR,A}=115.2$  (m<sup>3</sup>/d) > 90 (m<sup>3</sup>/d).

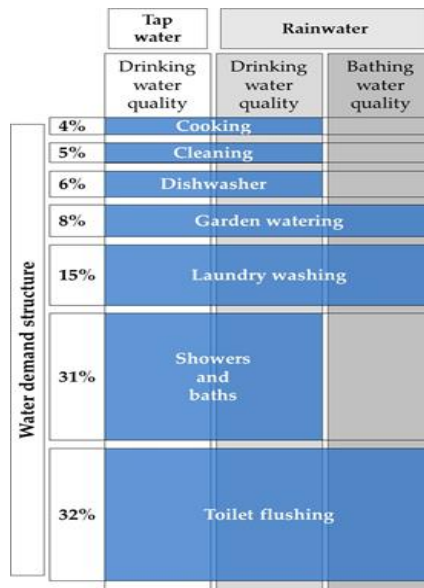
## 4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΜΒΡΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΠΡΟΣ ΠΟΣΗ

---

### 4.1 Χρήσεις και ρύπανση ομβρίων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ένα τυπικό σύστημα RWH αποτελείται από τη συγκέντρωση, τη συλλογή και την αποθήκευση όμβριων υδάτων για χρήση επί τόπου. Το νερό της βροχής μπορεί να συλλεχθεί από αδιαπέρατες επιφάνειες όπως στέγες πεζοδρόμια, δρόμους, βεράντες, ή αυλές. Το νερό αποθηκεύεται σε υπέργειες ή υπόγειες δεξαμενές με χωρητικότητες σχεδιασμένες σύμφωνα με τη ζήτηση νερού. Οι κλειστές δεξαμενές ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο μόλυνσης από το περιβάλλον, τους ανθρώπους ή τα ζώα, εμποδίζουν την ανάπτυξη φυκιών και μειώνουν την αναπαραγωγή κουνουπιών. Ένα σύστημα υδρορροών, σωλήνων καθόδου, εκτροπέων έκπλυσης, φίλτρων και φίλτρων παρέχουν την απορροή στη δεξαμενή κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης.

Στα νοικοκυριά, το νερό της βροχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το ξέπλυμα της τουαλέτας, το πλύσιμο, το πότισμα, τον καθαρισμό, το πλύσιμο αυτοκινήτων και άλλα. Το νερό της βροχής που πληρεί την ποιότητα του πόσιμου νερού μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως το νερό της βρύσης στα νοικοκυριά. Το νερό της βροχής ποιότητας νερού κολύμβησης είναι κατάλληλο για πλύσιμο ρούχων, ξέπλυμα τουαλέτας, πότισμα κήπου και πλύσιμο αυτοκινήτων ή άλλες δραστηριότητες καθαρισμού. Η δομή της ζήτησης νερού δείχνει ότι έως και το 60% του νερού οικιακής χρήσης μπορεί να αντικατασταθεί με όμβρια ύδατα ποιότητας νερού κολύμβησης χωρίς καμία ταλαιπωρία για τους κατοίκους. Τα ρούχα καταναλώνουν περίπου το 15% της συνολικής ζήτησης οικιακού νερού και η αντικατάσταση του σκληρού νερού της βρύσης με μαλακό νερό της βροχής είναι περιβαλλοντικά επωφελής. Το νερό της βροχής έχει πολύ χαμηλή σκληρότητα που εμποδίζει τα άλατα στα πλυντήρια ρούχων και μειώνει την κατανάλωση απορρυπαντικού. Αυτό αυξάνει τη διάρκεια ζωής των πλυντηρίων ρούχων και η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση παραμένει σταθερή για χρόνια. Λιγότερο απορρυπαντικό σημαίνει λιγότερη ρύπανση τόσο της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων όσο και του περιβάλλοντος και λιγότερα υπολείμματα απορρυπαντικού στα ρούχα, κάτι που είναι ιδιαίτερα ευεργετικό για όσους υποφέρουν από αλλεργίες. Είναι πολύ βολικό να χρησιμοποιείται το βρόχινο νερό σε αυτόματα πλυντήρια καθώς σε έναν μέσο κύκλο το πλυντήριο καταναλώνει 30 έως 90 L. Το αυτόματο πλύσιμο δεν απαιτεί ποιότητα πόσιμου νερού αλλά φυσικοχημικά και μικροβιολογικά πρότυπα του νερού κολύμβησης. Η χρήση βρόχινου νερού αντί νερού βρύσης θα πρέπει να παρέχει στους χρήστες καλή ποιότητα. Η δυσάρεστη οσμή ή χρώμα και τα υπολείμματα σε καθαρισμένα και πλυμένα αντικείμενα θα αποθάρρυνε τους χρήστες από τη χρήση του βρόχινου νερού [Morales-Pinzón, 2014]. Το Σχήμα 25 περιγράφει τι ποσοστό του καταναλισκόμενου νερού αναλογεί σε κάθε επιμέρους οικιακή χρήση καθώς και την ποιότητα την οποία αυτό πρέπει να έχει αντιστοίχως.

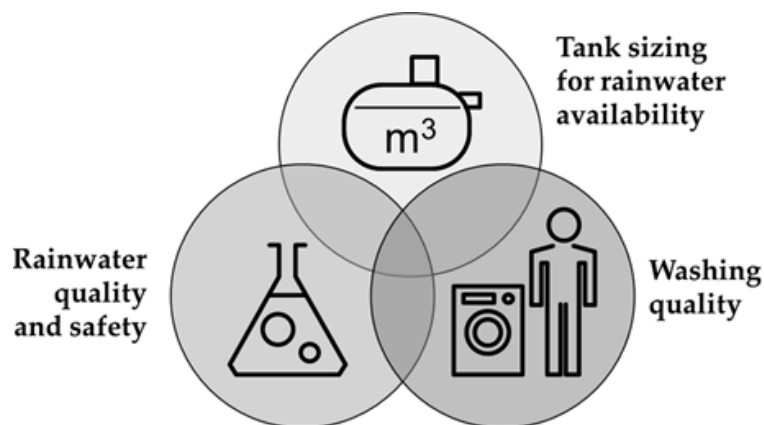


Σχήμα 25: Χρήσεις και επιτρεπόμενη ποιότητας νερού στις οικιακές ανάγκες

[The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019]

Στο Σχήμα 26 παρουσιάζονται οι τρεις ομάδες παραγόντων που χρησιμοποιούνται ώστε να καθοριστούν οι απαιτήσεις για το συλλεγόμενο νερό της βροχής για σκοπούς πλύσης.

- ο κατάλληλο μέγεθος δεξαμενής
- ο ποιότητα και ασφάλεια του συσσωρευμένου βρόχινου νερού
- ο ποιότητα πλύσης με βάση το αποτέλεσμα και την ικανοποίηση των χρηστών



Σχήμα 26: Οι τρεις παράγοντες καταλληλότητας αποθηκευμένου βρόχινου νερού για σκοπούς πλύσης.

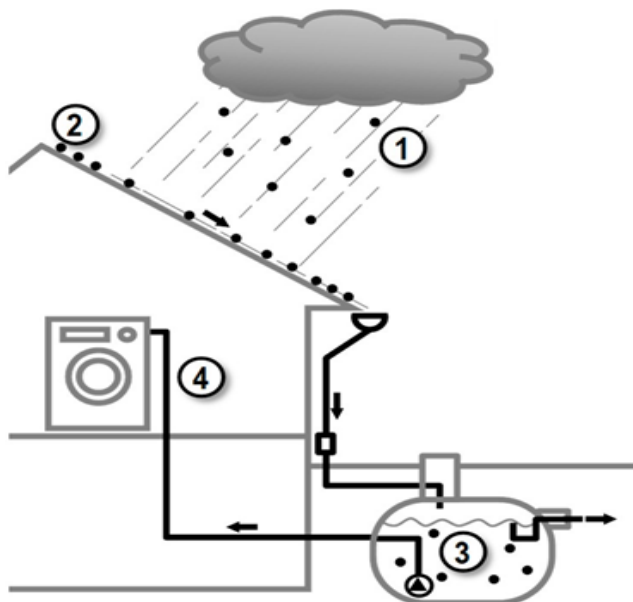
[The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019]

Η ποιότητα και η ρύπανση του συλλεγόμενου βρόχινου νερού εξαρτάται:

1. από το περιβάλλον
2. τη θέση
3. την επιφάνεια συλλογής
4. σύστημα RWH

[Lee J.Y, Yang J.S, Han. M, Choi J, 2010]

Για τους σκοπούς αυτής της ανάλυσης έχουν εντοπιστεί τρεις περιοχές μόλυνσης των ομβρίων υδάτων Σχήμα 27. Στην πρώτη το νερό της βροχής μολύνεται από την αφομοίωση των ατμοσφαιρικών ρύπων στο δεύτερο ξεπλένει τη βρομιά από την οροφή και στο τρίτο οι αλλαγές συμβαίνουν κατά την αποθήκευση του βρόχινου νερού στη δεξαμενή. Ο συνδυασμός αλλαγών στην ποιότητα του νερού της βροχής σε αυτές τις τρεις περιοχές επηρεάζει την ποιότητα του νερού στο σημείο χρήσης.



Σχήμα 27: Σχηματική αναπαράσταση συλλογής βρόχινου και περιοχές μόλυνσης.

[The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019].

Το επίπεδο της ρύπανσης των υδάτων στην πρώτη περιοχή επηρεάζεται από την τοπική ατμοσφαιρική ρύπανση και την εποχή του χρόνου. Είναι μια περιοχή ανεξάρτητη από το σύστημα RWH και θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως χαρακτηριστικό της γεωγραφικής θέσης της περιοχής μελέτης. Στη δεύτερη περιοχή, η απορροή αφομοιώνει όλη τη ρύπανση που υπάρχει στην οροφή, συμπεριλαμβανομένης της βροχόπτωσης (δηλαδή, της υγρής εναπόθεσης), της ατμοσφαιρικής εναπόθεσης (δηλαδή, της ξηρής εναπόθεσης) και των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή της οροφής. Στις αστικές περιοχές, οι στέγες είναι μολυσμένες με βρομιά που φυσάει ο αέρας, συμπεριλαμβανομένης της βαριάς μέταλλα και ντριάδες, λειχήνες και βρύα, μύκητες, περιττώματα από πουλιά και άλλα ζώα, έντομα και απορρίμματα ή πεσμένη οργανική ύλη από τα γύρω δέντρα μολύνουν το νερό. Οι μεταλλικές στέγες είναι κατάλληλες για υψηλής ποιότητας συγκομιζόμενο νερό της βροχής, η υψηλή



θερμοκρασία και το υπεριώδες φως απολυμαίνουν αποτελεσματικά και φυσικά την επιφάνεια της ταράτσας. Για να διατηρηθεί η υψηλή ποιότητα του συλλεγόμενου νερού της βροχής απαιτείται τακτικός καθαρισμός των λεκανών απορροής και των δεξαμενών αποθήκευσης. [Sanchez A.S, Cohim, E.; Kalid, 2015].

## **4.2 Πειραματικά δεδομένα ποιότητας νερού συλλογή ομβρίων**

### **4.2.1 Δεδομένα πειραματικής μελέτης (Podlaskie, Poland )**

Εν συνεχεία παρουσιάζεται μια πειραματική μελέτη που έγινε σε μια ιδιαίτερα καθαρή περιοχή της Ευρώπης και πιο συγκεκριμένα στην Πολωνία.

Οι αναλύσεις διεξήχθησαν το 2017 (Αύγουστος-Νοέμβριος) χρησιμοποιώντας τυπικό RWH σε μονοκατοικία που βρίσκεται στα προάστια του Bialystok, μια πόλη με πληθυσμό 300.000 κατοίκων, υψωμένο 160 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Το σύστημα RWH είναι κατασκευασμένο από υδρορροές PVC, υπόγεια δεξαμενή πολυαιθυλενίου με όγκο 1,7 m<sup>3</sup> και αυτόματη αντλία με πλωτό εξολκέα. Για την παροχή της καθαρής απορροής στη δεξαμενή χρησιμοποιήθηκαν σήτες κορυφής υδρορροής, κεκλιμένη σήτα απορριμμάτων και εκτροπέας πρώτης έκπλυσης. Ερμητικά κλειστή υπόγεια δεξαμενή πολυαιθυλενίου, καλυμμένη με χώμα 50 cm, προστατεύει το νερό από δευτερογενή μόλυνση, εξαλείφει τη λειτουργία του ηλιακού φωτός και σταθεροποιεί τη θερμοκρασία αποθήκευσης. Σκοπός της μελέτης ήταν η ανάλυση των αλλαγών στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του RWH βρόχινου νερού για πλύσιμο που συλλέγεται από κεραμικές στέγες. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με αυξημένο χρόνο κατακράτησης νερού (αμέσως μετά τις βροχοπτώσεις και 10, 20, 30 ημέρες μετά τη βροχόπτωση). Τα αποτελέσματα της φυσικοχημικής ανάλυσης του βρόχινου νερού παρουσιάζονται παρακάτω [The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019].

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκέντρωση όλων των παραμέτρων που αναλύθηκαν ήταν χαμηλότερη από αυτή που καθορίζεται στα πολωνικά πρότυπα και τους παγκόσμιους κανονισμούς. Η μόνη εξαίρεση ήταν η θολότητα του νερού που ήταν ελαφρώς υψηλότερη από την απαιτούμενη για το πόσιμο νερό (1 NTU). Η θολότητα του νερού που προσδιορίστηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος ήταν αποδεκτή για σκοπούς πλύσης [World Health Organization, 2017, Council directive. Drinking Water Directive, 1998].

Το πιο σημαντικό στοιχείο σε ένα σύστημα συλλογής βρόχινου νερού είναι ο σωστός σχεδιασμός. Επιπρόσθετη θετική επίδραση στην ποιότητα του νερού είναι η θέση του συστήματος σχετικά με το πόσο καθαρή περιοχή μπορεί να θεωρηθεί [Al-Batsh N, 2019].

### **4.2.2 Φυσικοχημικά και υγειονομικά αποτελέσματα πειραματικής μελέτης (Podlaskie, Poland )**

Στους Πίνακες 3 και 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής μελέτης στο Podlaskie, Poland για αποθήκευση του βρόχινου νερού δέκα, είκοσι, τριάντα ημερών.

Πίνακας 3: Χημικοσυνθετικής φύσης Αποτελέσματα πειραματικής μελέτης Podlaskie, Poland.  
[The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019]

Parameter	Unit	After ... Days				DWS [38]	WHO [39]	DWD [29]	BWD [30]
		0	10	20	30				
Water temperature each time it was sampled	°C	13.0	13.5	12.3	11.8	-	-	-	-
pH	-	6.60	7.58	8.26	7.61	6.5-9.5	6.5-8.5	6.5-9.5	-
Alkalinity	mg·dm <sup>-3</sup>	0.50	0.70	0.80	0.30	-	-	-	-
Hardness	mg·dm <sup>-3</sup>	28.02	22.16	20.02	21.60	60.0-500.0	-	-	-
Conductivity at 25 °C	μS·cm <sup>-1</sup>	72.40	50.00	34.40	35.16	2500.0	2000.0	2500.0 at 20 °C	-
Turbidity	NTU	2.40	3.00	2.25	2.10	1.0	5.0	acceptable	-
Colour	Pt-Co	30.00	36.00	25.00	27.00	acceptable	-	acceptable	-
Total dissolved solids (TDS)	mg·dm <sup>-3</sup>	31.00	56.00	61.00	45.00	-	500.0	-	-
Total suspended solids (TSS)	mg·dm <sup>-3</sup>	10.00	10.00	10.00	21.00	-	-	-	-
Dissolved oxygen (DO)	mg·dm <sup>-3</sup>	3.10	4.96	3.60	4.41	-	-	-	-
Biological Oxygen Demand (BOD <sub>5</sub> )	mg·dm <sup>-3</sup>	5.00	4.00	5.00	6.00	-	-	-	-
Chemical Oxygen Demand (COD)	mg·dm <sup>-3</sup>	29.00	38.00	36.00	22.00	-	-	-	-
Oxidizable (KMnO <sub>4</sub> )	mg·dm <sup>-3</sup>	2.50	2.40	2.80	2.10	5.0	-	5.0	-
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg·dm <sup>-3</sup>	3.00	5.00	2.00	4.40	250.0	-	250.0	-
Total Kjeldahl nitrogen (TKN)	mg·dm <sup>-3</sup>	1.31	1.28	2.23	1.19	-	-	-	-
Total phosphorous (P)	mg·dm <sup>-3</sup>	2.10	2.80	2.60	1.90	-	-	-	-
Phosphates (PO <sub>4</sub> -P)	mg·dm <sup>-3</sup>	1.41	1.54	2.24	0.90	-	-	-	-
Ammoniacal-nitrogen (NH <sub>3</sub> -N)	mg·dm <sup>-3</sup>	0.41	0.42	0.26	0.38	-	-	-	-
Nitrate-nitrogen (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N)	mg·dm <sup>-3</sup>	1.71	2.40	2.00	1.90	50.0	-	50.0	-

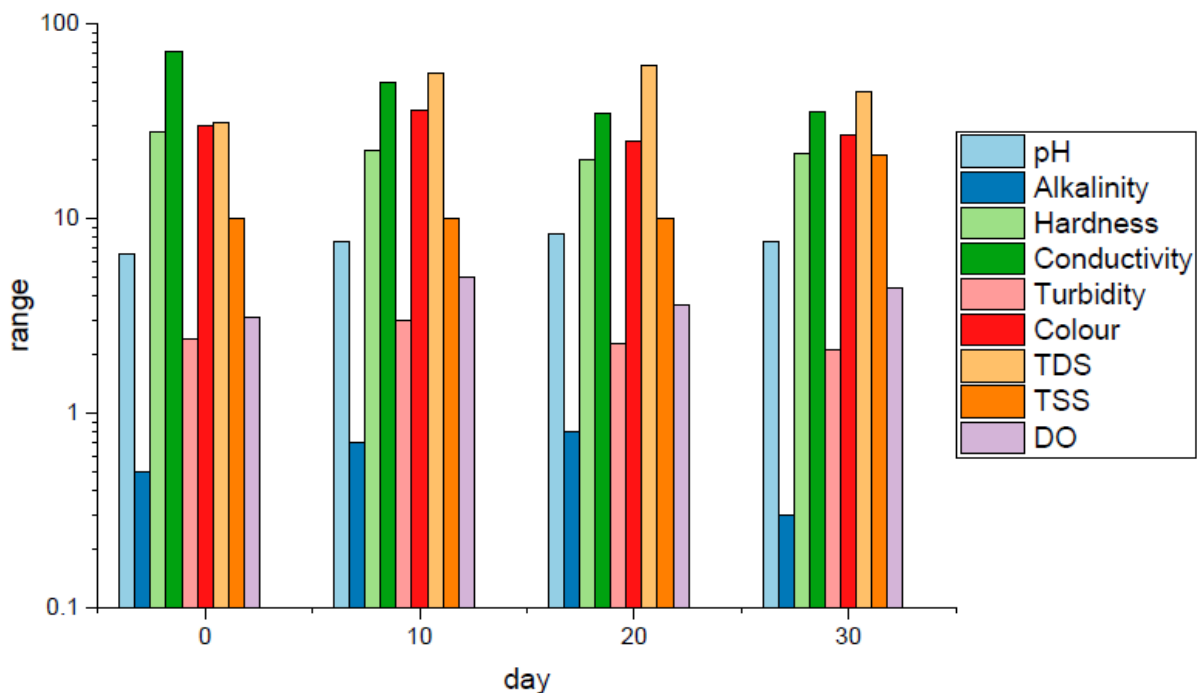
Πίνακας 4: Φυσικοχημικής φύσης Αποτελέσματα πειραματικής μελέτης Podlaskie, Poland.  
[The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019]

Parameter	Unit	After ... Days				DWS [38]	WHO [39]	DWD [29]	BWD [30]
		0	10	20	30				
Nitrite-nitrogen (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N)	mg·dm <sup>-3</sup>	0.00	0.01	0.02	0.01	0.5	-	0.5	-
Chloride (Cl <sup>-</sup> )	mg·dm <sup>-3</sup>	2.00	1.00	1.00	1.00	250.0	250.0	250.0	-
Cadmium (Cd)	μg·dm <sup>-3</sup>	0.00	0.02	0.02	0.01	5.0	-	5.0	-
Calcium (Ca)	mg·dm <sup>-3</sup>	4.2442	4.2810	3.5006	3.6801	-	-	-	-
Chromium (Cr)	μg·dm <sup>-3</sup>	0.0198	0.0221	0.0290	0.0271	50.0	-	50.0	-
Copper (Cu)	mg·dm <sup>-3</sup>	0.0126	0.0063	0.0151	0.0583	2.0	-	2.0	-
Iron (Fe)	μg·dm <sup>-3</sup>	0.1405	0.1215	0.1488	0.1533	200.0	-	200.0	-
Lead (Pb)	μg·dm <sup>-3</sup>	0.0306	0.0295	0.0281	0.0297	10.0	-	10.0	-
Magnesium (Mg)	mg·dm <sup>-3</sup>	0.0925	0.1311	0.0802	0.1103	30.0-125.0	-	-	-
Manganese (Mn)	μg·dm <sup>-3</sup>	0.0023	0.0002	0.0006	0.0017	50.0	-	50.0	-
Nickel (Ni)	μg·dm <sup>-3</sup>	0.0415	0.0341	0.0414	0.0366	20.0	-	20.0	-
Potassium (K)	μg·dm <sup>-3</sup>	1.8386	2.0873	1.2937	1.8953	-	-	-	-
Zinc (Zn)	μg·dm <sup>-3</sup>	0.0557	0.0138	0.0306	0.0432	-	-	-	-

Παρατηρείται από τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων βρόχινου νερού: αμέσως μετά τη βροχόπτωση και 10, 20, 30 ημέρες αργότερα όπως παρουσιάζονται και στα Σχήματα 28, 29 και 30. Οι τιμές pH του βρόχινου νερού κυμαίνονταν από 6,6 έως 8,26 με μέση τιμή 7,51. Επιπλέον, η μέση τιμή αγωγιμότητας για το αναλυόμενο βρόχινο νερό (47,99 μS·cm<sup>-1</sup>) ήταν οκτώ φορές χαμηλότερη από τη μέση τιμή (389 μS·cm<sup>-1</sup>) που σημειώθηκε στο νερό της βροχής από το Yatta [Al-Khatib,2019]. Αυτό επιβεβαιώνει την καλή ποιότητα του βρόχινου νερού σε μια από τις καθαρότερες περιοχές της Ευρώπης. Μια άλλη παράμετρος που επιβεβαιώνει αυτή τη δήλωση είναι η συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS). Η υψηλότερη τιμή των συνολικών διαλυμένων στερεών που μετρήθηκε στο αναλυόμενο βρόχινο νερό ήταν 61 mg·dm<sup>-3</sup> ενώ τα βιβλιογραφικά δεδομένα

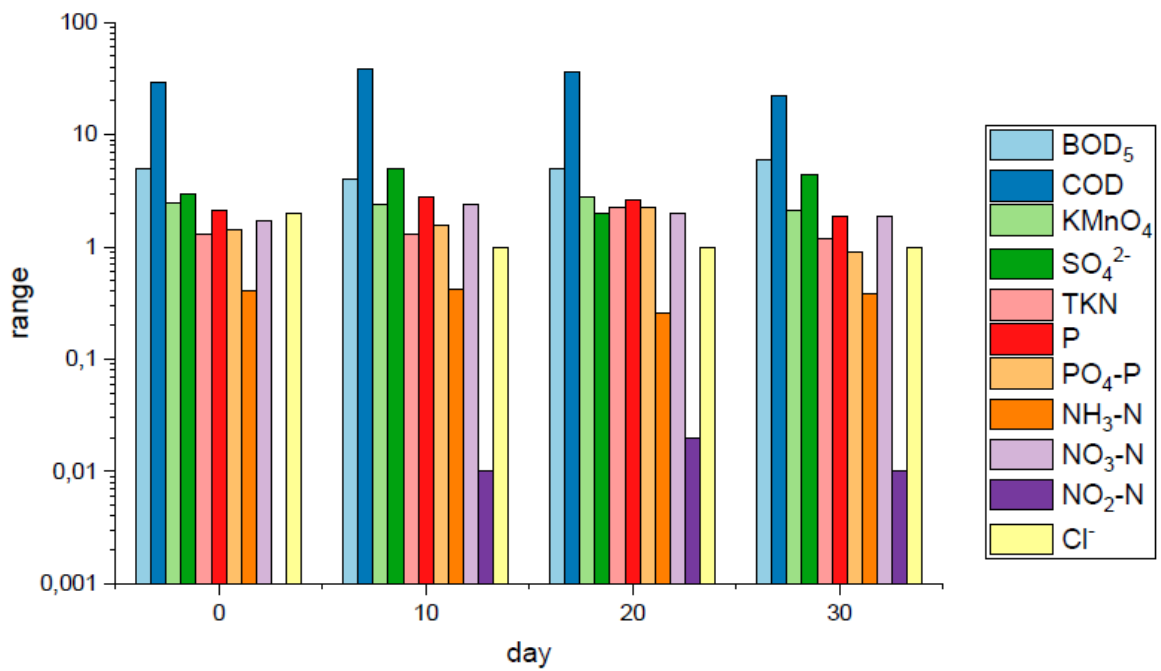
[Al-Khatib,2019] δίνουν τιμές περισσότερες από πέντε φορές υψηλότερες. Παρόμοια ακρίβεια παρατηρήθηκε και για τις υπόλοιπες εξεταζόμενες παραμέτρους όπως: χλώριο, αμμωνία κ.λπ., οι οποίες ήταν πολλές φορές χαμηλότερες στο εξεταζόμενο βρόχινο νερό από τις αναφορές της βιβλιογραφίας [Al-Khatib,2019]. Η παρουσία μολύβδου στο νερό της βροχής ωφείλεται στη χημική επεξεργασία δεξαμενών ή χρωμάτων (έως και 58%), εναπόθεση στην ατμόσφαιρα (21%) και υδραυλικά (16%). Παρατηρείται ότι μετά από μια περίοδο σταθεροποίησης το αποθηκευμένο νερό της βροχής γίνεται σημαντικά πιο καθαρό, και αυτό αντικατοπτρίζεται σε πολλά από τα αποτελέσματα [The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019].

Το νερό της βροχής που ρέει από την οροφή καθαρίζεται σε μηχανικά φίλτρα. Τα αιωρήματα (κυρίως βαρύτερα από το νερό) καθιζάνουν και κατακάθονται στον πυθμένα της δεξαμενής, και μερικά (ελαφρύτερα από το νερό) επιπλέουν στην επιφάνεια. Ωστόσο, η σταθερή θερμοκρασία στο έδαφος (περίπου 8–10 °C) και η έλλειψη πρόσβασης στο ηλιακό φως αναστέλλουν σημαντικά τις βιολογικές διεργασίες, με αποτέλεσμα το νερό της βροχής στη δεξαμενή να παραμένει άοσμο, άχρωμο και θολό για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η υπερχειλίση της δεξαμενής προκαλεί την απομάκρυνση των αναρτήσεων από τη δεξαμενή, οξυγονώνοντας ταυτόχρονα το νερό και διασφαλίζοντας την υψηλή διαύγειά του [The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019]. Εν συνεχεία παρουσιάζονται επιπλέον αποτελέσματα της πειραματικής μελέτης.



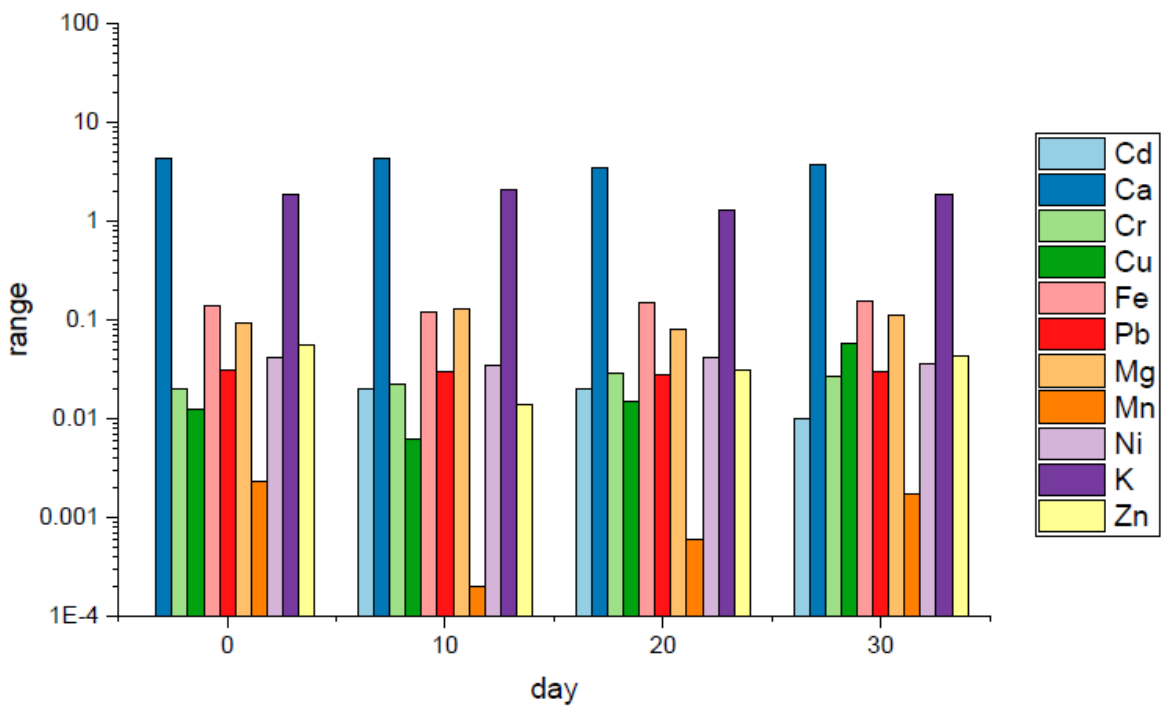
Σχήμα 28: Ιστογράμμο αποτελεσμάτων φυσικοχημικής φύσης πειραματικής μελέτης Podlaskie, Poland.

[The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019]



Σχήμα 29: Ιστόγραμμα αποτελεσμάτων φυσικοχημικής φύσης πειραματικής μελέτης Podlaskie, Poland.

[The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019]



Σχήμα 30: Ιστόγραμμα αποτελεσμάτων φυσικοχημικής φύσης πειραματικής μελέτης Podlaskie, Poland.

[The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019]

Η αύξηση του pH του αποθηκευμένου βρόχινου νερού θα μπορούσε να οφείλεται στην αλκαλική φύση των υλικών στέγης (τσιμεντοκεραμική στέγη). Η αύξηση του pH δεν μπορούσε να προκληθεί από το υλικό από το οποίο κατασκευάστηκε η δεξαμενή αποθήκευσης, όπως αναφέρει η βιβλιογραφία, καθώς στη μελέτη χρησιμοποιήθηκε δεξαμενή πολυαιθυλενίου [Al-Khatib,2019].

Τα φυσικά χαρακτηριστικά του βρόχινου νερού σε όλα τα δείγματα που αναλύθηκαν ως χρώμα και θερμοκρασία ήταν αποδεκτά. Ωστόσο, η θολότητα βρέθηκε να είναι δύο έως τρεις φορές υψηλότερη από τη συνιστώμενη στο DWS [World Health Organization, 2017]. Αυτή η ρύπανση μπορεί να προκλήθηκε από τη σκόνη που καθίζανε στην ταράτσα κατά την κυκλοφορία των κατοίκων του κτήματος. Οι δρόμοι στο υπό έρευνα οικιστικό συγκρότημα δεν ήταν ακόμη ασφαλτοστρωμένοι. Μεταξύ των βροχοπτώσεων στην περιοχή που ερευνήθηκε, οι στέγες καλύφθηκαν με χαρακτηριστική σκόνη. Επιπλέον, αυτή η σκόνη δημιουργείται ως αποτέλεσμα πολυάριθμων εργασιών κατασκευής και φινιρίσματος στο οικιστικό συγκρότημα [The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019].

Στα δείγματα βρόχινου νερού που αναλύθηκαν η συγκέντρωση των χλωριδίων ήταν πολύ χαμηλή από 1 έως 2 mg/L. Κανένα από τα δείγματα δεν περιείχε χλωρίδια που υπερβαίνουν τα πρότυπα DWS [World Health Organization, 2017]. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, συγκεντρώσεις χλωριδίων που υπερβαίνουν τα 250 mg·dm<sup>-3</sup> προκαλούν αλμυρή γεύση του νερού και μπορεί να οδηγήσουν σε φυσιολογική βλάβη [Al-Khatib,2019]. Τα αποτελέσματα των μελετών αποκλείουν την πιθανότητα των προαναφερθέντων προβλημάτων.

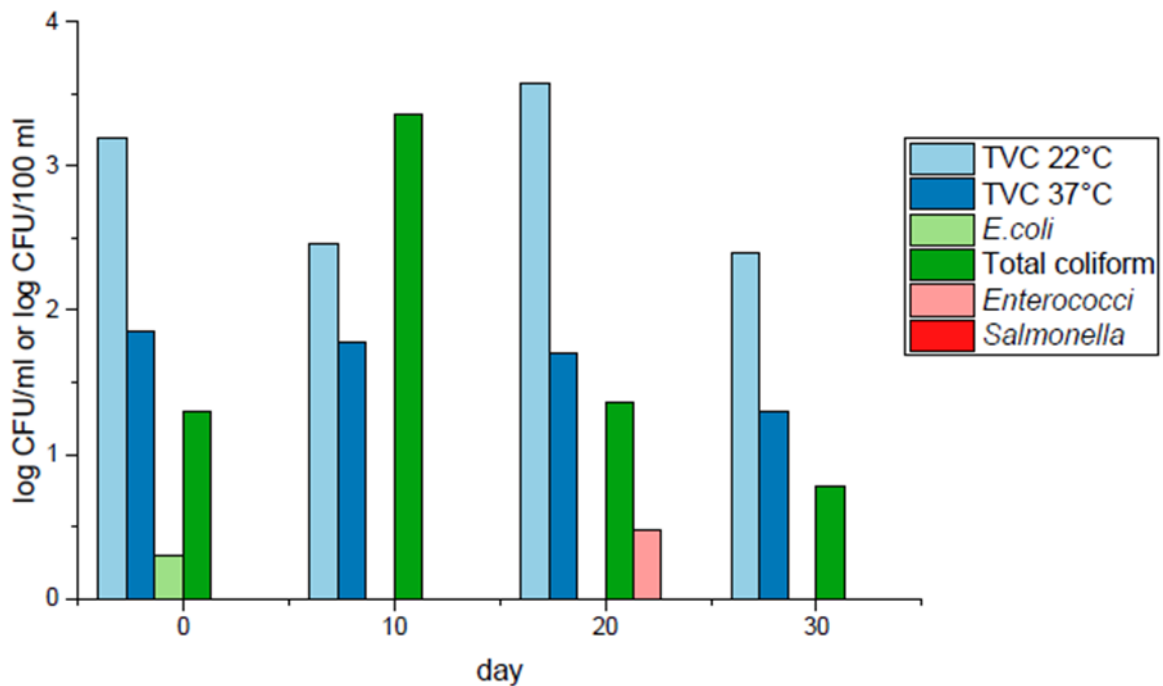
Σχετικά με το υγειονομικής φύσης αποτελέσματα της παρούσας μελέτης Πίνακας 6, Σχήμα 31, το νερό που αποθηκεύτηκε στο σύστημα RWH, αντιστοιχούσε στην ποιότητα του νερού κολύμβησης και ήταν εξαιρετικής ποιότητας. Κανένα από τα δείγματα βρόχινου νερού που συγκομίστηκαν δεν έδειξε την παρουσία σαλμονέλας. Μόνο σε ένα δείγμα *E. coli* ή *Enterococcus* ανιχνεύθηκαν σε πολύ χαμηλούς αριθμούς, αλλά από την άλλη, ανιχνεύθηκαν ολικά κολοβακτηρίδια σε κάθε δείγμα που ερευνήθηκε. Ο αριθμός των συνολικών κολοβακτηριδίων κυμαινόταν από 6 έως 2300 (CFU/100 mL) με πτωτική τάση κατά τη διάρκεια της μελέτης. Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα μόλυνσης των ολικών κολοβακτηριδίων, *E. coli* ή *Enterococcus* να προκλήθηκε από περιττώματα πτηνών ή ζώων. Στην περίπτωση της κατακράτησης του νερού της βροχής, αξίζει να εξεταστεί το ενδεχόμενο εισαγωγής απολύμανσης, π.χ. με λαμπτήρες UV για τη βελτίωση της υγειονομικής ασφάλειας του νερού [The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019].

Πίνακας 5: Αποτελέσματα υγειονομικής φύσης Podlaskie, Poland.

[The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 2019]

Indicator	Unit	After ... Days				DWD [29]	BWD [30]
		0	10	20	30		
TVC 22 °C	CFU/mL	1.6 × 10 <sup>3</sup>	2.9 × 10 <sup>2</sup>	3.8 × 10 <sup>3</sup>	2.5 × 10 <sup>2</sup>	100	-
TVC 37 °C	CFU/mL	7.0 × 10 <sup>1</sup>	6.0 × 10 <sup>1</sup>	5.0 × 10 <sup>1</sup>	2.0 × 10 <sup>1</sup>	20	-
<i>E. coli</i>	CFU/100 mL	2.0 × 10 <sup>0</sup>	0	0	0	0	500 excellent quality *
Total coliform	CFU/100 mL	2.0 × 10 <sup>1</sup>	2.3 × 10 <sup>3</sup>	2.3 × 10 <sup>1</sup>	6.0 × 10 <sup>0</sup>	-	-
<i>Enterococci</i>	CFU/100 mL	0	0	3.0 × 10 <sup>0</sup>	0	0	200 excellent quality *
<i>Salmonella</i>	CFU/100 mL	0	0	0	0	-	-

\* Based on the 95th percentile.



Σχήμα 31: Ιστόγραμμα αποτελεσμάτων υγειονομικής φύσης πειραματικής μελέτης Podlaskie, Poland.

[The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes, 20]

## 4.1 Επεξεργασία νερού στον οικισμό Αρμάθια Η. Ν. Κάσου

### 4.1.1 Γενικά στοιχεία επίδρασης ποιότητάς όμβριου νερού στον οικισμό

Στην περιοχή μελέτης του νοτιοανατολικού Αιγαίου όπου βρίσκεται το μη διασυνδεδεμένο νησί Αρμάθια δεν υπάρχει εργοστασιακή δραστηριότητα σε ακτινική απόσταση πολλών χιλιομέτρων, επίσης το κοντινότερο νησί της περιοχής είναι η Η. Ν. Κάσος με μόνιμο αριθμό κατοίκων γύρω στους 500 το χειμώνα και 4000 χιλιάδες το καλοκαίρι . Οι κατοικίες που σχηματίζονται είναι μικρών χωρίων επομένως δεν υπάρχει το ρυπογόνο αστικό περιβάλλον. Επίσης το θαλάσσιο περιβάλλον βελτιώνει τα χαρακτηριστικά ποιότητας του βρόχινου νερού.

Μετά το πέρας λειτουργίας του οικισμού οι επιφάνειες συλλογής (στέγες, πεζοδρόμια, δρόμοι) για τις καλύτερες προδιαγραφές του περισυλλεγμένου όμβριου νερού. Σε όλες τις συλλογής υπάρχουν σίτες και φίλτρα για την ελαχιστοποίηση της φόρτισης του αποθηκευμένου νερού. Επιπλέον σύστημα εκτροπής πρώτου όγκου βροχής έχει προβλεφθεί ώστε να ξεπλυθούν οι ξηραμένες και γεμάτες σκόνη επιφάνειες. Ένα ζήτημα αποτελεί η αποθήκευση του νερού για μέγιστο διάστημα εννέα μηνών. Δεν έχει όλος ο όγκος του περισυλλεγμένου νερού χρόνο αποθήκευσης τους εννέα μήνες αλλά μόνο οι πρώτες βροχές που πρόκειται να αποθηκευτούν. Για το λόγο αυτό η συντήρηση του νερού πρέπει να επιμεληθεί με προσοχή ώστε το νερό να είναι έτοιμο την περίοδο λειτουργίας του οικισμού. Υπάρχουν δυο ενδεχόμενα σχετικά με το υδραυλικό δίκτυο διανομής του νερού μετά την επεξεργασία του είτε αυτό να είναι χωρισμένο

σε δύο δίκτυα ποιότητας πόσιμου και νερού κολύμβησης, είτε να υπάρχει ένα ενιαίο δίκτυο. Στην πρώτη περίπτωση που υπάρχουν ξεχωριστά δίκτυα διανομής το νερό στις δεξαμενές αποθήκευσης μπορεί να επεξεργάζεται με ανάλογο τρόπο ώστε να πληροί μόνο ένας συγκεκριμένος όγκος νερού τις προϋποθέσεις για πόση και αντίστοιχα ένας άλλος όγκος τις προϋποθέσεις νερού κολύμβησης για τις υπόλοιπες χρήσεις. Στη περίπτωση του ενιαίου δικτύου περιοριστικός παράγοντας της ποιότητας νερού αποτελεί η πόση οπότε στις δεξαμενές αποθήκευσης το νερό επεξεργάζεται ώστε να πληροί τις προϋπόθεσης του πόσιμου για όλες τις χρήσεις.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματά της μελέτης το βρόχινο νερό αποθηκευμένο για ένα μήνα, χωρίς καμία προσθήκη βελτιστοποίησης ποιότητας, με τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν πληρούσε όλα τα κριτήρια νερού κολύμβησης με αυξημένες παραμέτρους τη θολότητα λόγω του υπόγειου χαρακτήρα της δεξαμενής και της έλλειψη της ηλιακής ακτινοβολίας, επίσης του μικρού ποσοστού εμφάνισης E.coli. Η ποιότητα του βρόχινου νερού στην περιοχή μελέτης του οικισμού μπορεί να θεωρηθεί ανώτερων προδιαγραφών σε σχέση με την ποιότητα το βρόχινου νερού της περιοχής Podlaskie, Poland. Για την διασφάλιση της ποιότητας του νερού στις δεξαμενές αποθήκευσης υλοποιήθηκαν μια σειρά τεχνικών συντηρήσεις και βελτιστοποίησης της ποιότητας του κατά το χρονικό διάστημα αποθήκευσης.

#### **4.1.2 Τεχνικές συντήρησης και βελτιστοποίησης ποιότητας αποθηκευμένου όμβριου νερού**

Ο συνολικός ωφέλιμος όγκος δεξαμενής αποθήκευσης σύμφωνα με το υπολογιστικό μοντέλο συλλογής ομβρίων υπολογίστηκε  $V_{\text{tank}}=1270 \text{ m}^3$ , Αποφασίστηκε η κατασκευή τέσσερων (4) όμοιων δεξαμενών από α=οπλισμένο σκυρόδεμα, χωριτικότητα ωφέλιμου όγκου  $V_{\text{SF,tank}(1,2,3,4)}=318 \text{ m}^3$ . Επομένως έκαστη έχει διαστάσεις  $7 \times 7 \times 7.2 \text{ m}$  και κατασκευαστικό όγκο  $V_{\text{SF,str,tank}}=353 \text{ m}^3$ .

Με τη διαίρεση του συνολικού όγκο σε τέσσερις μικρότερες δεξαμενές και για το μεγάλο χρονικό διάστημα αποθήκευσης επιτυγχάνεται η καθίζηση των σωματιδίων εντός αυτών και η περισυλλογή υλίου από τον κατάλληλα διαμορφωμένο πυθμένα των δεξαμενών. Η βελτίωση της ποιότητας του νερού μετά πό κάποιο χρονικό διάστημα σποθήκευσης παρατηρήθηκε και στη πειραματική μελετη στο Podlaskie, Poland. Επομένως οι δεξαμενές αποθήκευσης σχεδιάζονται με τις προδιαγραφές δεξαμενών καθίζησης. Επιπλέον για την διασφάλιση χαμηλών θερμοκρασιών του νερού θα έχουν υπόγειο χαρακτήρα. Τέλος θα είναι κλειστής ανοιγόμενης οροφής, κατά κύριο λόγο η οροφή τους θα είναι κλειστή και θα ανοίγεται για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να λειτουργεί μονό απολυμαίνοντας το νερό και διασφαλίζοντας τα επίπεδα θολότητας οσμής και χρώματος.

Για την απολεσματικότητα της καθίζησης προτείνεται η χρήση πολυηλεκρολυτών καθώς και κροκιδωτικών αν κρίνεται αναγκαίο. Η συντήρηση του αποθηκευμένου νερού των δεξαμενών επιτυγχάνεται με σύστημα φουσητήρα κατάλληλα προσαρμοσμένο στις δεξαμενές, ώστε ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να επιτυγχάνεται οξυγόνωση της δεξαμενής και οι διεργασίες τις οξειδωσης. Στην εκάστοτε δεξαμενή θα προστίθεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα ελεγχόμενη ποσότητα χλωρίου για την υγειονομική διασφάλιση της ποιότητας του νερού. Εξαιτίας του υλικού κατασκευής (σκυρόδεμα) των δεξαμενών, συνίσταται η διόρθωση του Ph, λόγω της πιθανής αλκαλικότητας του. Τέλος πιθανός θα ήταν και ο εμπλουτισμός του βρόχινου νερού με ιχνοστοιχεία αν αυτό δεν πληροί τις προδιαγραφές. Οι διαδικασίες που περιγράφηκαν θα πραγματοποιούνται σε αναλλαχτά χρονικά διαστήματα ή και ταυτόχρονα αν αυτό ευνοεί την απολεσματικότητα τους. Επίσης με βάση και την προαναφερθείσα μελέτη στο Podlaskie,

Poland, η επεξεργασία δηλαδή οι χημικές προσθήκες που ενδέχεται να γίνουν όσον αφορά τη διασφάλιση της ποιότητας του νερού δεν ενδέχεται να είναι ήπιες ποσοτικά εφόσον το βρόχινο νερό της περιοχής έχει καλές αρχικές παραμέτρους ήδη.



## 5 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

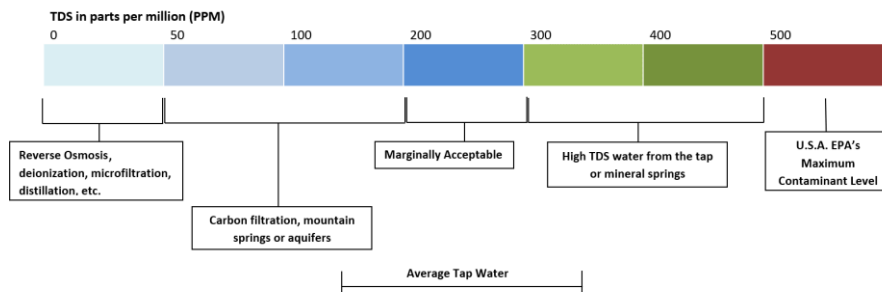
Στη παρούσα ενότητα θα παρουσιαστεί μια μονάδα αφαλάτωσης σε αντιδιαστολή με το σύστημα συλλογή ομβρίων καθώς και ενίσχυσης του ως δικλείδα ασφαλείας για περιπτώσεις μεγάλης ανομβρίας. Τέλος θα υπολογιστεί το προσεγγιστικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργείας της μονάδας αφαλάτωσης.

### 5.1 Περιεκτικότητα του νερού σε στερεές ουσίες

Το νερό που υπάρχει σε οποιαδήποτε μορφή στην επιφάνεια της Γης ή υπογείως πάντα περιέχει διαλυμένες στερεές ουσίες. Αυτό συμβαίνει λόγω της μεγάλης διαλυτικής ικανότητας του νερού. Οι διαλυμένες ουσίες είναι κυρίως άλατα χωρίς όμως να αποκλείεται και η παρουσία άλλων στερεών όπως το διοξείδιο του πυριτίου. Η περιεκτικότητα του νερού σε στερεές ουσίες ονομάζεται TDS (Total Dissolved Solids, συνολικά διαλυμένα στερεά) και μετριέται σε μέρη στο εκατομμύριο (ppm). Σύμφωνα με την περιεκτικότητα TDS το νερό χωρίζεται στις εξής κατηγορίες:

- Πόσιμο νερό με  $TDS < 500$  ppm
- Ελαφρά υφάλμυρο νερό με TDS λίγο υψηλότερο του 500 ppm
- Υφάλμυρο νερό με  $2000 \text{ ppm} < TDS < 10000$  ppm
- Θαλασσινό νερό με  $30000 \text{ ppm} < TDS < 50000$  ppm
- Άλμη (ή Άρμη) με  $TDS > 50000$  ppm

Επίσης παραθέτονται Σχήμα 32 τα εθνικά πρότυπα πόσιμου νερού στις Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής.



Σχήμα 32: The National Secondary Drinking Water Standard for TDS in the United States

[<https://qph.cf2.quoracdn.net>]

Όλες οι θάλασσες δεν έχουν την ίδια περιεκτικότητα σε στερεές ουσίες. Κλειστές θάλασσες με μικρή εξάτμιση λόγω μικρής ηλιοφάνειας και επειδή δέχονται γλυκά νερά ποταμών έχουν χαμηλή περιεκτικότητα TDS. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται η ποσότητα TDS(ppm) θαλασσών και ωκεανών.

Πίνακας 6: Περιεκτικότητα σε στερεές ουσίες TDS θαλασσών και ωκεανών.

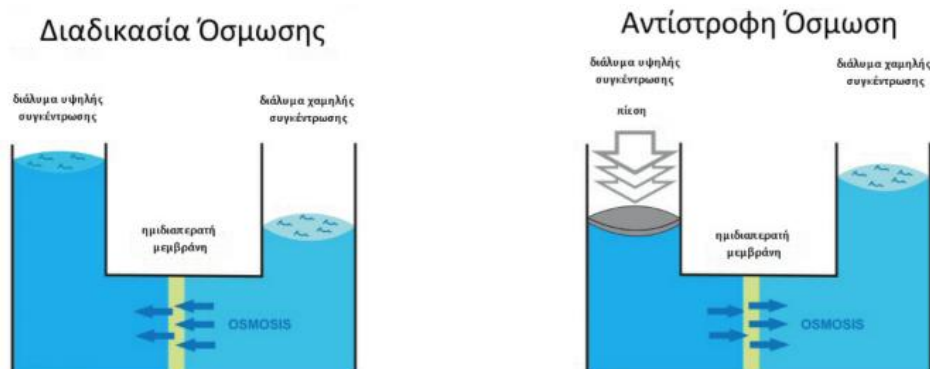
[<https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/>]

Sea or Ocean TDS (ppm)	Sea or Ocean TDS (ppm)
Baltic Sea 7000	Indian Ocean 33,800
Caspian Sea 13,500	Mediterranean near Crete 37,900
Black Sea 20,000	Mediterranean 39,000
White Sea 28,000	Red Sea 43,000
North Atlantic 29,000	Arabian Gulf 50,000
Pacific Ocean 33,600	Australian Shark Bay 70,000
Atlantic South 36,000	Kara Bogas Gulf 164,000
North Atlantic 36,200	(in Caspian Sea)
Adriatic Sea 31,400	Dead Sea 220,000

Από την εικόνα αντλούμε τη τιμή που αναφέρεται στη περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας Mediterranean near Create όπου αντιστοιχεί σε TDS=37900 ppm.

## 5.2 Αντίστροφη ώσμωση (RO)

Με τον όρο αφαλάτωση αναφερόμαστε στη διαδικασία παραγωγής πόσιμου νερού ή νερού για βιομηχανική και αγροτική χρήση από θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι αφαλάτωσης όπως: Πολυβάθμια εκτόνωση (Multiple Stage Flashing, MSF), Πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED), Εξάτμιση με συμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC), Ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation), Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED), Αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis, RO). Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι αυτή της Αντίστροφης ώσμωσης (Reverse Osmosis, RO). Η αντίστροφη ώσμωση είναι μία διαδικασία αφαλάτωσης με την οποία ο διαλύτης ενός διαλύματος, που συνήθως είναι το νερό, μεταφέρεται μέσω κατάλληλης μεμβράνης και διαχωρίζεται από τα άλλα συστατικά του διαλύματος με την άσκηση εξωτερικής πίεσης Σχήμα 33 [ΠΑΣΙΣΗΣ, 2011].



Σχήμα 33: Όσμωση και αντίστροφη ώσμωση.

[<https://www.realwater.gr>]

Στη παραπάνω φωτογραφία απεικονίζεται η διαδικασία της ώσμωσης καθώς και του αντίστροφου φαινομένου δηλαδή της αντίστροφης ώσμωσης. Η εξωτερική πίεση που θα έπρεπε να ασκήσουμε ώστε να σταματήσει το φαινόμενο της ώσμωσης δίνεται από το γνωστό νόμο του van' t Hoff:

$$Q_E^d = q\Pi \quad (5.1)$$

Όπου:

Π: η ωσμωτική πίεση,

C: η συγκέντρωση του διαλύματος,

R: η σταθερά των ιδανικών αερίων,

T: η απόλυτη θερμοκρασία

Η πίεση λειτουργίας μιας εγκατάστασης αντίστροφης ώσμωσης καλείται να υπερνικήσει:

- την ωσμωτική πίεση
- τις απώλειες τριβών
- την αντίσταση των μεμβρανών
- την πίεση εκροής του προϊόντος νερού

Όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση λειτουργίας της εγκατάστασης από το άθροισμα των παραπάνω όρων τόσο μεγαλύτερη θα είναι η παροχή μέσω της μεμβράνης και άρα η διεργασία θα είναι περισσότερο αξιολογίσιμη στην πράξη.

### **5.3 Περιγραφή επιμέρους τμημάτων μονάδων αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση (RO)**

Τα κύρια τμήματα από τα οποία αποτελείται μια σύγχρονη μονάδα αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης είναι τα εξής:

1. Το αντλιοστάσιο παροχής θαλασσινού νερού μαζί με τους σωλήνες προσαγωγής και απόρριψης νερού.
2. Την διάταξη προεπεξεργασίας του θαλασσινού νερού.
3. Το κυρίως σύστημα αφαλάτωσης, δηλαδή τις μεμβράνες
4. Το σύστημα μετεπεξεργασίας του νερού, αν αυτό προορίζεται για παραγωγή πόσιμου νερού, και την δεξαμενή γλυκού νερού.

### 5.3.1 Παροχή θαλασσινού νερού προς αφαλάτωση

Το πρώτο στάδιο σε οποιαδήποτε μονάδα αφαλάτωσης, ανεξαρτήτως του μεγέθους της, είναι το σύστημα πρόσληψης νερού το οποίο πρέπει να είναι ικανό την απαιτούμενη παροχή ακατέργαστου νερού με σχετικά σταθερή ποιότητα και παράλληλα με τις μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το είδος της πρόσληψης που θα χρησιμοποιηθεί επηρεάζει καθορίζει σημαντικά τα χαρακτηριστικά του ακατέργαστου νερού καθώς επίσης καθώς επίσης και τον σχεδιασμό και την απόδοση του συστήματος προεπεξεργασίας αλλά και γενικότερα το σχεδιασμό της διεργασίας της αφαλάτωσης.

Ο σχεδιασμός της πρόσληψης του ακατέργαστου νερού εξειδικεύεται ανάλογα με το σημείο εγκατάστασης σε βαθμό πολύ μεγαλύτερο από οποιοδήποτε άλλο τμήμα της. Ένα σύστημα αναρρόφησης το οποίο έχει σχεδιαστεί σωστά είναι ικανό να προστατεύει τον κατάντη εξοπλισμό και γενικά να αναβαθμίζει την απόδοση ολόκληρης της διεργασίας μειώνοντας τόσο το κόστος εγκατάστασης του συστήματος προεπεξεργασίας όσο και το λειτουργικό κόστος ολόκληρης της μονάδας αφαλάτωσης [Καραφυλλάκης 2018]. Οι πιο ευρέως διαδεδομένοι τρόποι αναρρόφησης του θαλασσινού νερού είναι γενικά οι εξής:

- Με γεωτρήσεις
- Με πηγάδια
- Με κατασκευή υποθαλάσσιου αγωγού

### 5.3.2 Προεπεξεργασία θαλασσινού νερού

Για να επιτευχθεί όσο το δυνατόν καλύτερη λειτουργία των μεμβρανών στα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης καθώς επίσης και για να αυξηθεί ο χρόνος ζωής τους, καθοριστικό ρόλο έχει η προεπεξεργασία του προς αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Πιο συγκεκριμένα στο στάδιο αυτό καταστρέφονται οι περιεχόμενοι στο νερό μικροοργανισμοί και αφαιρούνται αιωρούμενα στερεά με σκοπό να αποφευχθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών και η εναπόθεση αλάτων στις μεμβράνες. Η διαδικασία αυτή απαρτίζεται από τα παρακάτω συστήματα:

- Φίλτρο εισόδου στην αναρρόφηση, για να αποφευχθεί η είσοδος φερτών υλικών και ψαριών
- Προ χλωρίωση του θαλασσινού νερού με παράλληλη προσθήκης οξέων, όπως το θεικό για να γίνει αποφυγή εναπόθεσης αλάτων στα φίλτρα.
- Συσσωμάτωση των κολλοειδών/ οργανικών ουσιών με χρήση χλωριούχου σιδήρου και πολυηλεκτρολύτη
- Φίλτρο άμμου το οποίο αποτελείται από άμμο χαλίκια και ανθρακίτη και βοηθάει στην κατακράτηση ακόμα μικρότερων στερεών σωματιδίων
- Φίλτρα πολυπροπυλενίου, σκοπός των οποίων είναι η συγκράτηση ουσιών με μέγεθος 1μm.
- Από χλωρίωση με χρήση θειούχου νατρίου ή με την βοήθεια φίλτρων ενεργού άνθρακα, καθώς το ελεύθερο χλώριο καταστρέφει τις μεμβράνες.
- Αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία [Καραφυλλάκης, 2018]

### 5.3.3 Κυρίως σύστημα αφαλάτωσης μεμβράνες

Στο στάδιο αυτό οι αντλίες υψηλής πίεσης παρέχουν την απαιτούμενη πίεση ώστε το νερό να περάσει μέσα από τις μεμβράνες απορρίπτοντας τα άλατά που περιέχει. Καθώς ένα μέρος του νερού περνάει μέσα από τις μεμβράνες, η συγκέντρωση των αλάτων στο υπόλοιπο νερό αυξάνεται. Συγχρόνως ένα μέρος του νερού που οδηγείται στις μεμβράνες απορρίπτεται χωρίς να περάσει μέσα από αυτές. Χωρίς αυτή την ελεγχόμενη απόρριψη, η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό θα συνέχιζε να αυξάνει, με αποτέλεσμα την εναπόθεση των υπερκορεσμένων αλάτων και την αύξηση της οσμωτικής πίεσης κατά μήκος των μεμβρανών.

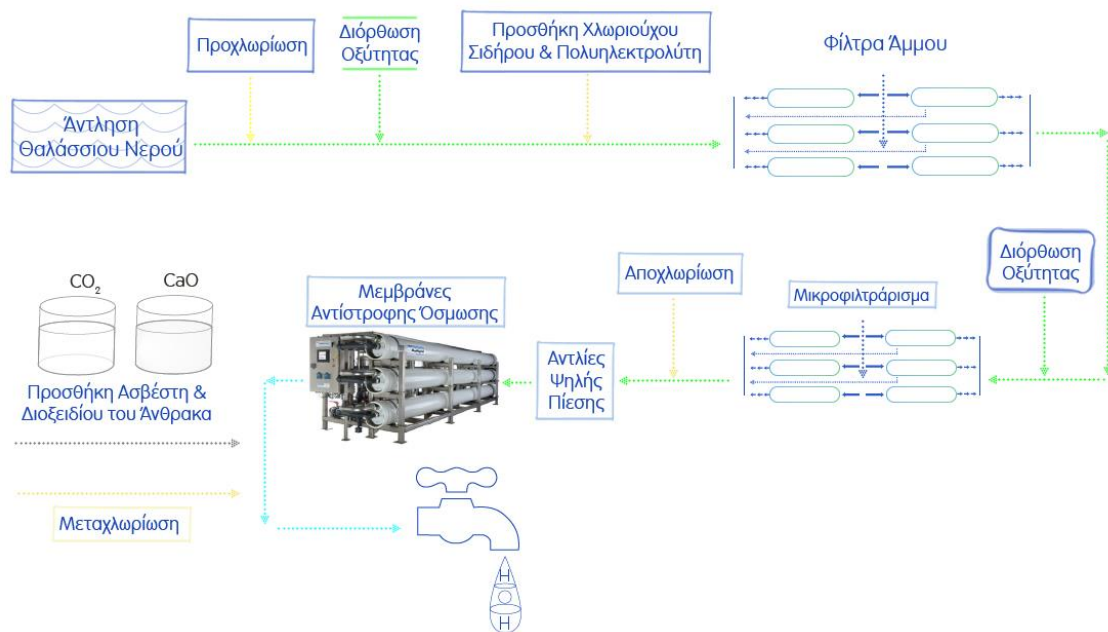
### 5.3.4 Μετεπεξεργασία θαλασσινού νερού

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία αφαίρεσης των αλάτων από το νερό ακολουθεί ένα τελευταίο στάδιο επεξεργασίας ώστε το νερό να σταθεροποιηθεί και να γίνει κατάλληλο για κατανάλωση. Η διαδικασία αυτή αποτελείται από τα εξής στάδια:

- Απομάκρυνση αερίων, όπως το υδρόθειο
- Ρύθμιση του ΡΗ και αύξηση της σκληρότητας, συνήθως με προσθήκη επεξεργασμένου ασβέστη ή διοξειδίου του άνθρακα
- Χλωρίωση

### 5.3.5 Αντλίες παροχής θαλασσινού νερού

Τα αντλητικά συγκροτήματα έχουν πολύ σημαντικό ρόλο καθώς είναι αυτά που παρέχουν την απαιτούμενη πίεση για την διακίνηση του νερού τροφοδοσίας εντός των αγωγών και μέσα από τις μεμβράνες. Η επιλογή του θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή ειδικά στις περιπτώσεις θαλασσινού νερού καθώς από την μια πλευρά θα πρέπει να εξασφαλίζεται υψηλή πίεση αλλά και μεγάλη αντοχή στη διάβρωση. Επιπλέον οι αντλίες υψηλής πίεσης καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την κατανάλωση σε ενέργεια του συστήματος της αφαλάτωσης. Ωστόσο οι απαιτήσεις σε ισχύ δεν περιορίζονται μόνο σε αυτές καθώς πρέπει να συνυπολογιστούν η άντληση και τροφοδοσία του νερού στη μονάδα από την θάλασσα και η κατανάλωση των δοσομετρικών αντλιών για τα διάφορα χημικά που προστίθενται κατά την διάρκεια της προεπεξεργασίας, επεξεργασίας και μετεπεξεργασίας. Σε όλα τα παραπάνω θα πρέπει να προστεθεί και η ενέργεια που απαιτείται κατά την διάρκεια της αντίστροφης πλύσης των πολυστρωματικών φίλτρων [ΚΑΠΝΙΣΗΣ, 2017]. Στο Σχήμα 34 περιγράφεται ένα τυπικό σύστημα αφαλάτωσης RO .



Σχήμα 34: Διάγραμμα ροής αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση θαλασσινού νερού.

[<https://mesogeos.gr>]

## 5.4 Διαστασιολόγηση εγκατάστασης αντίστροφής ώσμωσης οικισμού

### 5.4.1 Υπολογισμός απαιτούμενης παραγόμενης παροχής λειτουργίας εγκατάστασης αντίστροφης ώσμωσης (RO)

Το σύστημα συλλογή ομβρίων έχει σχεδιαστεί για να καλύπτει την ετήσια ζήτηση νερού του οικισμού  $Q_y = 765.20 \text{ m}^3$ , με βροχομετρικά δεδομένα ανομβρίας ποσοστού 80%. Επομένως για να χρειαστεί να λειτουργήσει η μονάδα αφαλάτωσης ως δικλείδα ασφαλείας το ετήσιο ποσοστό ανομβρίας πρέπει να είναι μεγαλύτερο από εκείνο του 80%. Ο σχεδιασμός της μονάδας αντίστροφης ώσμωσης θα γίνει για την εξολοκλήρου κάλυψη της ετήσιας ζήτησης του οικισμού. Η αντίστροφη ώσμωση θα λειτουργεί μόνο τη περίοδο μη λειτουργίας του οικισμού και συγκεκριμένα τον τελευταίο μήνα πριν την λειτουργία του δηλαδή τον Μάιο, άρα θα λειτουργεί  $N_{RO} = 31 \text{ (d)}$ . Η εγκατάσταση RO θα διαστασιολογηθεί για χρόνο λειτουργίας ημερησίως τις  $10_h$ , επομένως υπολογίζεται η ημερήσια απαιτούμενη παροχή παραγωγής πόσιμου νερού ως:  $Q_{dr.wr} =$

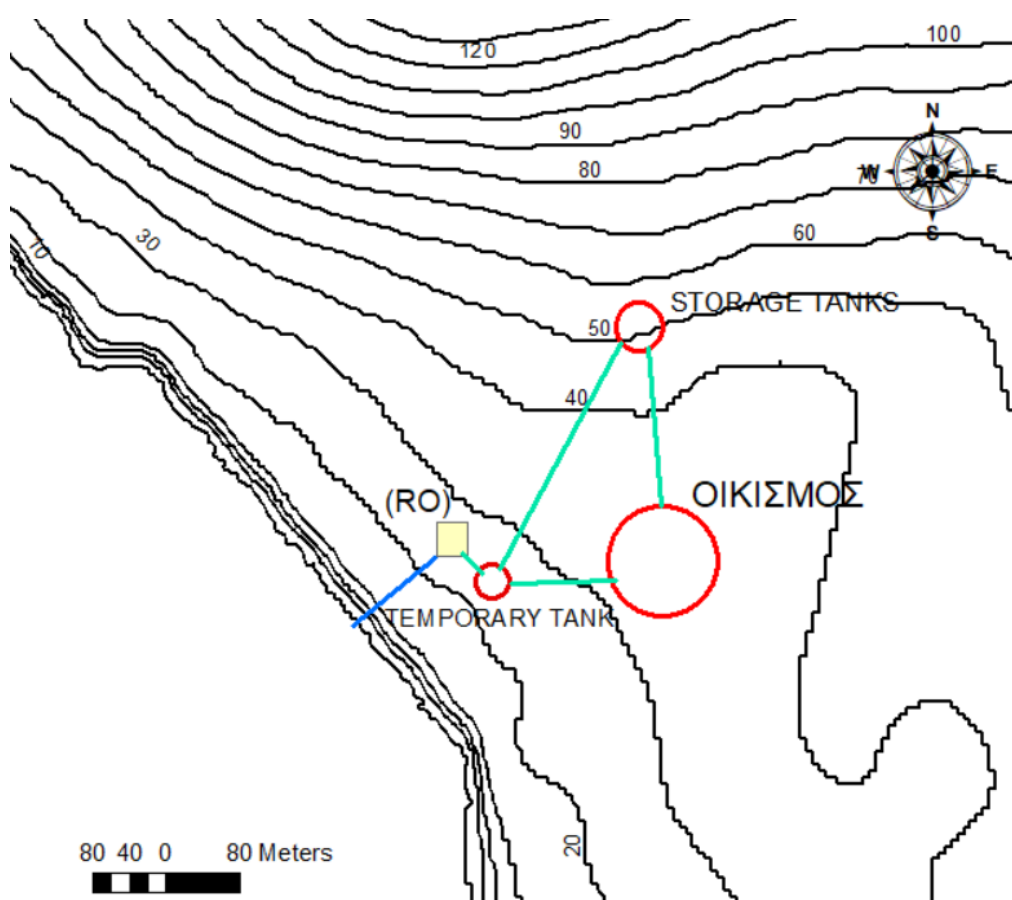
$$Q_{dr.wr} = \frac{765.2 \text{ m}^3}{31_d} \times \left( \frac{1}{10} \right)_{\left( \frac{d}{h} \right)} = 2.47 \left( \frac{\text{m}^3}{h} \right)$$

Η παροχή αυτή αντιστοιχεί σε μικρομεσαίου μεγέθους εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, επιπλέον οι εγκαταστάσεις RO μπορούν και λειτουργούν αποτελεσματικά 23 (h/24h), υπέρ της ασφαλείας επιλέχθηκε ο χρόνος λειτουργίας των 10 ωρών ώστε η εγκατάσταση να λειτουργεί σε μεσαίους ρυθμούς

(χρόνος ζωής) και για τυχόν ελλείψεις νερού όπου θα υπάρχει το περιθώριο λειτουργίας περισσότερων ωρών τη μέρα της εγκατάστασης για την κάλυψη τους.

#### 5.4.2 Χωροθέτηση εγκατάστασης αντίστροφης ώσμωσης (RO)

Η εγκατάσταση της (RO) θα βρίσκεται εντός κτηρίου προς αποφυγήν διαβρώσεων λόγω υψηλών επιπέδων αλατότητας. Για τη χωροθέτηση της επιλέχθηκε περιοχή σε χαμηλό σχετικό υψόμετρο από τη στάθμη της θάλασσας και πιο συγκεκριμένα το υψόμετρο  $h_{(RO)}=15$  m και απόστασης από τη θάλασσα  $L_{RO,Sea}=100$  m. Επιπλέον θα πρέπει να βρίσκεται και κοντά στην προσωρινή αποθηκευτική δεξαμενή σε απόσταση  $L_{RO,TEM}=30$  m ώστε το επεξεργασμένο νερό να μεταφέρεται από την (RO) στην προσωρινή δεξαμενή αποθήκευσης και έπειτα να αντλείται και να ανυψώνεται προς αποθήκευση στις κεντρικές δεξαμενές. Η ακριβής χωροθέτηση της εγκατάστασης RO παρουσιάζεται στο Σχήμα 35.



Σχήμα 35: Χωροθέτηση εγκατάστασης RO.

### 5.4.3 Διαστασιολόγηση τροφοδοτικής αντλίας εγκατάστασης αντίστροφης ώσμωσης (RO)

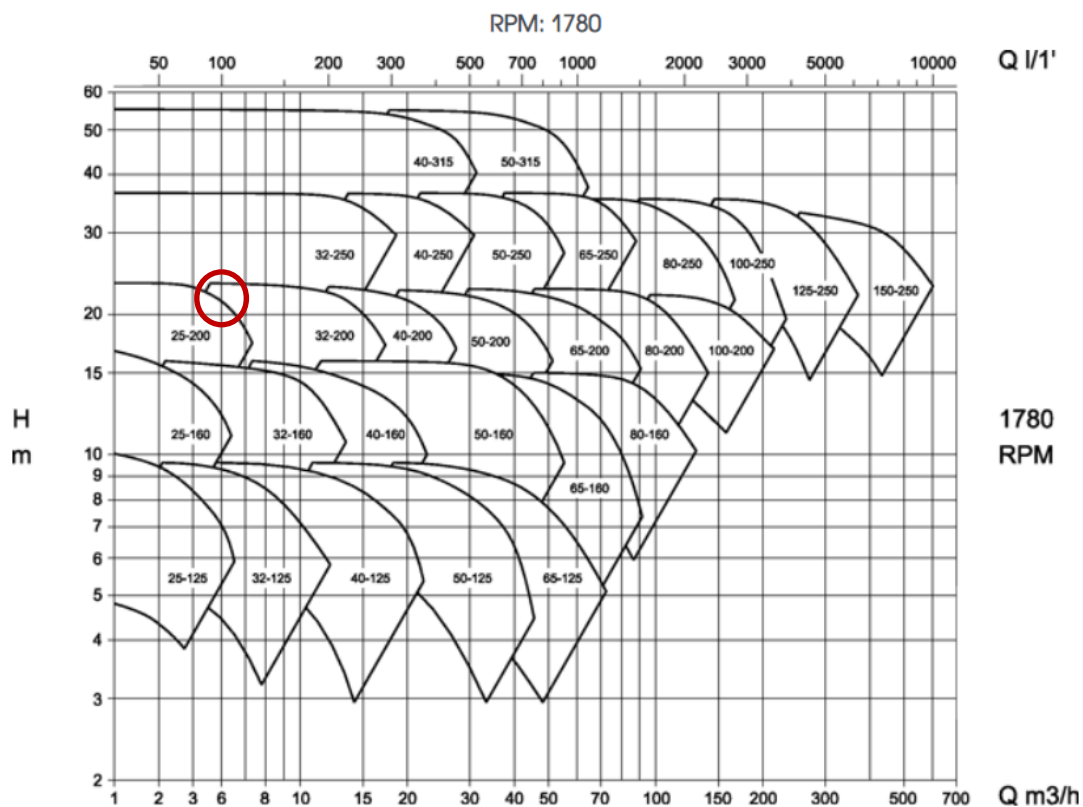
Η αντλία που θα επιλεγθεί προς ανύψωση του θαλασσινού νερού στην εγκατάσταση (RO) θα πρέπει να είναι ιδανική για θαλασσινό νερό, επιπλέον εφόσον η παροχή παραγόμενου νερού από την εγκατάσταση RO είναι  $Q_{dr.wr}=2.47 \text{ (m}^3/\text{h)}$  πρέπει να ανταποκρίνεται στο σύστημα. Κάνοντας την παραδοχή υπέρ της ασφαλείας πως το μισό θαλασσινό νερό που αντλείται μετατρέπεται τελικώς σε πόσιμο λόγω ελλείψεων μετατροπής του.

$$Q_{ro.wr} = 2 \times Q_{dr.wr} \quad (6.2)$$

Οπότε η παροχή λειτουργίας της αντλίας είναι:

$$Q_{ro.wr} = 2 \times 2.47 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) = 5.00 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$$

Επίσης το υψόμετρο που θα πρέπει να εξυπηρετεί η αντλία είναι αυτό των  $h_{RO}=15 \text{ m}$ . Επιλέχθηκε αντλία θαλασσινού νερού μονοβάθμια φυγόκεντρη της σειράς TCHM 25200, 1780 RPM Σχήμα 37 όπου στο μανομετρικό  $H_m=22 \text{ m}$  αντιστοιχεί παροχή λειτουργίας  $Q_A=6 \text{ (m}^3/\text{h)}$  όπως προκύπτει από την καμπύλη λειτουργίας της Σχήμα 36.



Σχήμα 36: Αντλία RO και καμπύλη λειτουργίας της [<https://axbul.bg/gr>].





*Σχήμα 37: Αντλία TCHM 25200, 1780 RPM.*

Η μεταφορά του επεξεργασμένου νερού από την εγκατάσταση RO στην προσωρινή δεξαμενή αποθήκευσης εφόσον είναι σχετικά στο ίδιο υψόμετρο θα γίνεται με τη βοήθεια ενός συμβατικού πιεστικού.

## 6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ ΟΙΚΙΣΜΟΥ

Κάθε οικισμός μικρός ή μεγάλος παράγει υγρά απόβλητα τα οποία πρέπει να επεξεργαστούν για να διοχετευτούν στο περιβάλλον (υπέδαφος, υγρός αποδέκτης). Η επεξεργασία των λυμάτων του οικισμού θα πραγματοποιηθεί με την τεχνολογία των τεχνιτών υδροβιοτόπων.

### 6.1 Νομοθετικό πλαίσιο

*Η Διαχείριση των αστικών λυμάτων καθορίζεται από την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ «για την επεξεργασία και διάθεση αστικών λυμάτων», όπως αυτή τροποποιήθηκε με την Οδηγία 98/15/ΕΕ. Στην Ελλάδα η εν λόγω οδηγία έχει ενσωματωθεί στο εθνικό δίκαιο με την Κ.Υ.Α. 5673/400/1997 (Φ.Ε.Κ. 192Β/14-3-1997) με τίτλο "Μέτρα και Όροι για την επεξεργασία των Αστικών Λυμάτων [ΥΠΕΚΑ 2012]*

Η παραπάνω παράγραφος συμπυκνώνει τον τρόπο και το στόχο που έχει ο Νομοθέτης στην Ελλάδα αναφορικά με την επεξεργασία των αστικών λυμάτων. Η εν λόγω Οδηγία, σταθμός στην προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος, καθορίζει:

- τις ελάχιστες υποδομές δικτύων αποχέτευσης και Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) που πρέπει να διαθέτουν οι πόλεις και οι οικισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σύμφωνα με τον ισοδύναμο πληθυσμό και σε σχέση με τον αποδέκτη των επεξεργασμένων λυμάτων (δευτεροβάθμια τουλάχιστον επεξεργασία ή τριτοβάθμια εφόσον πρόκειται για ευαίσθητο αποδέκτη)
- τους υδάτινους αποδέκτες σε τρεις κατηγορίες, κανονικούς, ευαίσθητους και λιγότερο ευαίσθητους
- συγκεκριμένες τιμές-όρια για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, P, N) των επεξεργασμένων λυμάτων που πρέπει να τηρούνται στην εκροή των ΕΕΛ ανάλογα με τον αποδέκτη, καθώς και συχνότητα δειγματοληψίας.
  1. Ελάχιστη μείωση BOD<sub>5</sub>, 70-90% (ανώτερη συγκέντρωση 25mg/L)
  2. Ελάχιστη μείωση COD, 75% (ανώτερη συγκέντρωση 125mg/L),
  3. Ελάχιστη μείωση TSS, 90% (ανώτερη συγκέντρωση 35mg/L). Εφόσον πρόκειται για οικισμούς μεταξύ 2000-1000 κατοίκων, τότε ελάχιστη μείωση TSS 70% (ανώτερη συγκέντρωση 60mg/L)
  4. Ελάχιστη μείωση P, 80% (ανώτερη συγκέντρωση 2mg/L). Εφόσον πρόκειται για οικισμούς μεγαλύτερους από 100.000 τότε ανώτερη συγκέντρωση 1mg/L.
  5. Ελάχιστη μείωση N, 70-80% (ανώτερη συγκέντρωση 15mg/L). Εφόσον πρόκειται για οικισμούς μεγαλύτερους από 100.000 τότε ανώτερη συγκέντρωση 10mg/L.
- χρονοδιάγραμμα για την ολοκλήρωση 31/12/2005 των εγκαταστάσεων συλλογής και επεξεργασίας των λυμάτων σε όσους οικισμούς (>2000) εμπίπτουν στις διατάξεις της.

Πρόκειται για μια οδηγία πλήρη, οπότε στην χώρα μας με την εναρμόνιση με αυτή, δημιουργήσαμε ένα πλαίσιο απλό, κατανοητό και σαφές, χωρίς τα τραγελαφικά που χαρακτηρίζουν συνήθως την νομοθεσία στην Ελλάδα (συνεχείς τροποποιήσεις, παραπομπές, σωρεία Υπουργικών αποφάσεων κοκ).

## 6.2 Τεχνητοί υγροβιότοποι

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι (Constructed Wetlands - CW) είναι μια διαδεδομένη μέθοδος φυσικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Πρόκειται για συστήματα, που αποτελούνται κυρίως από βλάστηση, διάφορα υποστρώματα, χώμα, μικροοργανισμούς και νερό, οι οποίοι χρησιμοποιούν διαδικασίες που περιλαμβάνουν φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς μηχανισμούς για την απομάκρυνση διαφόρων ρύπων ή τη βελτίωση της ποιότητας του νερού [Wu et al, 2015]. Ως τεχνική «πράσινης» επεξεργασίας, οι τεχνητοί υγροβιότοποι έχουν το μοναδικό πλεονέκτημα να παράγουν εκροή υψηλής ποιότητας χωρίς την εισροή ορυκτής ενέργειας, μειώνοντας έτσι το κόστος λειτουργίας [Saeed and Sun, 2012].

Η κύρια διάκριση των τεχνητών υγροτόπων (Τ.Υ.) γίνεται μεταξύ δύο κατηγοριών:

- 1) Τεχνητών Υγροτόπων επιφανειακής ροής ή ελεύθερης επιφάνειας (Free Water Surface –FWS)
- 2) Τεχνητών Υγροτόπων υποεπιφανειακής ροής (Subsurface Flow Systems- SFS)

Οι τελευταίοι, χωρίζονται επίσης σε δύο κατηγορίες, τους Τεχνητούς Υγροβιότοπους οριζόντιας ροής (Horizontal Flow- HF) και τους Τεχνητούς Υγροβιότοπους κατακόρυφης ροής (Vertical Flow- VF). [ΥΠΕΚΑ 2012]

Στον παρόν οικισμό για την επεξεργασία των λυμάτων θα χρησιμοποιηθεί Τεχνητός Υγροβιότοπος κατακόρυφης ροής (CW-VSSF).

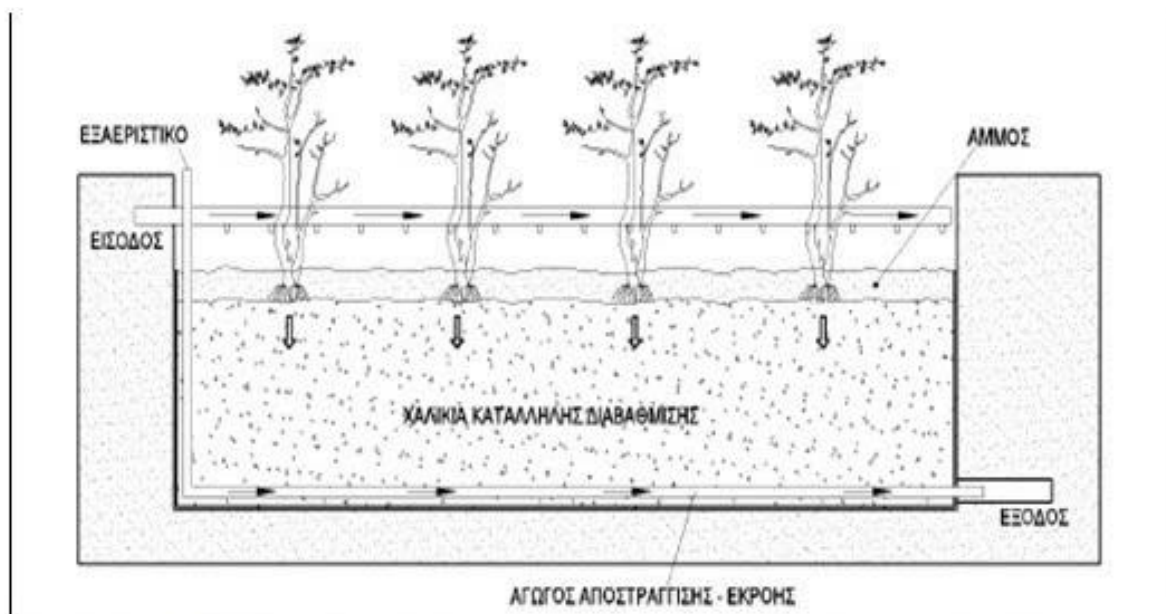
### 6.2.1 Υγροβιότοπους κατακόρυφης υποεπιφανειακής ροής (Vertical Flow- VF)

Πρόκειται για λεκάνες, που γεμίζονται με στρώσεις διαβαθμισμένων υλικών (άμμο, χαλίκι κοκ) με φύτευση στην άνω στρώση. Τα λύματα τροφοδοτούνται από το πάνω μέρος και αποχετεύονται από δίκτυο αποστράγγισης στον πυθμένα. Οι λεκάνες τροφοδοτούνται περιοδικά με μεγάλες παροχές λυμάτων που πλημμυρίζουν την επιφάνεια. Η ροή των λυμάτων γίνεται κατά την κατακόρυφη διεύθυνση Σχήμα 38, μέσα από τα διάφορα υποστρώματα και συγκεντρώνεται από το σύστημα αποχέτευσης του πυθμένα. Καθώς η κλίση στεγνώνει επιτρέπει στον αέρα να γεμίσει τα κενά ανάμεσα στους πόρους των υλικών. Η επόμενη δόση λυμάτων παγιδεύει τον αέρα και σε συνδυασμό με τον αερισμό που προκαλείται από την ξαφνική εφαρμογή των λυμάτων, συνεπάγεται καλή μεταφορά οξυγόνου, με συνέπεια να ενισχύεται η ικανότητα νιτροποίησης. Η διάχυση του αέρα από την διακοπτόμενη τροφοδοσία συνεισφέρει πολύ περισσότερο στην οξυγόνωση της κλίνης σε σχέση με το οξυγόνο που μεταφέρεται από τις ρίζες των φυτών [UN-HABITAT 2008] [ΥΠΕΚΑ 2012]

Οι λεκάνες στα συστήματα αυτά κατασκευάζονται με βάθος περίπου 0,80 έως 1,20 m, ανάλογα με την χώρα. Ο πυθμένας κατασκευάζεται με κλίση, περίπου 1%. Επίσης ο πυθμένας και τα πρανή του καλύπτονται από γεωμεμβράνη ή κατασκευάζονται από σκυρόδεμα. Το σύστημα σωληνώσεων εγγυάται την ισομερή διάθεση των λυμάτων στο εδαφικό σώμα για την αποτελεσματικότερη διήθησή τους [UN-HABITAT 2008].

Ανάλογα με την χώρα/σύστημα εφαρμογής/κανονισμό παρουσιάζονται μικροδιαφορές στις τεχνικές κατασκευής. Η σημαντικότερη διαφορά στα συστήματα VF που εφαρμόζονται είναι στην ανάγκη προεπεξεργασίας ή όχι των λυμάτων. Σε όλους τους κανονισμούς προτείνεται η προεπεξεργασία με εξαίρεση το «Γαλλικό» σύστημα που δεν την απαιτεί. Συνέπεια αυτής της διαφοράς, είναι και η εφαρμοζόμενη κοκκομετρία των υλικών από τον πυθμένα προς την επιφάνεια να διαφέρει. Στην περίπτωση που υπάρχει προ-επεξεργασία και πρωτογενής επεξεργασία των λυμάτων (πχ δεξαμενή Imhoff ) το επιφανειακό στρώμα της λεκάνης, βάθους 10 έως 30 cm, μπορεί καλύπτεται με άμμο ή

λεπτό χαλίκι, μέσα στο οποία φυτεύονται και αναπτύσσονται είδη καλαμιών. Στο «Γαλλικό» σύστημα εφαρμόζονται χονδρά χαλίκια ως άνω στρώση. Επίσης διαφορές παρατηρούνται στις διατομές που έχουν οι οπές στις σωληνώσεις που εφαρμόζουν τα λύματα στην επιφάνεια. Στην Ελλάδα και στην Γερμανία οι οπές είναι πολύ μικρές ενώ στο «Γαλλικό» σύστημα δεν υπάρχουν οπές και τα λύματα ρέουν ελεύθερα από τα τελειώματα των σωληνώσεων. Οι κατακόρυφης ροής τεχνητοί υδροβιότοποι, με διακοπτόμενη τροφοδοσία χρησιμοποιούνται όλο και πιο συχνά στην Ευρώπη και τον υπόλοιπο κόσμο λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν σε σχέση με τους άλλους σχεδιασμούς. Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του είδους τεχνητού υδροβιότοπου είναι η απαίτηση μικρότερης έκτασης για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων, καθώς πλεονεκτεί ως προς την μεταφορά οξυγόνου οπότε και διατηρούνται οι απαραίτητες αερόβιες συνθήκες για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Επιπλέον, επειδή δεν υπάρχει ελεύθερη επιφάνεια νερού, δεν υπάρχουν προβλήματα πολλαπλασιασμού των εντόμων [ΥΠΕΚΑ 2012; Tilley et al, 2014].



Σχήμα 38: Τυπική τομή υδροβιότοπου υποεπιφανειακής κατακόρυφης ροής (Vertical Flow- VF).

[\[https://sites.google.com/site/civilsorras/\]](https://sites.google.com/site/civilsorras/)

### 6.3 Διεργασίες τεχνητών υδροβιότοπων

Οι τεχνητοί υδροβιότοποι εκλαμβάνονται εύκολα ως απλά, «lowtech» συστήματα, ωστόσο οι βιολογικές και οι φυσικο-χημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε αυτούς κάθε άλλο από απλές μπορούν να χαρακτηριστούν. Οι διεργασίες αυτές πραγματοποιούνται σε διαφορετικές ζώνες μέσα στο κύριο ενεργό μέρος ενός τεχνητού υδροβιότοπου, το αποκαλούμενο "φίλτρο -κλίνη". Ενδεικτικά αυτές οι ζώνες είναι το πληρωτικό υλικό της κλίνης, τα φυτά και οι ρίζες αυτών, ο αέρας, τα βακτήρια (βιοϋμένας) που αναπτύσσονται στην επιφάνεια του πληρωτικού υλικού ή γύρω από τις ρίζες και νεκρή οργανική ύλη όπως τα απορρίμματα των φύλλων. [Tilley et al, 2014].

Οι κύριοι ρύποι που απομακρύνονται από τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, άρα και από έναν τεχνητό υγροβιότοπο είναι:

- Η οργανική ύλη που μετριέται ως "βιολογική ζήτηση οξυγόνου"(BOD) ή "χημική ζήτηση οξυγόνου" (COD)
- Τα αιωρούμενα στερεά που μετριούνται ως "ολικά αιωρούμενα στερεά", TSS
- Τα θρεπτικά συστατικά, δηλαδή το άζωτο και ο φώσφορος
- Τα παθογόνα και τα βαρέα μέταλλα

Κάθε ρύπος απομακρύνεται με διαφορετικό μηχανισμό/μηχανισμούς, που περιγράφονται στον Πίνακα 8 [DGTZ 2010].

*Πίνακας 7: Μηχανισμοί απομάκρυνσης ρύπων σε Τ.Υ.*

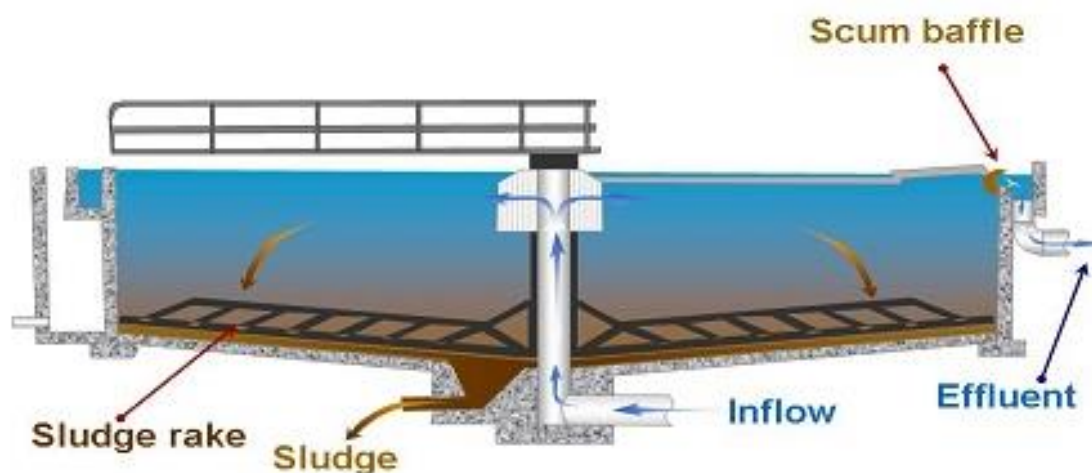
<b>Ρύπος</b>	<b>Μηχανισμός απομάκρυνσης</b>
<b>Οργανικό φορτίο</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• αερόβια μικροβιακή αποικοδόμηση</li> <li>• αναερόβια μικροβιακή αποικοδόμηση</li> </ul>
<b>Αιωρούμενα στερεά</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• καθίζηση</li> <li>• διήθηση</li> </ul>
<b>Άζωτο</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• νιτροποίηση και απονιτροποίηση</li> <li>• εξάτμιση</li> <li>• προσρόφηση και πρόσληψη από τα φυτά</li> </ul>
<b>Φώσφορος</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• προσρόφηση</li> <li>• καθίζηση (παρουσία ασβέστου, αλουμινίου ή σιδήρου στο υπόστρωμα)</li> <li>• πρόσληψη από τα φυτά φυτών (περιορισμένη επίδραση)</li> </ul>
<b>Παθογόνα</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• διήθηση</li> <li>• προσρόφηση</li> <li>• Θήρευση από πρωτόζωα</li> <li>• φυσική φθορά-καταστροφή</li> </ul>

Το ενεργό μέρος του υγροβιότοπου, λειτουργεί ως ένα μηχανικό και βιολογικό φίλτρο. Σαν μηχανικό φίλτρο λειτουργεί για τα εισερχόμενα αιωρούμενα σωματίδια, ενώ η οργανική ύλη βιοαποδομείται από βακτήρια, αερόβια και αναερόβια τα οποία αναπτύσσονται με την μορφή ενός υμένα στα σωματίδια του υποστρώματος ή στις ρίζες των φυτών [DGTZ 2010].

#### 6.4 Προ-επεξεργασία / Πρωτοβάθμια επεξεργασία

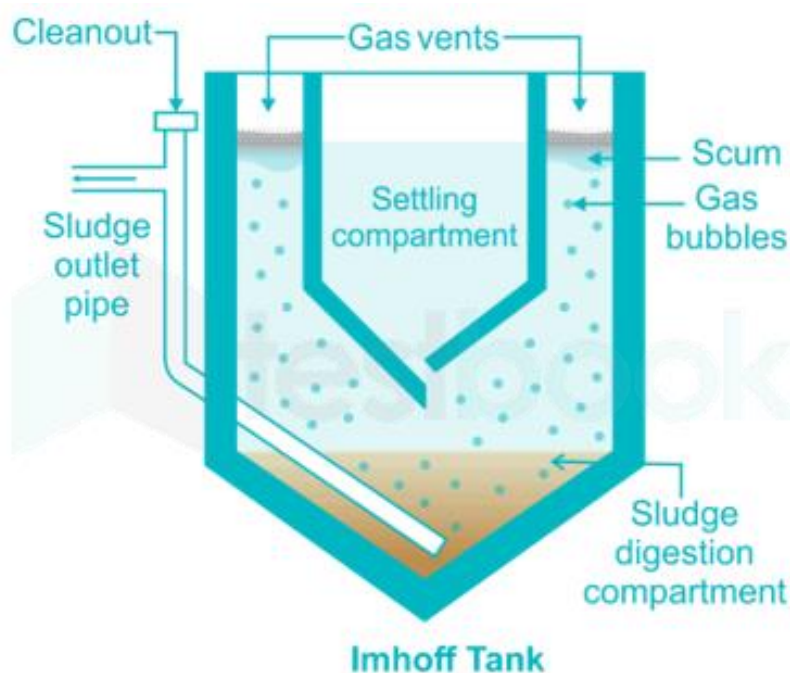
Σκοπός της προ-επεξεργασίας είναι να διατηρήσει το υπόστρωμα του τεχνητού υγροβιότοπου όσο το δυνατόν πιο καθαρό, απομακρύνοντας χονδροειδή διασκορπισμένα στερεά (κουρέλια, χαλίκια, ακατέργαστα λύματα κοκ) από την υγρή φάση. Τα υλικά αυτά μπορεί αφενός να μειώσουν την απόδοση του συστήματος (φράσσοντας τους πόρους του υποστρώματος) και αφετέρου να προκαλέσουν σειρά άλλων προβλημάτων όπως εμφράξεις στις αντλίες, δυσάρεστες οσμές, αυξημένο κόστος συντήρησης. Η προκαταρκτική επεξεργασία των λυμάτων αποτελείται κυρίως από την εσχάρωση. Η εσχάρα είναι μια συσκευή με ανοίγματα, γενικά ομοιόμορφου μεγέθους, που χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση των στερεών, και η οποία απομακρύνει τα χονδρόκοκκα υλικά από τα λύματα [UN-HABITAT 2008].

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία διαχωρίζει τα αιωρούμενα στερεά με χρήση της φυσικής διαδικασίας της καθίζησης. Τα ακατέργαστα λύματα περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια βαρύτερα από το νερό. Τα σωματίδια αυτά υπό την επίδραση της βαρύτητας, σε συνθήκες ηρεμίας, καθιζάνουν. Με την πρωτοβάθμια επεξεργασία μειώνεται σημαντικά το ποσοστό των αιωρούμενων στερεών αλλά και το οργανικό φορτίο των λυμάτων πριν αυτά εφαρμοστούν σε έναν τεχνητό υγροβιότοπο. Επίσης η πρωτοβάθμια επεξεργασία χρησιμεύει και για να εξισώνει τη ροή σε ένα τεχνητό υγροβιότοπο. Οι πιο συνηθισμένες μορφές πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η σηπτική δεξαμενή ή δεξαμενή καθίζησης Σχήμα 39 και η δεξαμενή Imhoff Σχήμα 40. Η σηπτική δεξαμενή ή δεξαμενή καθίζησης είναι η πιο κοινή πρωτοβάθμια επεξεργασία που χρησιμοποιείται σε μικρής κλίμακας τεχνητούς υγροβιότοπους σε όλο τον κόσμο, το σχήμα της μπορεί να είναι είτε ορθογώνιο είτε κυκλικό [ΥΠΕΚΑ 2012].



Σχήμα 39: Τοπική δεξαμενή καθίζησης. [<http://waterpurificationengineering.weebly.com/>]

Για να είναι η απόδοσή της σταθερή, επιβάλλεται η αφαίρεση της συσσωρευμένης λάσπης από τον πυθμένα σε αραιά χρονικά διαστήματα (της τάξεως του ενός έτους ή όταν η λάσπη φθάσει στο 30% του όγκου της δεξαμενής). Προτείνεται μάλιστα να μην γίνεται πλήρης απομάκρυνση της ιλύος, αλλά να παραμένει το 1/6 περίπου αυτής, δηλαδή να παραμένουν οι μικροοργανισμοί που πραγματοποιούν την αναερόβια επεξεργασία του οργανικού φορτίου [ΥΠΕΚΑ 2012]. Μια δεξαμενή καθίζησης επιτυγχάνει μείωση του BOD5 σε ποσοστό 30-50%, των αιωρούμενων στερεών σε ποσοστό 50-80% ενώ αφαιρεί και τα λίπη. Όταν οι παροχές λυμάτων δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν από μια δεξαμενή καθίζησης επιλέγεται η δεξαμενή Imhoff. Πρόκειται για ένα αναερόβιο σύστημα που αποτελείται από δύο κατακόρυφες λεκάνες (βαθμίδες) τετραγωνικής ή κυκλικής διατομής με κωνικούς πυθμένες. Η λάσπη χωνεύεται σε ξεχωριστό διαμέρισμα (κάτω θάλαμος) και δεν αναμειγνύεται με τα εισερχόμενα λύματα. Είναι ένα συμπαγές και αποτελεσματικό σύστημα για την πρωτοβάθμια επεξεργασία αστικών λυμάτων οικισμών από 500 έως 20.000 κατοίκους. Αφαιρεί περίπου το 30-40% της οργανικής ύλης (BOD5) και το 50% των αιωρούμενων σωματιδίων των αστικών λυμάτων [DGTZ 2010].



Σχήμα 40: Τυπική δεξαμενή Imhoff.

[<https://storage.googleapis.com>]

## 6.5 Εκτίμηση δεδομένων σχεδιασμού (CW-VSSF) του οικισμού

### 6.5.1 Μέση ημερήσια παροχή ( $Q_0$ )

Στο δίκτυο ακαθάρτων εκτιμάται ότι καταλήγει το 60-80% της συνολικής υδατικής κατανάλωσης του οικισμού (το ποσοστό απωλειών αναφέρεται σε νερά τα οποία δεν εισρέουν στο δίκτυο ή νερά που χρησιμοποιούνται για χρήσεις όπως πότισμα, πλύσιμο αυτοκινήτων, εξάτμισης κ.α.)

Σύμφωνα με τις Ελληνικές προδιαγραφές (ΠΔ 696/1979): το ποσοστό νερού που καταλήγει στο δίκτυο αποχέτευσης ορίζεται ως το 80% της καταναλισκόμενης παροχής.

$$Q_{0,1} = 0.8 \times Q_{v\delta\rho} \quad (7.1)$$

Για τον οικισμό η ετήσια καταναλισκόμενη παροχή είναι  $Q_{v\delta\rho}=763.60 \text{ (m}^3\text{/y)}$  επομένως η ημερήσια παροχή εφόσον ο οικισμός λειτουργεί μόνο τη καλοκαιρινή περίοδο 92 (d) προκύπτει ως:

$$Q_{v\delta\rho}^d = \frac{763.60 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{y}}\right)}{92_d} = 8.30 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)$$

Συνεπώς:

$$Q_{0,1} = 0.8 \times 8.30 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) = 6.64 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)$$

Με βάση την παραδοχή των 150 λίτρων ανά κάτοικο ανά ημέρα  $150 \text{ (L/d/per)}$  καθώς και τον αριθμό των ατόμων του οικισμού  $\Pi=50 \text{ (per)}$ , η μέση ημερήσια παροχή υπολογίζεται ως:

$$Q_{0,2} = 150 \left(\frac{\text{l}}{\text{d}\times\text{per}}\right) \times \Pi = 50_{\text{per}} \times 150 \left(\frac{\text{l}}{\text{d}\times\text{per}}\right) = 7.50 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)$$

Επομένως:

$$Q_o = \max[Q_{0,1}, Q_{0,2}] = \left[6.64 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right), 7.50 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)\right] = 7.50 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)$$

### 6.5.2 Μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια παροχή και παροχή αιχμής

Η μέγιστη και η ελάχιστη ημερήσια παροχή καθώς και η παροχή αιχμής υπολογίζονται με βάση τις Ελληνικές Προδιαγραφές (ΠΔ 696/74) ως εξής:



$$Q_H^{max} = \lambda_H \times Q_0 \quad (7.2)$$

Επίσης:

$$Q_H^{min} = \frac{Q_0}{\lambda_H} \quad (7.3)$$

Όπου:

$Q_H^{max}$  : η μέγιστη ημερήσια παροχή

$Q_H^{min}$  : η ελάχιστη ημερήσια παροχή

$\lambda_H$  : ο συντελεστής ημερήσιας αιχμής (1.1-2), επιλέγεται  $\lambda_H = 1.5$

Επομένως:

$$Q_H^{max} = \lambda_H \times Q_0 = 1.5 \times 7.50 \left(\frac{m^3}{d}\right) = 11.25 \left(\frac{m^3}{d}\right)$$

$$Q_H^{min} = \frac{Q_0}{\lambda_H} = \frac{7.50 \left(\frac{m^3}{d}\right)}{1.5} = 5 \left(\frac{m^3}{d}\right)$$

Επίσης υπολογίζεται η παροχή αιχμής ως:

$$Q_{αιχ} = P \times Q_H^{max} \quad (7.4)$$

Όπου:

$P$ : ο συντελεστής στιγμιαίας αιχμής (στατιστικό μέγεθος)  $P \leq 3$ .

$$\text{Υπολογίζεται: } P = 1,5 + \frac{2,5}{(Q_H^{max})^{\left(\frac{1}{2}\right)}} = 1,5 + \frac{2,5}{\left(11,25 \left(\frac{m^3}{d}\right)\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}} = 2,25 \leq 3$$

Επομένως:

$$Q_{αιχ} = P \times Q_H^{max} = 2.25 \times 11.25 \left(\frac{m^3}{d}\right) = 25.32 \left(\frac{m^3}{d}\right)$$

### 6.5.3 Εκτίμηση φορτίων σχεδιασμού

Σύμφωνα με τις Ελληνικές προδιαγραφές τα φορτία σχεδιασμού προκύπτουν με βάση τον ισοδύναμο πληθυσμό και ειδικών φορτίσεων ανά κάτοικο ως:

$$BOD_5 = 60 \left(\frac{gr}{per \times d}\right)$$

$$TSS = 75 \left(\frac{gr}{per \times d}\right)$$

$$TN = 12 \left(\frac{gr}{per \times d}\right)$$

$$TP = 3 \left(\frac{gr}{per \times d}\right)$$

Επομένως προκύπτουν:

$$BOD_5 = 60 \frac{gr}{per \times d} \times 50_{per} = 3 \frac{Kg}{d} = 266 \left(\frac{mg}{l}\right)$$

$$TSS = 75 \frac{gr}{per \times d} \times 50_{per} = 3.75 \frac{Kg}{d} = 334 \left(\frac{mg}{l}\right)$$

$$TN = 12 \frac{gr}{per \times d} \times 50_{per} = 0.6 \frac{Kg}{d} = 54 \left(\frac{mg}{l}\right)$$

$$TP = 3 \frac{gr}{per \times d} \times 50_{per} = 0.15 \frac{Kg}{d} = 14 \left(\frac{mg}{l}\right)$$

## 6.6 Διαστασιολόγηση δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης

Η διαστασιολόγηση της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης θα πραγματοποιηθεί εμπειρικά με βάση την υδραυλική φόρτιση, με την μέγιστη ημερήσια παροχή  $Q_H^{max}$ . Το εύρος της επιτρεπόμενης υδραυλικής επιφανειακής φόρτισης κυμαίνεται  $q=30-50$  ( $m^3/d/m^2$ ) [Ανδρεαδάκης 2015].

Για τον γεωμετρικό υπολογισμό των διαστάσεων της δεξαμενής θεωρείται γεωμετρικό σχήμα δεξαμενής κυλινδρικό επίσης θα χρησιμοποιηθεί  $q=30$  ( $m^3/d/m^2$ ), επομένως το εμβαδόν της προκύπτει:

$$A_{\Delta.Π.Κ} = \frac{Q_H^{max}}{q} = \frac{11.25 \left(\frac{m^3}{d}\right)}{30 \frac{m^3}{d \times m^2}} = 0.375 m^2$$

Ως ύψος της δεξαμενής επιλέγεται  $h_{\Delta.Π.Κ}=1.90$  m. Συνεπώς η χωρητικότητα της δεξαμενής υπολογίζεται:

$$V_{\Delta.Π.Κ} = A_{\Delta.Π.Κ} \times h_{\Delta.Π.Κ} = 0.375 m^2 \times 1.90 m = 0.713 m^3 = 713 l$$

Επιλέγεται από το εμπόριο κυλινδρική δεξαμενή με κωνικό πυθμένα Σχήμα 41 συνολικού όγκου  $V_w=1200$  L διαστάσεων:

- Διαμέτρου: 1200 cm
- Ύψους : 1900 cm



Σχήμα 41: Δεξαμενή καθίζησης εμπορίου 1200 L.

[<https://enduramaxx.co.uk>]

### 6.6.1 Χρόνος παραμονής δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης

Αν τα λύματα αφηθούν στη δεξαμενή για μεγάλο χρονικό διάστημα θα πραγματοποιηθεί σήψη, παραγωγή υδρόθειου-μεθανίου και επομένως άσχημες οσμές. Για τη σωστή λειτουργία της εγκατάστασης ο χρόνος παραμονής των λυμάτων στην Δ.Π.Κ είναι σημαντικός. Ο χρόνος παραμονής υπολογίζεται ως:

$$t_{\Delta.Π.Κ} = \frac{V_{\Delta.Π.Κ}}{Q_H^{max}} = \frac{0.713 m^3}{11.25 \left(\frac{m^3}{d}\right)} = 0.063 d = 1.52 h$$

### 6.6.2 Ισοζύγιο δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης

Τα δεδομένα εισόδου στη Δ.Π.Κ είναι:

- $Q_H^{max} = 11.25 \left(\frac{m^3}{d}\right)$
- $BOD_5 = 3 \frac{kg}{d} = 266 \left(\frac{mg}{l}\right)$
- $TSS = 3.75 \frac{kg}{d} = 334 \left(\frac{mg}{l}\right)$

Εκτιμάτε πως στη Δ.Π.Κ πραγματοποιείται απομάκρυνση στερεών:

- SS: 50%
- $BOD_5$ : 30%

Επομένως στην έξοδο:

- $SS_{Eξόδου} = 0.4 \times 334 \left(\frac{mg}{l}\right) = 133.60 \left(\frac{mg}{l}\right)$
- $BOD_{5,Eξόδου} = 0.70 \times 266 \left(\frac{mg}{l}\right) = 186.20 \left(\frac{mg}{l}\right)$

Στον πυθμένα της Δ.Π.Κ:

- $SS_{Πυθμένα} = 0.6 \times 334 \left(\frac{mg}{l}\right) = 200.40 \left(\frac{mg}{l}\right)$
- $BOD_{5,Πυθμένα} = 0.30 \times 266 \left(\frac{mg}{l}\right) = 79.8 \left(\frac{mg}{l}\right)$

## 6.7 Διαστασιολόγηση τεχνητού Υγροβιότοπου κατακόρυφης υπό-επιφανειακής ροής (CW-VSSF) του οικισμού

### 6.7.1 Γενικά για τις μεθοδολογίες διαστασιολόγησης (CW-VSSF)

Οι μεθοδολογίες διαστασιολόγησης είτε να προέρχονται από μηχανιστικές σχέσεις υπολογισμού που σχετίζονται με την παρουσία οξυγόνου, είτε να προκύπτουν από εμπειρικά δεδομένα. Χαρακτηριστικό είναι ότι πολλοί VF έχουν διαστασιολογηθεί με εμπειρικές σχέσεις που αφορούν την αναγκαία επιφάνεια ανά κάτοικο.

Στην πορεία προσδιορίστηκαν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα κρίσιμα χαρακτηριστικά σε μια μονάδα. Τα χαρακτηριστικά που έχουν βαρύτητα σε ένα σύστημα CW-VSSF είναι αυτά που αφορούν την επιτρεπόμενη υδραυλική φόρτιση (Hydraulic Loading Rate HLR) και την επιτρεπόμενη οργανική φόρτιση (Organic Loading Rate OLR) [Stefanakis et al., 2014], όπου είναι και τα στοιχεία όπου αλληλεπιδρούν με το πρόβλημα της έμφραξης, το οποίο είναι από τα σημαντικότερα προβλήματα για τους VF αλλά ειδικά για τους CW-VSSF. Από τις μηχανιστικές σχέσεις απομάκρυνσης το μεγαλύτερο βάρος πέφτει σε αυτές που περιγράφουν την ικανότητα πρόσληψης οξυγόνου (Oxygen Transfer Capacity OTC) της εγκατάστασης. Αυτό σχετίζεται με το γεγονός ότι οι σημαντικότερες βιοχημικές διεργασίες προϋποθέτουν την παρουσία οξυγόνου (αποσύνθεση της οργανικής ύλης, νιτροποίηση). Παράλληλα συνδέεται με ένα από τα συγκριτικά προτερήματα του συγκεκριμένου είδους CW, δηλαδή τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων οξυγόνου. Γενικώς η πρόσληψη οξυγόνου εντός του συστήματος γίνεται με τρεις τρόπους:

- 1) Ύπαρξη διαλυμένου οξυγόνου εντός των λυμάτων.
- 2) Πρόσληψη λόγω του διακοπτόμενου τρόπου παροχέτευσης του συστήματος.
- 3) Πρόσληψη λόγω ατμοσφαιρικής διάχυσης. [Stefanakis et al., 2014]

Παρόλο που η ύπαρξη διαλυμένου οξυγόνου εντός των λυμάτων σαν πηγή οξυγόνου δεν είναι τόσης σημασίας σε σχέση με τις άλλες δύο, η πρόσληψη οξυγόνου λόγω της ατμοσφαιρικής διάχυσης είναι ιδιαιτέρως κρίσιμος παράγοντας. Ειδικά για τα ανώτερα επίπεδα του στρώματος ενός συστήματος CW-VSSF η πρόσληψη οξυγόνου μέσω της ατμόσφαιρας είναι και η πιο σημαντική πηγή οξυγόνου [Kayser & Kunst 2005].

Στον παρόν οικισμό οι μεθοδολογίες διαστασιολόγησης που επιλέγηκαν χωρίζονται σε:

- Μεθοδολογίες σχεδιασμού με εμπειρικά κριτήρια και δεδομένα (HLR, OLR)
- Μεθοδολογίες σχεδιασμού με την χρήση μηχανιστικών σχέσεων για την πρόσληψη οξυγόνου (OTC).

### 6.7.2 Διαστασιολόγηση βάσει της επιτρεπόμενης υδραυλικής φόρτισης (HLR)

Σχετικά με την διαστασιολόγηση μέσω της επιτρεπόμενης υδραυλικής φόρτισης, πρέπει να γίνει η επιλογή της τιμής αυτής της παραμέτρου. Ο παραπάνω όρος επηρεάζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής όπου θα κατασκευαστεί ο υγροβιότοπος. Οι τιμές της επιτρεπόμενης υδραυλικής φόρτισης γενικώς κυμαίνονται μεταξύ 0.05-0.1 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d) για τα εγκαταστάσεις σε ψυχρά κλίματα και μέχρι 0.15-0.2 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d) για θερμά [Stefanakis et al. 2014]

Στον παρόν οικισμό και καθώς η λειτουργία του αναμένεται να είναι μόνο τη θερινή περίοδο (θερμό κλίμα) πλαισία επιλέγεται τιμή επιτρεπόμενης υδραυλικής φόρτισης ίση με  $HLR = 0.17 \text{ (m}^3/\text{d/m}^2\text{)}$ . Η απαιτούμενη επιφάνεια προκύπτει από τη σχέση:

$$A_{V.F,1} = Q_H^{max} \times HLR \quad (7.5)$$

Όπου:

$A_{V.F,1}$ : η επιφάνεια του υγροβιότοπου ( $\text{m}^2$ )

$Q_H^{max}$ : η μέγιστη ημερήσια παροχή λυμάτων ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

$HLR$ : η επιτρεπόμενη υδραυλική φόρτιση ( $\text{m}^3/\text{d/m}^2$ )

Επομένως:

$$A_{V.F,1} = \frac{Q_H^{max}}{HLR} = \frac{11.25 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)}{0.17 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d} \times \text{m}^2}\right)} = 66.18 \text{ (m}^2\text{)}$$

### 6.7.3 Διαστασιολόγηση βάσει της επιτρεπόμενης οργανικής φόρτισης (OLR)

Σχετικά με την διαστασιολόγηση μέσω της επιτρεπόμενης οργανικής φόρτισης ομοίως πρέπει να γίνει η επιλογή της τιμής αυτής της παραμέτρου. Ο παραπάνω όρος επηρεάζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής όπου θα κατασκευαστεί το σύστημα CW-VSSF. Οι τιμές της επιτρεπόμενης οργανικής φόρτισης γενικώς κυμαίνονται μεταξύ 20-30 ( $\text{gCOD/d/m}^2$ ), για τις εγκαταστάσεις σε ψυχρά κλίματα και μέχρι 80 ( $\text{gCOD/d/m}^2$ ), για θερμά [Stefanakis, 2014].

Στον παρόν οικισμό και καθώς η λειτουργία του αναμένεται να είναι μόνο τη θερινή περίοδο (θερμό κλίμα) επιλέγεται τιμή επιτρεπόμενης υδραυλικής φόρτισης ίση  $OLR=40 \text{ (gCOD/d/m}^2\text{)}$ . Η απαιτούμενη επιφάνεια προκύπτει από τη σχέση:

$$A_{V.F,2} = \frac{C_i \times Q_H^{max}}{OLR} \quad (7.6)$$

Όπου:

$A_{V.F,2}$ : η επιφάνεια του υγροβιότοπου ( $m^2$ )

$C_i$ : το COD εισόδου ( $mg/L$ )

$Q_H^{max}$ : η παροχή λυμάτων ( $m^3/d$ )

OLR: η επιτρεπόμενη οργανική φόρτιση ( $gCOD/d/m^2$ ).

Επομένως:

$$A_{V.F,2} = \frac{C_i \times Q_H^{max}}{OLR} = \frac{186.20 \left(\frac{mg}{l}\right) \times 11.25 \left(\frac{m^3}{d}\right)}{40 \left(\frac{gCOD}{d \times m^2}\right)} = 52.37 (m^2)$$

#### 6.7.4 Διαστασιολόγηση με την χρήση σχέσεων για την πρόσληψη οξυγόνου βάσει το ισοζύγιο οξυγόνου κατά Cooper.

Κατά τον Cooper (1999) η ποσότητα του οξυγόνου όπου απαιτείται για την λειτουργία του συστήματος προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$OD = Q_H^{max} \times \left[ 4.3 \times \left( 54 \left(\frac{mg}{l}\right) - 10 \left(\frac{mg}{l}\right) \right) + \left( C_{BOD,i} - 25 \left(\frac{mg}{l}\right) \right) \right] \quad (7.7)$$

Όπου:

OD: το απαιτούμενο οξυγόνο (Oxygen Demand), ( $g/d$ )

Q: η παροχή λυμάτων ( $m^3/d$ )

$C_{N,i}$ : η συγκέντρωση του συνολικού αζώτου στην είσοδο ( $mg/L$ )

$C_{N,o}$ : η συγκέντρωση του συνολικού αζώτου στην έξοδο ( $mg/L$ )

$C_{BOD,i}$ : η συγκέντρωση οργανικού φορτίου στην είσοδο σε όρους BOD ( $mg/L$ )

$C_{BOD,o}$ : η συγκέντρωση οργανικού φορτίου στην έξοδο σε όρους BOD ( $mg/L$ )

Επομένως:

$$OD = Q_H^{max} \times \left[ 4.3 \times (C_{N,i} - C_{N,o}) + (C_{BOD,i} - C_{BOD,o}) \right] \rightarrow$$

$$\rightarrow OD = 11.25 \left(\frac{m^3}{d}\right) \times \left[ 4.3 \times \left( 54 \left(\frac{mg}{l}\right) - 10 \left(\frac{mg}{l}\right) \right) + \left( 186.20 \left(\frac{mg}{l}\right) - 25 \left(\frac{mg}{l}\right) \right) \right] \rightarrow$$

$$\rightarrow OD = 3,942 \left(\frac{kg}{d}\right)$$

Η απαιτούμενη επιφάνεια προκύπτει από την σχέση:

$$A_{V.F,3} = \frac{OD}{OTR} \quad (7.8)$$

Όπου:

$A_{V.F,3}$ : η επιφάνεια του υδροβιότοπου ( $m^2$ )

OD : το απαιτούμενο οξυγόνο (Oxygen Demand), (kg/d)

OTR : ο ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου (Oxygen Transfer Rate OTR), ( $gO_2/d/m^2$ )

Για το τον ρυθμό μεταφοράς οξυγόνου (OTR) οι Cooper et al (1999) αναφέρουν ότι κυμαίνεται μεταξύ 50-90 ( $gO_2/d/m^2$ ). Για τον οικισμό θα χρησιμοποιηθεί η τιμή OTR=50 ( $gO_2/d/m^2$ ).

Επομένως:

$$A_{V.F,3} = \frac{OD}{OTR} = \frac{3,942 \left(\frac{kg}{d}\right)}{50 \left(\frac{gO_2}{d \times m^2}\right)} = 78.84 (m^2)$$

### 6.7.5 Επιλογή επιφάνειας (CW-VSSF)

Η τελική επιφάνεια για κάθε περίπτωση προκύπτει ως η μέγιστη από τις παραπάνω υπολογισθέντες επιφάνειες έτσι ώστε να πληρούνται όλα τα κριτήρια και να καλύπτεται και η πλέον δυσμενής περίπτωση. Επομένως η τελική επιφάνεια ισούται με:

$$A_{V.F} = \max(A_{V.F,1}, A_{V.F,2}, A_{V.F,3}) \rightarrow$$

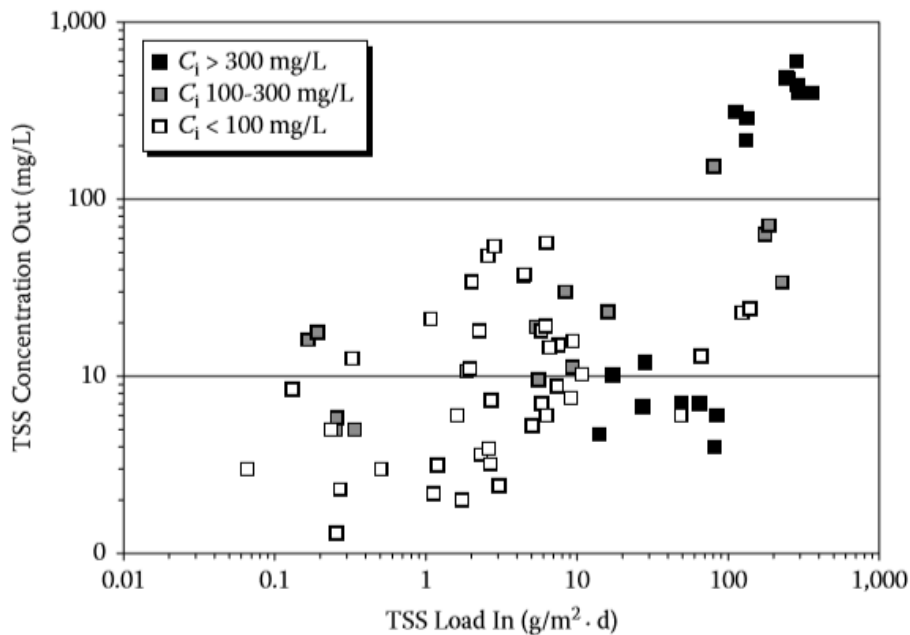
$$\rightarrow A_{V.F} = \max(66.18 (m^2), 52.37 (m^2), 78.84 (m^2)) = 78.84 (m^2)$$

### 6.7.6 Απομάκρυνση ολικών στερεών (TSS)

Η απομάκρυνση των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) εντός ενός συστήματος CW-VSSF, είναι κατά βάση μια φυσική διεργασία και προσομοιάζεται με τη λειτουργία των φίλτρων. Ο τρόπος απομάκρυνσης είναι παρόμοιος: Τα λύματα κατά τη πορεία τους στην κάθετη διεύθυνση φιλτράρονται και τα TSS παγιδεύονται εντός του στρώματος του υδροβιότοπου και μέρος τους αποσυντίθεται. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των συστημάτων CW-VSSF είναι ότι η παγίδευση αυτή των TSS γίνεται



πολύ κοντά στην επιφάνεια όπου και δημιουργείται ένα βιοφίλμ [Kadlec & Wallace, 2009]. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής ο υπολογισμός της απομάκρυνσης έγινε με βάση το Σχήμα 42.



Σχήμα 42: Συγκέντρωση TSS εξόδου στους CW-VSSF [Kadlec & Wallac].

Για συγκέντρωση  $TSS = 133.60 \left(\frac{mg}{l}\right) = 133.60 \left(\frac{g}{m^3}\right)$ ,  $100 \left(\frac{mg}{l}\right) \leq TSS \leq 300 \left(\frac{mg}{l}\right)$ :

$$\frac{TSS \times Q_H^{max}}{A_{V.F}} = \frac{133.60 \left(\frac{g}{m^3}\right) \times 11.25 \left(\frac{m^3}{d}\right)}{78.84_{(m^2)}} = 19 \left(\frac{g}{d \times m^2}\right)$$

Επομένως από το διάγραμμα προκύπτει:

$$TSS_{εξόδου} = 10 \left(\frac{mg}{l}\right) < 35 \left(\frac{mg}{l}\right).$$

### 6.7.7 Διαστασιολόγηση επιμέρους μονάδων

Για την διαστασιολόγηση των επιμέρους μονάδων που θα απαρτίζουν την τελική επιφάνεια έχουν ληφθεί υπόψη τα εξής κριτήρια:

- Η επιλογή για την φύτευση ήταν η χρήση καλαμιών (*Phragmites australis*) τα οποία είναι και τα πλέον διαδεδομένα
- Ο λόγος του μήκους προς το πλάτος (L/W) της μονάδας CW-VSSF επιλέχθηκε 2/1.
- Η κλίση των μονάδων επιλέχθηκε ομοίως ίση με 1%
- Η επιλογή του υλικού πληρώσεως και το πάχος του κάθε στρώματος έχει αυξημένη βαρύτητα στους CW-VSSF για λόγους που σχετίζονται με την λειτουργία τους. Η επιλογή των επιμέρους υλικών και του πάχους της κάθε στρώσης έγινε με βάση τους Αυστριακούς κανονισμούς (ONORM, 2009). Οι παραδοχές σχεδιασμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά υλικών πληρώσεως στους CW-VSSF.

Είδος Στρώσης	Οριακές Τιμές (m)	Επιλεχθέντες Τιμές	Κοκκομετρικά Χαρακτηριστικά Στρώσης
Καθαρό Βάθος Φίλτρου	$\geq 0.5$	1.4	0-4 (sand)
Βάθος Μεταβατικής Στρώσης	$\geq 0.1$	0.1	4-8 (gravel)
Πλεονάζον Βάθος	$\geq 0.2$	0.3	8-16 (gravel)
Βάθος Στρώσης Απορροής	$\geq 0.2$	0.2	16-32 (gravel)

Τελικώς οι διαστάσεις του υγροβιότοπου προκύπτουν ως εξής:

Για το πλάτος:

$$W = \sqrt{\frac{A_{V.F}}{\left(\frac{L}{W}\right)}} \quad (7.9)$$

Όπου:

W : το πλάτος της εγκατάστασης (m)

$A_{V.F}$  : η τελική επιφάνεια (m<sup>2</sup>)

L/W : ο λόγος πλάτους προς μήκος T.Y, L/W=2.

Επομένως:

$$W = \sqrt{\frac{A_{V.F}}{\left(\frac{L}{W}\right)}} = \sqrt{\frac{78.84(m^2)}{2}} = 6.28_m \approx 6.50_m$$

Για το μήκος:

$$L = \frac{A_{V.F}}{W}$$

Όπου:

- L : το μήκος της εγκατάστασης (m)
- $A_{V.F}$ : Επιφάνεια του τεχνητού υγροβιότοπου ( $m^2$ )
- W : το πλάτος της εγκατάστασης (m)

Επομένως:

$$L = \frac{A_{V.F}}{W} = \frac{78.84(m^2)}{6.50_m} = 12.13_m \approx 12.50_m$$

Επιπροσθέτως η διαστασιολόγηση των επιμέρους μονάδων ελέγχθηκε έτσι ώστε να πληρούνται τα παρακάτω κριτήρια:

- ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (Hydraulic Retention Time  $HRT \geq 5$  (d), επιλέχθηκε η τιμή των 5 (d) ως ελάχιστος χρόνος παραμονής σε Τ.Υ για την επιτυχή απομάκρυνση παραμέτρων όπως (ο φώσφορος, βαρέα μέταλλα, παθογόνοι μικροοργανισμοί) και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$HRT = \frac{N \times N' \times W \times L \times d \times n}{Q_H^{max}} \quad (7.10)$$

Όπου:

- HRT: ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στη μονάδα (d)
- W: το τελικό πλάτος (m)
- N: το πλήθος παράλληλων σειρών της εγκατάστασης  $N = 1$
- N': το πλήθος επιμέρους μονάδων ανά σειρά  $N' = 1$
- L: το τελικό μήκος (m)
- d: το καθαρό βάθος,  $d=1.4$  m
- n: το πορώδες υλικού πληρώσεως  $n=0.43-0.63$  επιλέγεται  $n=0.5$  (άμμος)  
[\[https://en.wikipedia.org/wiki/Pore\\_space\\_in\\_soil\]](https://en.wikipedia.org/wiki/Pore_space_in_soil)
- $Q_H^{max}$ : η παροχή λυμάτων ( $m^3/d$ )

Επομένως:

$$HRT = \frac{N \times N' \times W \times L \times d \times n}{Q_H^{max}} = \frac{1 \times 1 \times 6.50_m \times 12.50_m \times 1.4_m \times 0.5_m}{11.25 \left(\frac{m^3}{d}\right)} = 5.1_d > 5_d$$

- ο Ο ρυθμός υδραυλικής φόρτισης (Hydraulic Loading Ratio HLR) κυμαίνεται μεταξύ 0.05-0.20 (m<sup>3</sup>/d/m<sup>2</sup>) και υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$HLR = \frac{Q_H^{max}}{W \times N \times N' \times L} \quad (7.11)$$

Όπου:

HLR: ο ρυθμός υδραυλικής φόρτισης (m<sup>3</sup>/d/m<sup>2</sup>)

Q<sub>H</sub><sup>max</sup>: η παροχή λυμάτων (m<sup>3</sup>/d)

N: το πλήθος παράλληλων σειρών της εγκατάστασης N = 2

N': το πλήθος επιμέρους μονάδων ανά σειρά N' = 1

W: το τελικό πλάτος (m)

L: το τελικό μήκος (m)

Επομένως:

$$HLR = \frac{Q_H^{max}}{W \times L} = \frac{11.25 \left(\frac{m^3}{d}\right)}{6.50_m \times 1 \times 1 \times 12.50_m} = 0.14 \left(\frac{m^3}{d \times m^2}\right) > 0.05 \left(\frac{m^3}{d \times m^2}\right)$$

Για την αποφυγή του κινδύνου έμφραξης κατά [Reed et al (1987)] του Τ.Υ λόγω της φόρτισης πρέπει να ισχύει:

$$k_s \times S < 8.6 \quad (7.12)$$

Όπου:

k<sub>s</sub>: η υδραυλική αγωγιμότητα του υλικού πληρώσεως, k<sub>s</sub> = 400 (m<sup>3</sup>/d/m<sup>2</sup>)

[[https://en.wikipedia.org/wiki/Pore\\_space\\_in\\_soil](https://en.wikipedia.org/wiki/Pore_space_in_soil)]

S: η κλίση της μονάδας, S = 1%

Επομένως:

$$k_s \times S = 400 \left(\frac{m^3}{d \times m^2}\right) \times 1\% = 4 < 8.6$$

## 7 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

---

### 7.1 Στερεά απόβλητα

Στερεά απόβλητα είναι τα στερεά ή ημιστερεά υλικά, τα οποία κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες δεν έχουν αρκετή αξία ή χρησιμότητα για τον κάτοχό τους ώστε αυτός να συνεχίσει να υφίσταται τη δαπάνη, τη μέριμνα ή το βάρος της διατήρησής τους [Παναγιωτακόπουλος, 2002].

Τα στερεά απόβλητα ταξινομούνται ως εξής:

- Αστικά στερεά απόβλητα (ή δημοτικά στερεά απόβλητα), τα οποία είναι τα στερεά απόβλητα που παράγονται από τις δραστηριότητες των νοικοκυριών (οικιακά στερεά απόβλητα), των εμπορικών δραστηριοτήτων (εμπορικά στερεά απόβλητα), των καθαρισμών οδών και άλλων κοινόχρηστων χώρων, των σχολείων, νοσοκομείων κτλ. (απόβλητα ιδρυμάτων). Επίσης, στα αστικά στερεά απόβλητα ανήκουν τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων και τα απόβλητα εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων.
- Βιομηχανικά στερεά απόβλητα, τα οποία είναι απόβλητα που παράγονται από βιομηχανικές δραστηριότητες και περιλαμβάνουν κυρίως σκουπίδια, τέφρες, υλικά κατεδαφίσεων και οικοδομικά μπάζα.
- Επικίνδυνα στερεά απόβλητα, τα οποία προξενούν άμεσο κίνδυνο ή μέσα σ' ένα χρονικό διάστημα στον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά. Τα επικίνδυνα απόβλητα είναι αναφλέξιμα, διαβρωτικά, τείνουν να αντιδρούν με άλλα και τέλος, είναι τοξικά [Καρβούνης, 1991].

### 7.2 Κομποστοποίηση

Κομποστοποίηση είναι η ελεγχόμενη (ως προς τον αερισμό την υγρασία, το λόγο άνθρακα/άζωτο το pH και τη θερμοκρασία) βιοοξειδωση ετερογενών οργανικών υλικών όπου ετερογενείς και κυρίως ετερότροφοι μικροοργανισμοί βιοαποδομούν οργανικές ενώσεις [Παναγιωτακόπουλος 2002]. Τα προϊόντα της κομποστοποίησης είναι νερό, διοξείδιο του άνθρακα και το κόμπος το οποίο είναι ένα χουμικό περιεχόμενο, πλούσιο σε οργανική αξία.

#### 5.1 Γενικά για την Κομποστοποίηση

Η Κομποστοποίηση βασίζεται στην φυσική διεργασία που έχει ως αποτέλεσμα την αποικοδόμηση της οργανικής ουσίας από μικροοργανισμούς. Η αποικοδόμηση πραγματοποιείται εφόσον παρέχεται στην οργανική μάζα υγρασία και επαρκής ποσότητα αέρα. Η διεργασία είναι ίδια με την αποικοδόμηση που συντελείται στην φύση, για παράδειγμα στα δασικά εδάφη ή στους αγρούς. Το γεγονός ότι η διεργασία πραγματοποιείται υπό ελεγχόμενες συνθήκες διαφοροποιεί την κομποστοποίηση από την φυσική αποικοδόμηση που πραγματοποιείται στην φύση και είναι υπεύθυνη για την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων [Χαζιράκης, 2007].

Η κομποστοποίηση αποτελεί μέθοδο διαχείρισης του οργανικού μέρους των στερεών απορριμμάτων και αποσκοπεί στην βέλτιστη αποικοδόμηση του οργανικού κλάσματος και την δημιουργία ενός τελικού προϊόντος, σταθερού, ιδανικό για αποθήκευση και για χρήση στο έδαφος, χωρίς να επιβαρύνει το περιβάλλον.

Η κομποστοποίηση συμβαίνει σε δύο κυρίως στάδια. Στο πρώτο στάδιο, οι μικροοργανισμοί αποσυνθέτουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων σε απλούστερες ενώσεις, παράγοντας θερμότητα ως αποτέλεσμα της μεταβολικής δραστηριότητας. Το μέγεθος του σωρού μειώνεται στο στάδιο αυτό. Στο δεύτερο στάδιο έχουμε την ωρίμανση του υλικού και την παραγωγή κομπόστ. Οι μικροοργανισμοί εξαντλούν το απόθεμα των διαθέσιμων θρεπτικών του κομπόστ και επιβραδύνεται η δραστηριότητά τους. Σαν αποτέλεσμα η θερμότητα σταδιακά μειώνεται και το κομπόστ γίνεται ξηρό και εύθρυπτο ως προς την υφή του. Όταν το στάδιο αυτό ολοκληρώνεται τότε το κομπόστ θεωρείται σταθεροποιημένο ή ώριμο [EPA, 1994].

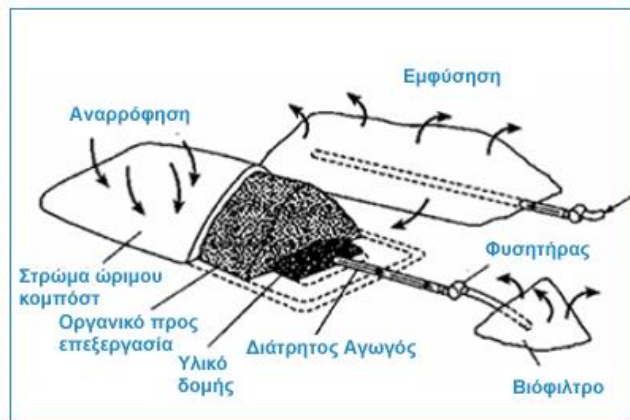
## 7.3 Συστήματα Κομποστοποίησης

### 7.3.1 Συστήματα ανοιχτού τύπου

Είναι συστήματα καταλληλότερα για μικρές μονάδες και για μεμονωμένους παραγωγούς. Χωρίζονται σε συστήματα με δυναμικό αερισμό και σε συστήματα με στατικό αερισμό. Στα συστήματα ανοιχτού τύπου τα ψιλοτεμαχισμένα υλικά στοιβάζονται είτε σε σωρούς είτε σε γραμμές πρισματικής διατομής. Οι σωροί αυτοί αναδεύονται περιοδικά και μετά από 3-5 μήνες όταν έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία, το compost αφού πρώτα κοσκινιστεί (για να αφαιρεθούν τυχόν χονδρόκοκκα ή αδρανή υλικά), σακιάζεται και οδηγείται στην κατανάλωση [Σουρμελή, 2006]. Στο Σχήμα 43 παρουσιάζονται συστήματα με δυναμικό καθώς και στατικό αερισμό.



• τα αναστρεφόμενα σειράδια (Windrows)



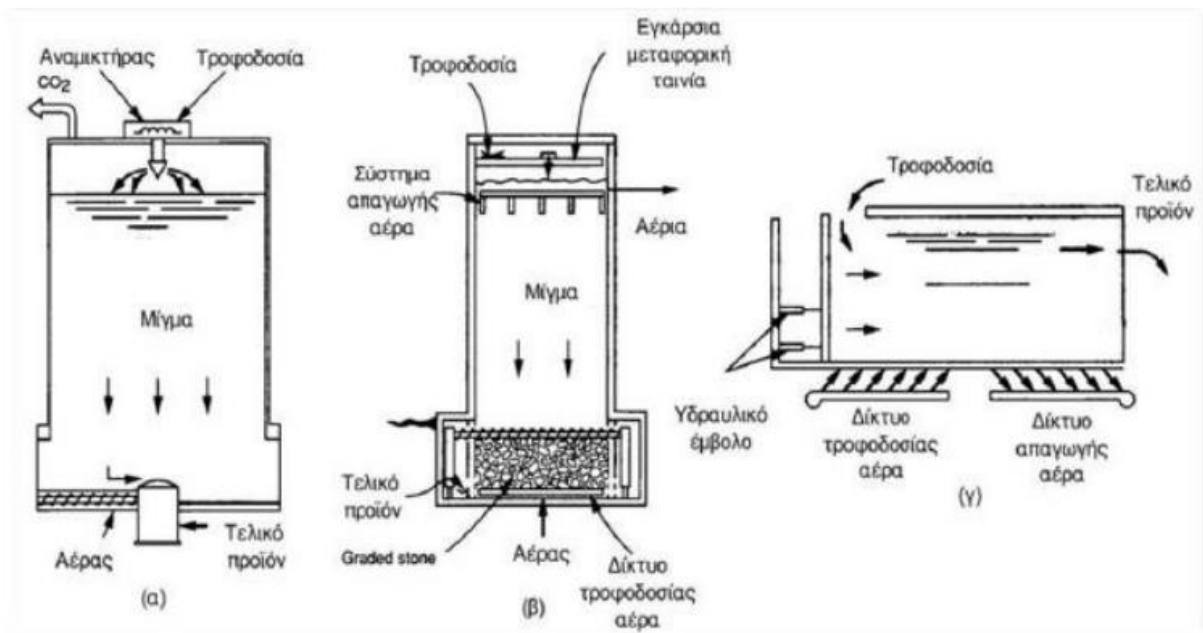
• τους Αεριζόμενους Στατικούς Σωρούς (Aerated Static Pile -ASP)

Σχήμα 43: Σύστημα κομποστοποίησης ανοιχτού τύπου.

[<https://www.thalis-es.gr/images/anaerovia.png>]

### 7.3.2 Συστήματα κλειστού τύπου

Στα κλειστά συστήματα Σχήμα 44 κομποστοποίησης, η διαδικασία πραγματοποιείται σε κλειστούς αντιδραστήρες. Αυτοί διακρίνονται σε κατακόρυφους, οριζόντιους και σε περιστρεφόμενα τύμπανα. Όπως είναι λογικό, η παρακολούθηση των παραμέτρων της κομποστοποίησης (θερμοκρασία, pH, υγρασία) είναι καλύτερη σε αυτά τα συστήματα σε σχέση με τα ανοιχτά συστήματα κομποστοποίησης



Σχήμα 44: Κλειστό σύστημα κομποστοποίησης[Λουκάς 2008].

## 7.4 Ανακύκλωση

Η ανακύκλωση ορίζεται ως εκείνη η συστηματική διαδικασία σύμφωνα με την οποία πραγματοποιείται η διαλογή και η επαναφορά των υλικών από τα απορρίμματα στον οικονομικό αλλά και κοινωνικό κύκλο προκειμένου να παραχθούν ξανά νέα προϊόντα. Η ανακύκλωση μπορεί να ωφελήσει την κοινότητά και το περιβάλλον. Τα οφέλη της ανακύκλωσης συνοπτικά είναι:

- Μειώνει την ποσότητα των αποβλήτων που αποστέλλονται σε χώρους υγειονομικής ταφής και αποτεφρωτήρες
- Διατηρεί τους φυσικούς πόρους όπως ξυλεία, νερό και μέταλλα
- Αυξάνει την οικονομική ασφάλεια μέσω εξοικονόμησης πηγής υλικών.
- Αποτρέπει τη ρύπανση μειώνοντας την ανάγκη συλλογής νέων πρώτων υλών
- Εξοικονομεί ενέργεια

[Tchobanoglous, 2012]

Τα βασικά στάδια της ανακύκλωσης είναι η διαλογή στην πηγή (στην οποία συμμετέχει και ο πολίτης), η αποκομιδή από τους δήμους, η διαλογή στα κέντρα ανακυκλώσιμων υλικών, η συμπίεση – δεματοποίηση και η επαναχρησιμοποίηση μέσα από την κατάλληλη επεξεργασία για το κάθε υλικό που ανακυκλώνεται.

Τυπικά υλικά που ανακυκλώνονται περιλαμβάνουν θραύσματα σιδήρου και χάλυβα, δοχεία αλουμινίου, γυάλινες φιάλες, χαρτί, ξύλο και πλαστικά.

Τα υλικά τα οποία ανακυκλώνονται και επαναχρησιμοποιούνται εξοικονομούν πολύτιμες πρώτες ύλες καθώς χωρίς την διαδικασία της ανακύκλωσης τα υλικά αυτά θα έπρεπε να εξαχθούν από το περιβάλλον και να υποβληθούν σε πολλαπλάσιες ενεργοβόρες διαδικασίες όπως για παράδειγμα τα μέταλλα. Η ανακύκλωση μπορεί να συμβάλει στη μείωση των ποσοτήτων στερεών αποβλήτων που κατατίθενται

σε χώρους υγειονομικής ταφής, οι οποίες έχουν γίνει όλο και πιο ακριβές. Η ανακύκλωση μειώνει επίσης τη ρύπανση του αέρα, του νερού και της γης που προκύπτει από τη διάθεση αποβλήτων. [Baolong, 2019]

Με την διαδικασία της ανακύκλωσης τα απορρίμματα χρησιμοποιούνται ως το κύριο υλικό με το οποίο θα αναπτυχθούν νέα προϊόντα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας καθώς και την δημιουργία είτε ίδιων είτε διαφορετικών προϊόντων, ακόμα και μέσα από μετουσίωση προϊόντων. Για παράδειγμα, μετά την ανακύκλωση ενός μετάλλου, αυτό το μέταλλο μπορεί να αναμειχθεί με διαφορετικό μέταλλο και να δημιουργηθεί ένα κράμα μετάλλων το οποίο να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή νέων υλικών. [Tchobanoglous, 2012]

Η διαδικασία της ανακύκλωσης είναι η πιο φιλική προς το περιβάλλον διαχείριση απορριμμάτων. Με την ανακύκλωση ενισχύεται η βιώσιμη ανάπτυξη, η προστασία του περιβάλλοντος ενώ η όλη διαδικασία της ανακύκλωσης έχει πολύ λίγους ρύπους. Αν και η ανακύκλωση έχει σημαντική οικονομική απόδοση, αυτή εξαρτάται από το υλικό το οποίο ανακυκλώνεται.

## 7.5 Διαχείριση στερεών αποβλήτων στον οικισμό Αρμάθια Η. Ν. Κάσου

Το ζήτημα της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων αποτελεί ένα μείζονος σημασίας θέμα το οποίο χρίζει προσοχή. Οι μεθοδολογίες που θα χρησιμοποιηθούν για την αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων είναι και αυτές που αναλύθηκαν πρωτύτερα της ανακύκλωσης και της κομποστοποίησης.

Εσωτερικά του οικισμού θα υπάρχουν σημειακές εστίες ανά τακτά χωρικά διαστήματα περισυλλογής στερεών αποβλήτων Σχήμα 45. Σε αυτό το στάδιο οι κάτοικοι θα πρέπει να υιοθετήσουν την ιδέα καθώς η συνεργασία τους είναι απαραίτητη. Στις σημειακές εστίες περισυλλογής θα υπάρχουν τόσο κάδοι ανακύκλωσης, ξεχωριστοί για κάθε υλικό, όσο και κάδοι οι οποίοι θα δέχονται απορρίμματα βιοδιασπάσιμου χαρακτήρα. Αφού γίνει η συγκομιδή των ανακυκλώσιμων υλικών θα αποθηκεύονται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους και εν συνεχεία θα μεταφέρονται ώστε να επεξεργαστούν από μονάδες ανακύκλωσης με απώτερο σκοπό να χρησιμοποιηθούν εκ νέου.



Σχήμα 45: Κάδοι ανακύκλωσης αναλόγως το υλικό.

[<https://www.smartgreenpost.com/>]



Σχετικά με τα βιοδιασπάσιμα απορρίμματα μετά τη συλλογή τους και ανά τακτά χρονικά διαστήματα θα μεταφέρονται σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους να προς αποθήκευση, ώστε να επεξεργαστούν με τη μέθοδο της κομποστοποίησης. Το σύστημα κομποστοποίησης που ταιριάζει όταν πρόκειται για μικρές ποσότητες απορριμμάτων είναι το ανοιχτό σύστημα κομποστοποίησης είτε στατικά είτε δυναμικά αεριζόμενο. Επομένως επιλέγεται μια περιοχή όπου το ανάγλυφο της να παρουσιάζει πλάτωμα όπου είναι πρόσφορο ώστε να χωρομετρηθεί το σύστημα. Επίσης η περιοχή χωροθέτησης πρέπει να βρίσκεται σχετικά μακριά από τον οικισμό και κοντά στο φωτοβολταϊκό πάρκο που ώστε να παροχετεύεται με ενέργεια. Μετά το πέρας της βιολογικής επεξεργασίας τους και αφού έχουν πια σταθεροποιηθεί θα μεταφέρονται σε απόμερους χώρους ταφής ή θα χρησιμοποιούνται (αδαφοβελτιωτικό).

## 8 ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ ΟΙΚΙΣΜΟΥ

---

Η ηλεκτροδότηση του οικισμού θα γίνει μέσω Α.Π.Ε και πιο συγκεκριμένα μέσω της εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου κοντά σε αυτόν. Εφόσον η τιμή της ηλιοφάνειας στην περιοχή μελέτης είναι αγγίζει το μέγιστο και η παραγωγή ηλεκτρισμού θα έχει μια ικανοποιητική αξιοπιστία τους θερινούς ιδιαιτέρως καθώς και όλο το χρόνο. Η κάλυψη των απαιτήσεων ζήτησης τη νύχτα θα γίνεται μέσω ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης θαλασσινού νερού καθώς θα υπολογιστεί και γεννήτρια πετρελαίου για στη περίπτωση μη ηλιοφάνεια περιόδου μιας βδομάδας.

### 8.1 Απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας οικισμού τη θερινή περίοδο

Οι απαιτήσεις ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στον οικισμό προέρχονται από το σύνολο των υπηρεσιών της εγκατάστασης κατά την θερινή περίοδο και από το σύνολο λειτουργιών προετοιμασίας του το υπόλοιπο έτος. Δυσμενέστερο σενάριο κρίνεται εκείνο της θερινής περιόδου όπου και θα αναλυθεί. Οι παράγοντες ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας του οικισμού κατά τη λειτουργία του τη θερινή περίοδο είναι αυτή των κατοίκων του. Ο πληθυσμός αποτελείται από πενήντα (50) κατοίκους στον αριθμό οι οποίοι διαμένουν σε 10 υπερπολυτελείς οικίσκους και 10 απλούς. Επίσης στον οικισμό υπάρχουν χώροι μεγάλου ποσοστού καταναλώσεως ηλεκτρικής ενέργειας όπως (εστιατόριο, καθαριστήρια με πλυντήρια κέντρο νυχτερινής διασκέδασης, φορτιστές ηλεκτρικών αυτοκινήτων). Τέλος ο οικισμός στα πλαίσια της προσομοίωσης του με μια μικρογραφία smart city θα διαθέτει και 15 ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

#### 8.1.1 Μόνιμα φορτία οικισμού

Οι μόνιμες φορτίσεις του οικισμού καθίστανται οι φορτίσεις εκείνες που η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μόνιμη τις ώρες αιχμής. Σε αυτές θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν ο εξωτερικός φωτισμός του οικισμού Σχήμα 46 και 47, ο φωτισμός εσωτερικά των κτηρίων (μη συμπεριλαμβανομένου των κοιτώνων), οι ψυγείοκαταψύκτες τροφίμων (μη συμπεριλαμβανομένου των κοιτώνων), η ηλεκτρική ενέργεια για θέρμανση νερού, η ηλεκτρική φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων του οικισμού

- Η εγκατεστημένη ισχύς της ώρες αιχμής λόγω του εξωτερικού φωτισμού του οικισμού θα πραγματοποιηθεί με ηλιακά φωτιστικά δρόμου οπότε δεν υπολογίζονται στην ζήτηση. Παρακάτω παρουσιάζονται δυο τύποι αυτών.



Σχήμα 46: Ηλιακός φωτισμός φωταγώγησης δρόμων.

[<https://nextsystems.eu>]

Σχήμα 47: Ηλιακός φωτισμός δαπέδου για φωταγώγηση μονοπατιών.

[<https://www.igsolarpower.com>]

- Η εγκατεστημένη ισχύς της ώρες αιχμής λόγω εσωτερικού φωτισμού του οικισμού μη συμπεριλαμβανομένου αυτών των κοιτώνων παρουσιάζεται στον Πίνακα 11:

Πίνακας 9: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς εσωτερικού φωτισμού οικισμού.

Υπηρεσία	Αριθμός	Ισχύς (W)	Σύνολο (W)
Φυλάκιο Εισόδου	4	13	52
Αίθουσα Πολλαπλών Χρήσεων	30	13	390
Κυλικείο	4	13	52
Καθαριστήρια	8	13	104

<b>Κοινόχρηστοι Χώροι Υγιεινής</b>	8	13	104
<b>Κέντρο Νυχτερινής Διασκέδασης Αναγνωστήριο</b>	40	13	520
<b>TOTAL</b>	94	---	1222

- Η εγκατεστημένη ισχύς λόγω των ψυγείοκαταψυκτών του οικισμού μη συμπεριλαμβανομένου αυτών των κοιτώνων παρουσιάζεται στον Πίνακα 12:

Πίνακας 10: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ψυγείοκαταψυκτών οικισμού.

Υπηρεσία	Κέντρο Νυχτερινής Διασκέδασης	Κλειστό Γυμναστήριο	Κτήριο Διοικήσεως	Κυλικείο	Εστιατόριο	Χώρος Υποδοχής Καθιστικού
Αριθμός	2	1	1	2	2	1
Είδος	Επαγγελματικός	Κανονικός	Κανονικός	Κανονικός	Επαγγελματικός	Κανονικός
Ισχύς (W)	200	150	150	300	400	150
Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (W)	1350					

- Η εγκατεστημένη ισχύς για θέρμανση νερού δεν συμπεριλαμβάνεται στις μόνιμες φορτίσεις εφόσον θα χρησιμοποιηθούν ηλιακοί θερμοσίφωνες.
- Η εγκατεστημένη ισχύς των ηλεκτρικών αυτοκινήτων δεν συμπεριλαμβάνεται στις μόνιμες ζητήσεις ηλεκτρισμού στις ώρες αιχμής εφόσον έχει συγκεκριμενοποιηθεί πως τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα θα φορτίζονται τις ώρες μη αιχμής. Παρόλα αυτά στον αριθμό θα είναι 24 και θα φορτίζονται, δυο φορές το μήνα το ελάχιστο. Επιλέχθηκε το μοντέλο **ZHIDOU D2S** Σχήμα 48 τα κύρια χαρακτηριστικά του παρατίθενται στον Πίνακα 13.

Πίνακας 11: Κύρια χαρακτηριστικά ZHIDOU D2S.

Ισχύς	30 kW
Χωρητικότητα Μπαταρίας	7.6 kWh
Ενεργειακή Αυτονομία	150 km
Ενσωματωμένος Φορτιστής	ΝΑΙ
Αριθμός Ατόμων	2



Σχήμα 48: Ηλεκτρικό αυτοκίνητο ZHIDOU D2S.

[[https://cdn3.gcddata.gr/c3/p\\_800\\_1740990.png](https://cdn3.gcddata.gr/c3/p_800_1740990.png)]

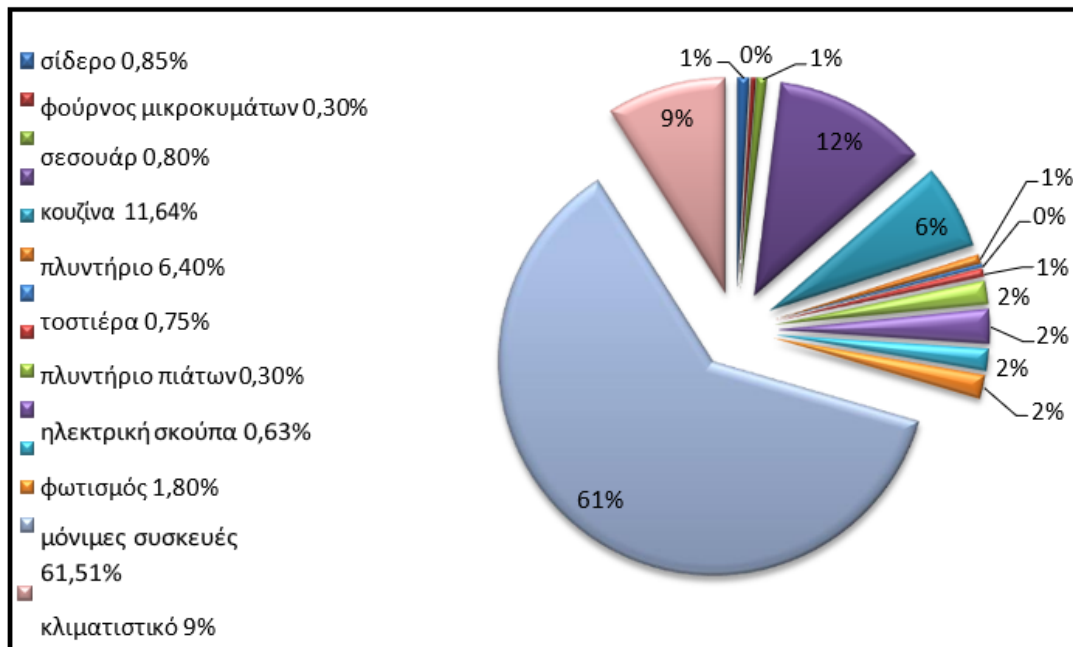
### 8.1.2 Μεταβαλλόμενα φορτία οικισμού

Για τη διερεύνηση του προφίλ του οικισμού, οι μεταβαλλόμενες ηλεκτρικές καταναλώσεις προσομοιώθηκαν με αυτές τυπικών οικιακών καταναλωτών, με σκοπό τη μελέτη της ενεργειακής του συμπεριφοράς. Ένα τυπικό νοικοκυριό δύο ατόμων κατά την περίοδο τη περίοδο λειτουργίας του οικισμού 01/06 - 31/08 . Εν συνεχεία παρουσιάζονται στον Πίνακα 14 τα φορτία της οικίας καθώς και η ποσοστιαία χρήση των ηλεκτρικών συσκευών της Σχήμα 49.

Πίνακας 12: Πίνακας φορτίων τυπικού νοικοκυριού [Τσαρτσάλη Ελένης 2013].

A/A	ΦΟΡΤΙΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
2.	Ψυγειοκαταψύκτης	1	150W
4.	Πλυντήριο ρούχων	1	2000W, max 2300W
5.	Πλυντήριο πιάτων	1	2400W
6.	Ηλεκτρική Κουζίνα	1	2200/2700W
7.	Φούρνος Μικροκυμάτων	1	1100W
8.	Κλιματιστικό (inverter)	1	540W
9.	Ηλεκτρική σκούπα	1	2000W
10.	Ηλεκτρικό σίδερο	1	2400W
11.	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής	1	80-120W
12.	Φορητός Η/Υ	1	90W
13.	Ηλεκτρική Τοστιέρα	1	2100W
14.	Μηχανή καφέ	1	1200W
15.	Τηλεόραση	1	155W
16.	Λάμπες	14	11W
17.	Λάμπες	3	25W
18.	Λάμπες	1	160W
19.	Σεσουάρ	1	2000W

Επίσης παρουσιάζεται και η ποσοστιαία χρήση κάθε ηλεκτρικής συσκευής τη θερινή περίοδο.



Σχήμα 49: Ποσοστιαία χρήση ηλεκτρικών συσκευών τη θερινή περίοδο 1/06 - 31/08 [Τσαρτσάλη 2013]

Παρατηρείται πως το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης εσωτερικά των κοιτώνων το έχουν οι μόνιμες συσκευές. Σε αυτές ανήκουν ο ψυγείοκαταψύκτης και οι λάμπες συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 346W.

Το δυσμενέστερο σενάριο κατανάλωσης του οικισμού είναι την ώρα αιχμής να προστεθεί στα μόνιμα φορτία και μια ταυτόχρονη ρεαλιστική κατανάλωση μεταβαλλόμενων φορτίων από τους κατοίκους του οικισμού. Το σενάριο αιχμής με την μέγιστη κατανάλωση κρίνεται αυτό μεταξύ 18:00-20:30 όπου πιθανώς οι κάτοικοι να ετοιμάζονται για κάποια νυχτερινή έξοδο.

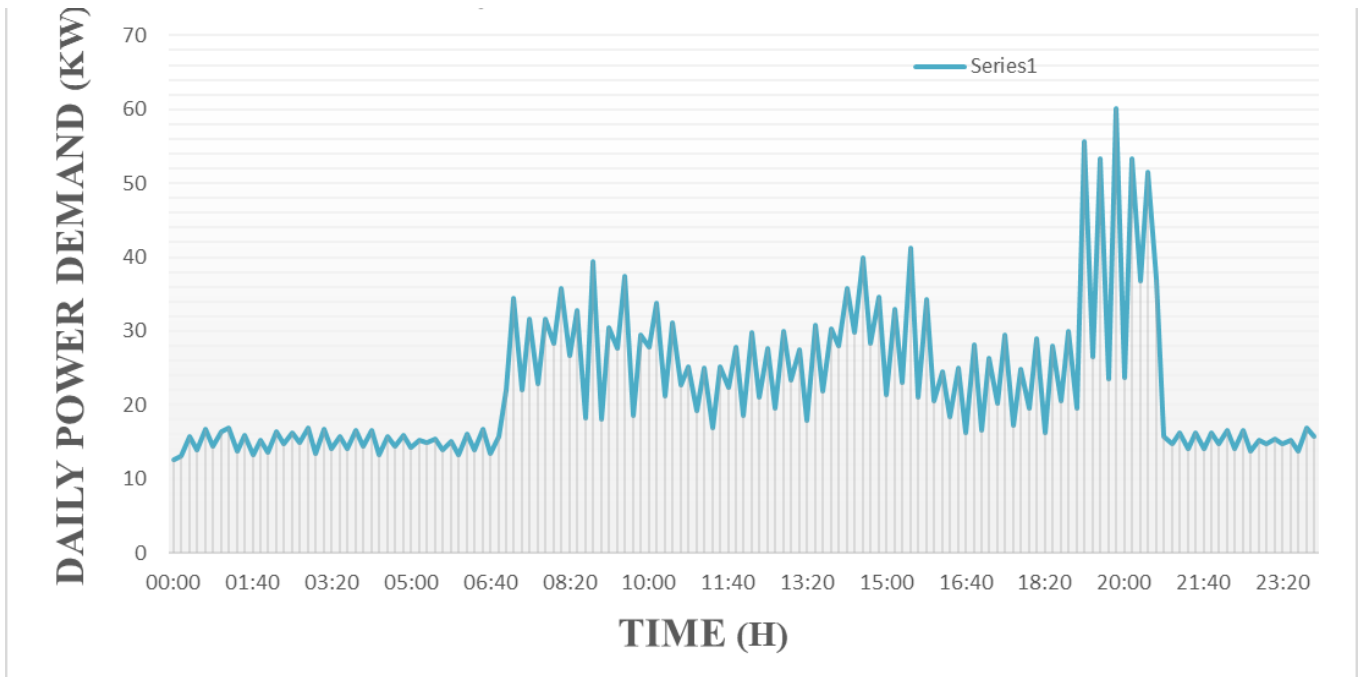
Στο σενάριο αυτό 18:00-20:30 τα συνολικά μόνιμα φορτία είναι κανονικά σε λειτουργία εφόσον πλησιάζουν οι νυχτερινές ώρες και θα προστεθούν σε αυτά από τα μεταβαλλόμενα μόνο η ταυτόχρονη χρήση σεσουάρ. Επομένως εφόσον στον οικισμό υπάρχουν 25 καταλύματα των δύο ατόμων υπολογίζεται για ταυτόχρονη χρήση 25 σεσουάρ. Η εγκατεστημένη ισχύς ενός τυπικού σεσουάρ είναι 2000W.

### 8.1.3 Συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας οικισμού

Πίνακας 13: Καταναλώσεις στο σενάριο αιχμής.

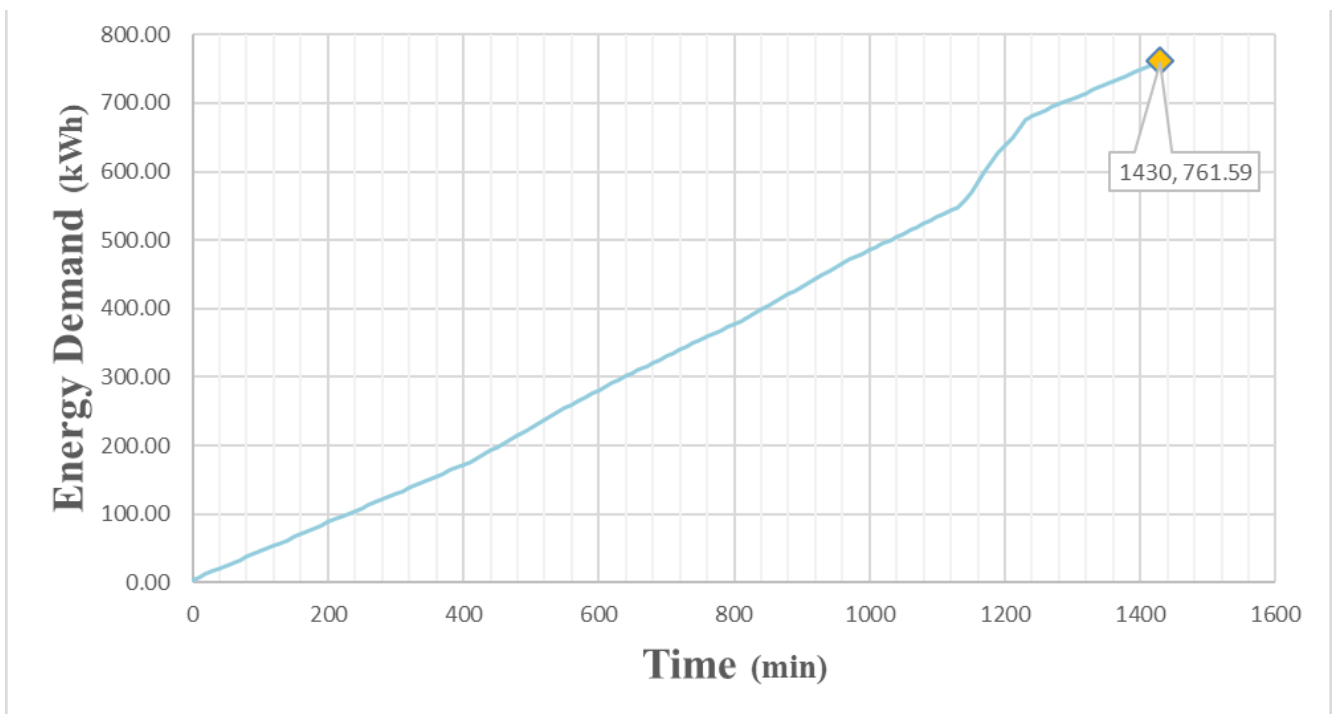
Μόνιμα Οικισμού (W)	Μόνιμα Κοιτώνων (W)	Μεταβαλλόμενα (W)	Σύνολο (kW)
1350	25 × 346	25 × 2000	---
1350	8650	50000	60

Με βάση τον Πίνακα 15 το φωτοβολταϊκό πάρκο θα πρέπει να διαστασιολογηθεί με τουλάχιστον 60 KW. Παρουσιάζεται ένα εικονικό μοντέλο της ζήτησης ισχύος (Σχήμα 50) κατά τη διάρκεια μιας τυπικής μέρας αιχμής στον οικισμό. Η γραμμοσκιασμένη επιφάνεια του γραφήματος συμβολίζει τις κλινοβατώρες ζήτησης την τυπική ημέρα αιχμής.



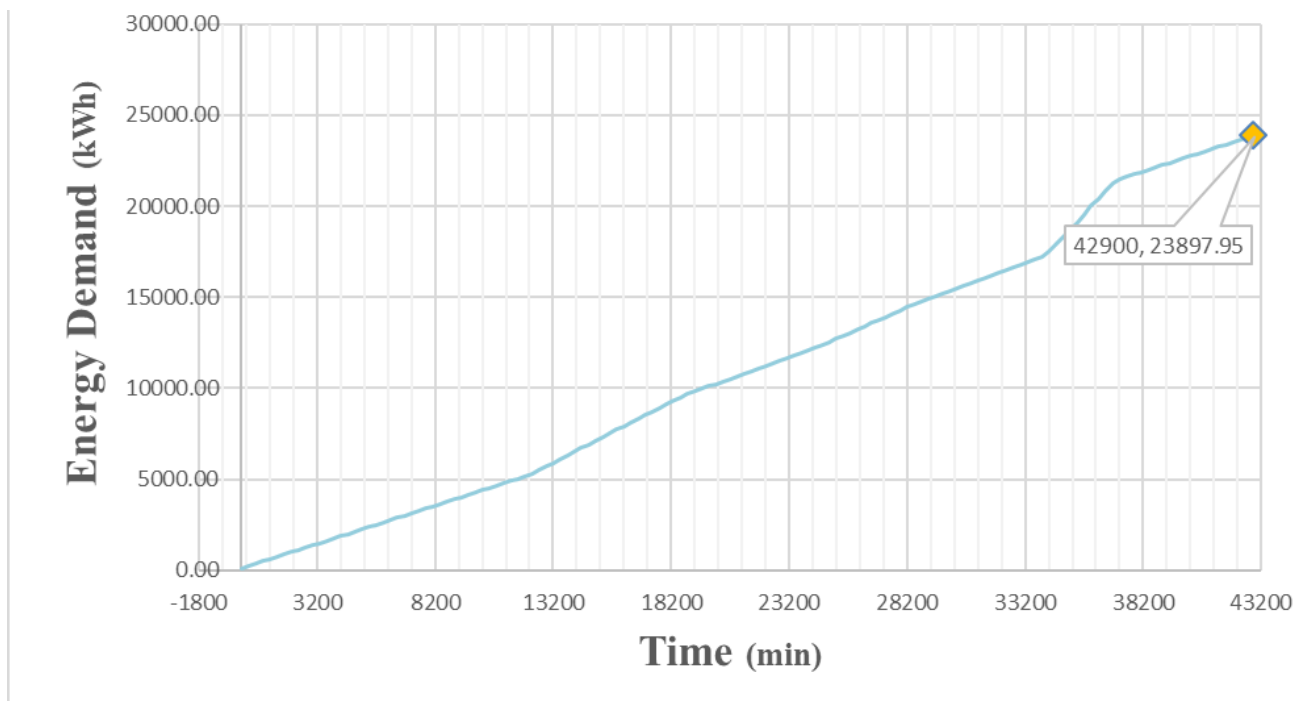
Σχήμα 50: Ημερήσια ζήτηση ισχύος τυπικής μέρας αιχμής

Επιπλέον παρατίθεται το διάγραμμα της ημερήσιας Σχήμα 51 και μηνιαίας Σχήμα 52 αθροιστικής ζήτησης ενέργειας kWh καθώς παρουσιάζονται συγκεντρωτικά Πίνακας 16.



Σχήμα 51: Ημερήσια αθροιστική ζήτηση οικισμού ενέργειας (kWh)





Σχήμα 52: Μηνιαία αθροιστική ζήτηση οικισμού ενέργειας (kWh)

Πίνακας 14: Συγκεντρωτικός πίνακας καταναλώσεων για το σενάριο αιχμής την ημέρα και τον μήνα.

	Ημέρα	Μήνα
<b>Κατανάλωση Ηλ.Ενέργειας</b>	761.59kWh	23891.95kWh

## 8.2 Φωτοβολταικά συστήματα

### 8.2.1 Ηλιακή ενέργεια

Με τον όρο ηλιακή ενέργεια περιγράφεται οποιαδήποτε μορφή ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο όπως το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η μονάδα μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας στο Διεθνές Σύστημα Μετρικών Μονάδων (S.I.) είναι  $W/m^2$ . Δηλαδή είναι ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας και η τιμή της είναι το μέτρο της έντασής της.

Η ηλιακή ακτινοβολία διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις και το ποσοστό που προσπίπτει στη Γη είναι ιδιαίτερα μικρό. Από αυτό που φτάνει σταθερά στα όρια της ατμόσφαιρας, η κατανομή της στο έδαφος διαφοροποιείται ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο, την εποχή, την ώρα της ημέρας, τις μετεωρολογικές συνθήκες (σύννεφα, ομίχλη, σκόνη), τη γωνία πρόσπτωσης και το ανάγλυφο του εδάφους. Παρόλα αυτά, υπολογίζεται πως 20 ημέρες ηλιοφάνειας ισοδυναμούν με την παγκοσμίως αποθηκευμένη ενέργεια σε κοιτάσματα άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου [Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2011].

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι τεχνικά και οικονομικά αξιοποιήσιμη, παρέχοντας ικανοποιητική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη καθώς η χρήση της, εξοικονομεί πόρους από τα συμβατικά καύσιμα, αποφεύγοντας την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα το οποίο είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η εκμετάλλευσή της πραγματοποιείται μέσω τριών εφαρμογών:

- ο των παθητικών ηλιακών συστημάτων,
- ο των ενεργητικών (ή θερμικών) ηλιακών συστημάτων και
- ο των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια σε ποσοστό 16% περίπου. Το ρεύμα που παράγεται είναι συνεχές, με τη χρήση όμως ειδικών συσκευών, των αντιστροφών, μπορεί να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο και να χρησιμοποιηθεί για την ηλεκτροδότηση κατοικιών ή μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα αυτά καλύπτουν μεγάλο εύρος ηλεκτρικών εφαρμογών φωτιστικά κήπου, ρολόγια έως συστήματα μεγάλης ισχύος για τροφοδοσία κτιρίων.

Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα από τη χρήση των ηλιακών συστημάτων συνοψίζονται στη μηδενική εκπομπή ρύπων και αποβλήτων και στο γεγονός ότι είναι αθόρυβα και δεν δημιουργούν περιβαλλοντική όχληση. Επιπλέον, σε κοινωνικό επίπεδο συνεισφέρουν στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών, παρέχουν μεγαλύτερη ενεργειακή αυτονομία και προβλεπτικότητα των εξόδων του νοικοκυριού για την κατανάλωση ενέργειας. Σε επίπεδο χώρας τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, η ελάττωση της ενεργειακής εξάρτησης από άλλες χώρες αλλά και από τις συμβατικές πηγές καυσίμων και η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας σε τοπικό επίπεδο.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις εστιάζονται στις κατασκευαστικές δραστηριότητες, σε θέματα ασφάλειας κατά την λειτουργία τους, στην αισθητική τους ένταξη και στη διατάραξη μέρους του οικοσυστήματος κυρίως της ορνιθοπανίδας [Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, 2007].

### **8.2.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο και τεχνολογίες φωτοβολταϊκών πλαισίων**

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι συλλέκτες που έχουν τη δυνατότητα να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, κάνοντας χρήση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Επεξηγηματικά, είναι φωτοβολταϊκά στοιχεία κατάλληλα ομαδοποιημένα, συνδεδεμένα ηλεκτρικά (σε σειρά ή παράλληλα).

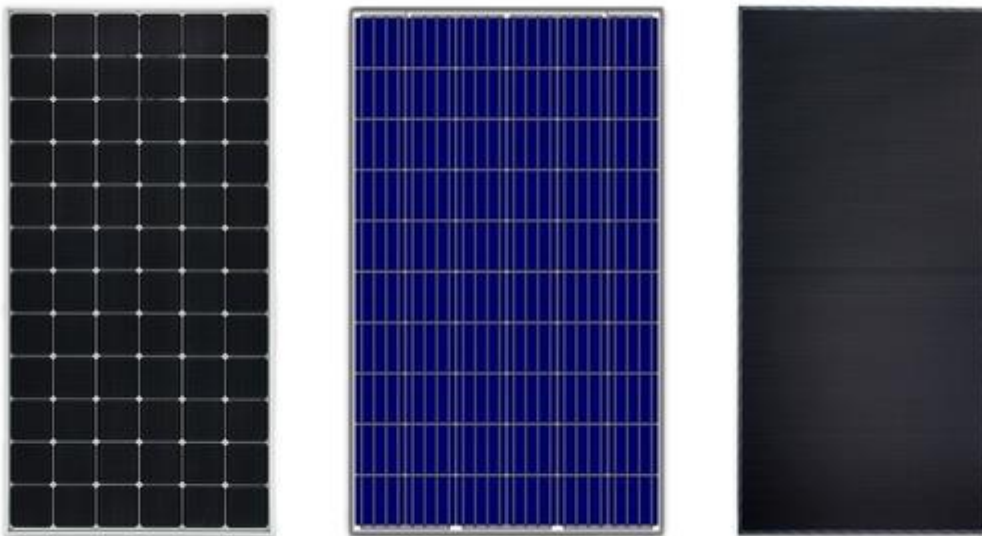
Η κατασκευή τους πραγματοποιείται τοποθετώντας τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πάνω ένα φύλλο μετάλλου (συνήθως αλουμίνιο). Τα μεταλλικά πλέγματα ενισχύουν τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνδυασμό με το επίστρωμα αντανάκλασης που εφαρμόζεται στην επιφάνεια του πλαισίου ώστε να μεγιστοποιεί το φως που απορροφάται από αυτό. Η επιφάνειά τους δέχεται χημική επεξεργασία ώστε να υπάρχει ομοιομορφία του χρώματος για βέλτιστη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και μέγιστο αισθητικό αποτέλεσμα. Συμπερασματικά, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι ανάλογη της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού στοιχείου και της πυκνότητας ισχύος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας [Παπαδάκης, 201].

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο κατασκευάζονται κυρίως από δύο τύπους πυριτίου: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο. Το δεύτερο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό και πολυκρυσταλλικό Σχήμα 53. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια από άμορφο πυρίτιο παρουσιάζουν μεγάλη αποτελεσματικότητα στην

απορρόφηση του φωτός κι έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής. Παρουσιάζουν χαμηλή απόδοση γι' αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως σε ηλεκτρονικά προϊόντα ευρείας κατανάλωσης [Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2011].

Σχετικά με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατασκευασμένα από κρυσταλλικό πυρίτιο, τα πολυκρυσταλλικά παρουσιάζουν ευκολία στη διαδικασία κατασκευή τους γεγονός που αποφέρει χαμηλό κόστος παραγωγής. Η απόδοσή τους κυμαίνεται από 13% έως 15%. Αντίθετα, τα μονοκρυσταλλικά παρουσιάζουν υψηλή απόδοση, 15% έως 18%, παράλληλα όμως υψηλό κόστος κατασκευής Πίνακας 17. Η τεχνολογία αυτή δεν χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πλαισίων λόγω του κυκλικού τους σχήματος, που δημιουργεί ασυνέχεια στην επιφάνειά τους [Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2011].

Υπάρχουν κι άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή φωτοβολταϊκών κελιών που παρουσιάζουν όμως σημαντικά μειονεκτήματα. Ο δισεληνιούχος χαλκός σημειώνει υψηλή απόδοση (18%) αλλά οι διαθέσιμες ποσότητες στη φύση είναι περιορισμένες. Το τελουριούχο κάδμιο σημειώνει επίσης έλλειψη στη φύση ενώ ταυτόχρονα έρευνες έχουν δείξει ότι είναι καρκινογόνο. Τέλος, το αρσενικούχο γάλλιο χρησιμοποιείται σε διαστημικές εφαρμογές καθώς είναι ανθεκτικό σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες διατηρώντας την απόδοσή του (28%), είναι όμως δηλητηριώδες κι έχει πολύ υψηλό κόστος παραγωγής [Κουτελιδάκης, 2010].



Σχήμα 53: Φωτοβολταϊκά πλαίσια από μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά και άμορφο πυρίτιο [<https://www.solarreviews.com>].

Πίνακας 15: Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών. [Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, 2011]

Τύπος	Άμορφο Πυρίτιο	Πολύ-κρυσταλλικό	Μόνο-κρυσταλλικό
Απόδοση	4,2%-6,6%	11%-14,8%	11%-19,3%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά KW	9-25 m <sup>2</sup>	7-9 m <sup>2</sup>	5,5-9 m <sup>2</sup>
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας(KWh/KW)	1300-1450	1300	1300
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας(KWh/m <sup>2</sup> )	50-160	145-185	145-235
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Kg CO <sub>2</sub> /K)	1300-1450	1300	1300

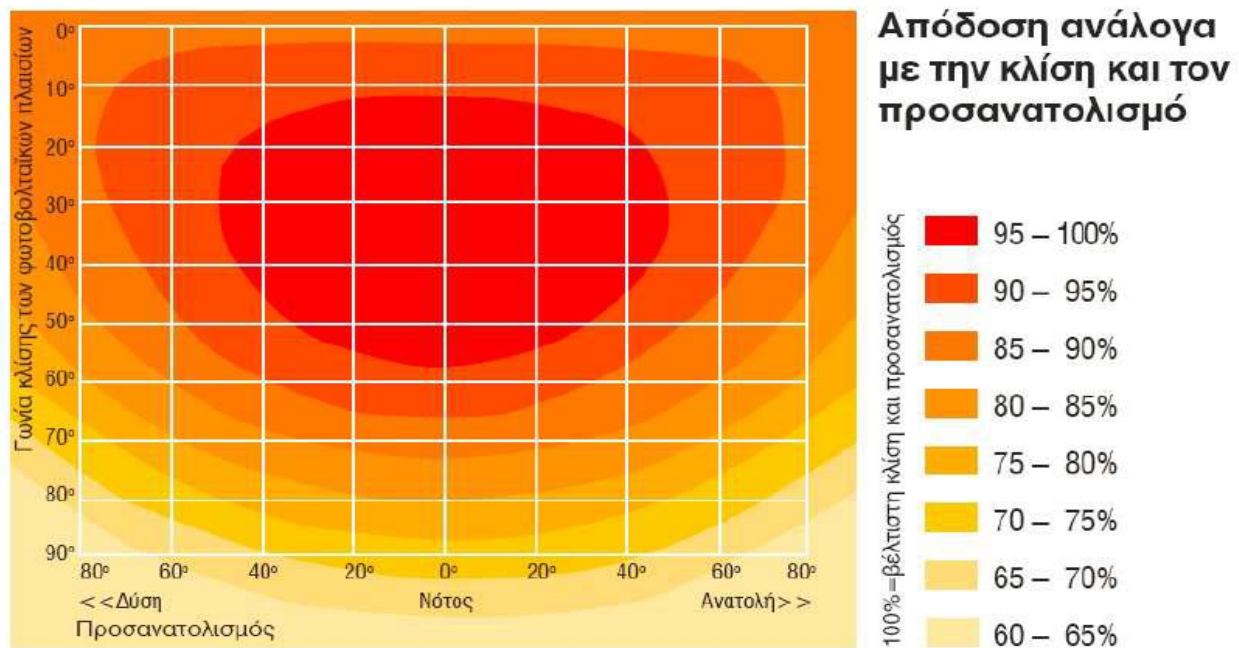
### 8.2.3 Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκών πλαισίων

Ένα σημαντικό στοιχείο για την αξιολόγηση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι ο βαθμός απόδοσης του πλαισίου. Εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διαδικασία του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Η απόδοση των πρώτων φωτοβολταϊκών στοιχείων, στις αρχές του 19ου αιώνα, είχαν απόδοση 1 με 2%, ενώ το 1954 που δημιουργήθηκαν τα πρώτα Φ/Β στοιχεία πυριτίου η απόδοση έφτασε στο 6%. Πλέον, ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι 13 με 19%, ο οποίος συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικά καύσιμα, ανεμογεννήτριες κ.ά.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι:

- το κλίμα, η ηλιοφάνεια και το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής,
- η κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων ως προς το οριζόντιο επίπεδο,
- η ύπαρξη τυχόν σκίασης πλησίον του οικοπέδου,
- η τήρηση αποστάσεων μεταξύ Φ/Β συστοιχιών,
- η μορφολογία και καταλληλότητα θεμελίωσης του εδάφους,
- η ηλικία των φωτοβολταϊκών πλαισίων,
- η ρύπανση της επιφάνειας των πλαισίων λόγω σκόνης, εντόμων, φύλλων κ.ά.,
- η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία και
- η σωστή συντήρηση [Μπινώλη Μαρία, 2010]

Εν συνεχεία στο Σχήμα 54 παρουσιάζεται η απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων ανάλογα την κλίση και τον προσανατολισμό.



Σχήμα 54: Απόδοση φωτοβολταϊκών συστημάτων ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση του εδάφους ως προς το οριζόντιο επίπεδο [TEE TKM 2011, Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, 2008].

## 8.2.4 Φωτοβολταϊκή συστοιχία

Οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες Σχήμα 55 είναι φωτοβολταϊκοί πίνακες συνδεδεμένοι ηλεκτρολογικά (σε σειρά ή παράλληλα) μεταξύ τους. Οι φωτοβολταϊκοί πίνακες (ή πανέλα) είναι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε ενιαία βάση στήριξης.

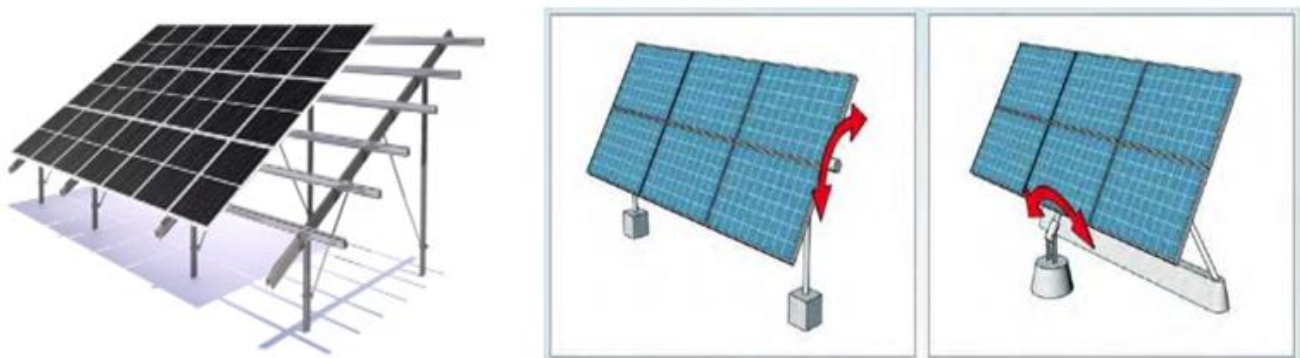


Σχήμα 55: Φωτοβολταϊκό συστοιχίες .[<https://img-labmanager.s3.amazonaws.com/>]

Οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες τοποθετούνται σε βάσεις στήριξης, οι οποίες μπορεί να είναι σταθερές, περιστρεφόμενες κατά τον έναν ή και τους δύο άξονες Σχήμα 56. Οι σταθερές βάσεις εξασφαλίζουν σταθερή γωνία κλίσης και μπορεί να είναι κατασκευασμένες από ανοδιωμένο αλουμίνιο, γαλβανισμένο χάλυβα ή συνδυασμό των παραπάνω υλικών. Υπάρχουν επίσης, στηρίγματα ρυθμιζόμενης κλίσης, η οποία πραγματοποιείται με χειροκίνητο τρόπο κάθε μήνα ή δυο φορές το χρόνο (Οκτώβριος-Απρίλιος). Το αποτέλεσμα της αλλαγής κλίσης επιτυγχάνει αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά 6% στην πρώτη περίπτωση και 5% στη δεύτερη. Οι περιστρεφόμενες βάσεις στήριξης κατά έναν άξονα διατηρούν σταθερή τη γωνία κλίσης και μεταβάλλουν τον προσανατολισμό επιτυγχάνοντας αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά 23% έως 25%. Αντίθετα, οι βάσεις στήριξης που περιστρέφονται κατά τους δύο άξονες επιτρέπουν μεταβολή της γωνίας κλίσης και του προσανατολισμού προσφέροντας αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά 28% έως 30% [Πέρδιος 2011].

Τα μειονεκτήματα των περιστρεφόμενων βάσεων είναι το υψηλό κόστος κατασκευής, εγκατάστασης, συντήρησης και η απαίτηση για περισσότερο χώρο κατάληψης. Το σημαντικότερο μειονέκτημα που παρουσιάζουν είναι ο κίνδυνος καταστροφής από ισχυρούς ανέμους ή ο περιορισμός των δυνατοτήτων λειτουργίας τους σε έντονα καιρικά φαινόμενα [Κουτελιδάκης, 2010].

Η κατασκευή των βάσεων στήριξης πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις όπως αντοχή στα φορτία που προέρχονται από το βάρος των πλαισίων και τον άνεμο και η τοποθέτησή τους να πραγματοποιείται με τρόπο που να μην προκαλεί σκίαση στα πλαίσια και να είναι εύκολη κι ασφαλής η προσέγγισή τους.



Σχήμα 56: Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών συστημάτων.

[<https://philadelphia-solar.com>]

[<https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/>]

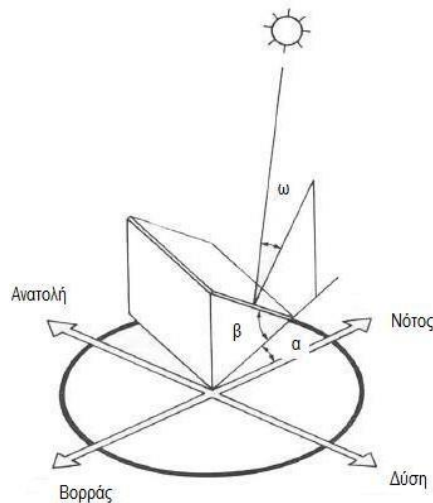
### 8.2.5 Διάταξη φωτοβολταϊκών πλαισίων

Η χωροθέτηση των πλαισίων, δηλαδή ο προσανατολισμός, η διάταξη κι οι αποστάσεις μεταξύ των φωτοβολταϊκών συστοιχιών, αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα απόδοσης του συστήματος για την αποφυγή των σκιάσεων από αντικείμενα που βρίσκονται περιμετρικά του φωτοβολταϊκού σταθμού. Για να γίνει αντιληπτό, αρκεί να αναφερθεί ότι μία μικρή ποσότητα σκίασης είναι αρκετή ώστε να μειώσει την απόδοση του συστήματος κατά 80%. Ένας γενικός κανόνας αποφυγής σκίασης είναι ότι η ελάχιστη

απόσταση ενός εμποδίου και του ΦΒ πλαισίου πρέπει να είναι η διπλάσια του ύψους του εμποδίου [Πέρδιος 2011].

Στη συνέχεια, εξηγούνται οι βασικές γεωμετρικές έννοιες που λαμβάνονται υπόψη για τον καθορισμό της διάταξης των Φ.Β συστοιχιών.

- Γωνία κλίσης ( $\beta$ ): η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου του φωτοβολταϊκού πλαισίου και του οριζοντίου επιπέδου.
- Αζιμούθια γωνία ( $\alpha$ ): η γωνία που σχηματίζεται στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακορύφου του φωτοβολταϊκού πλαισίου και το Νότο. Όταν η διάταξη των πλαισίων έχει νότιο προσανατολισμό η αζιμούθια γωνία είναι μηδενική. Δεξιόστροφα (προς τη Δύση) παίρνει θετικές τιμές, αριστερόστροφα (προς την Ανατολή) αρνητικές.
- γωνία πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας ( $\omega$ ): η γωνία που σχηματίζεται από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και την κάθετο στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Στο Σχήμα 57 γίνεται αναπαράσταση του προσανατολισμού ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου [Πέρδιος 2011].



Σχήμα 57: Γωνίες προσανατολισμού ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου [Πέρδιος 2011]

Για τον υπολογισμό της ελάχιστης απαιτούμενης απόστασης μεταξύ των φωτοβολταϊκών συστοιχιών αρχικά χρειάζεται να υπολογισθεί η επικάλυψη του ύψους μεταξύ των δύο συστοιχιών ως:

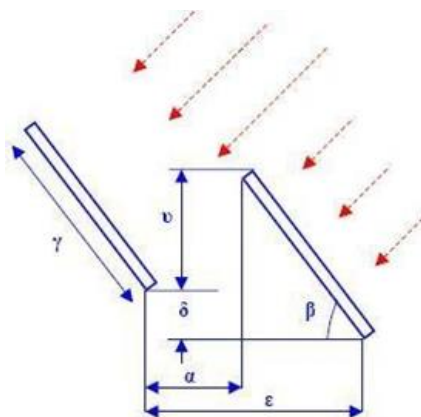
$$v = \gamma \times \sin(\beta) - \delta \quad (9.1)$$

Όπου:

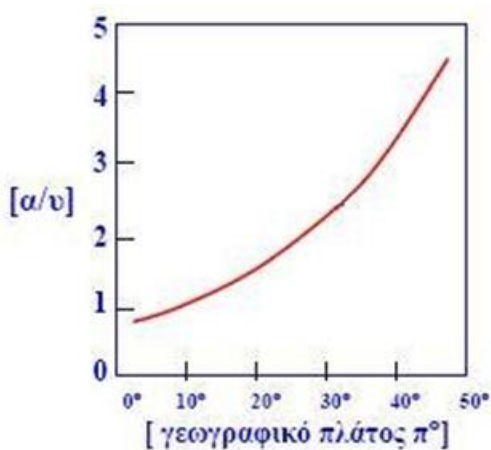
$\gamma$ : το μήκος φωτοβολταϊκού πλαισίου (m)

$\beta$ : η γωνία κλίσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου ( $^{\circ}$ )

δ: η υψομετρική διαφορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων (m)



Σχήμα 58: Αποστάσεις κατάλληλης παράλληλης διάταξης Φ/Β πλαισίων [Πέρδιος, 2011].



Σχήμα 59: Διάγραμμα Monegon [Πέρδιος, 2011 ].

Ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης μεταξύ των γειτονικών συστοιχιών όπως φαίνεται και στο Σχήμα 58 πραγματοποιείται [παρακάτω επίσης η απόσταση α προκύπτει από το διάγραμμα Monegon Σχήμα 59 και είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής υλοποίησης του έργου.

$$\varepsilon = \alpha + \gamma \times \cos(\beta) \quad (9.2)$$

Όπου:



$\gamma$ : το μήκος φωτοβολταϊκού πλαισίου (m)

$\beta$ : η γωνία κλίσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου ( $^{\circ}$ )

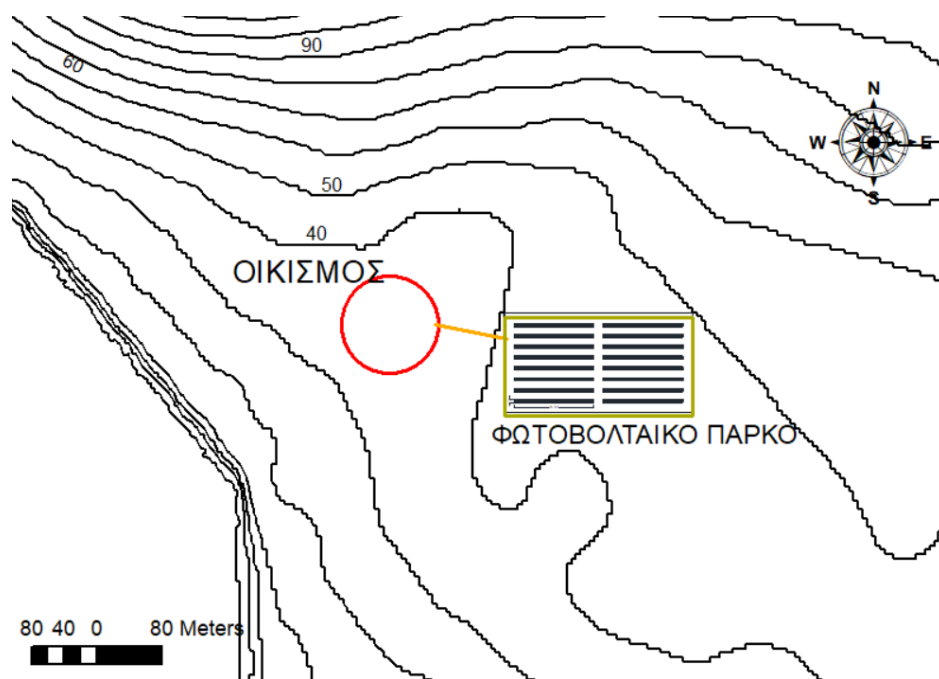
$\alpha$ : η ελάχιστη απόσταση των φωτοβολταϊκών στοιχείων (m)

## 8.3 Φωτοβολταϊκό πάρκο στα Αρμάθια Η. Ν. Κάσου

### 8.3.1 Χωροθέτηση φωτοβολταϊκού πάρκου (Φ.Π)

Με βάση την ημερήσια ζήτηση του οικισμού για ηλεκτρική ενέργεια, κατασκευάστηκε φωτοβολταϊκό πάρκο εγκατεστημένης ισχύος  $P_{\text{Φ.Π}}=100$  KW. Αρχικά επιλέχθηκε η περιοχή έδρασης του φωτοβολταϊκού πάρκου Σχήμα 60 με βασικούς παράγοντες:

- Το ανάγλυφο
- Το νότιο προσανατολισμό χωρίς σκίαση της εγκατάστασης
- Την απόσταση από τον οικισμό



Σχήμα 60: Περιοχή έδρασης φωτοβολταϊκού πάρκου.

Όπως είναι διακριτό και από την εικόνα το φωτοβολταϊκό πάρκο εδράστηκε νότιο-ανατολικά του οικισμού σε απόσταση 90 m, σε περιοχή όπου το ανάγλυφο δημιουργεί πλάτωμα αν χρειαστεί θα

προηγηθεί επιπεδοποίηση του εδάφους. Οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες έχουν προσανατολισμό το νότο και γωνία κλίσης  $30^\circ$  ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση τους.

Για τη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε Φωτοβολταϊκό Πάνελ 250 W 24 V Idea Solar SA-250 P, τύπου μονοκρυσταλλικού πυριτίου (λόγω του υψηλού βαθμού απόδοσης ( $\eta=20\%$ ) του με τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Ισχύς (μεγίστη) ( $P_m$ ): 250 W
- Ονομαστική Τάση: 24 V
- Μέγιστη Τάση ( $V_{mp}$ ): 26 V
- Διαστάσεις: 168x100x35 cm
- Βάρος: 12.5 kg
- Μέγιστη Τιμή Ρεύματος ( $I_{mp}$ ): 8 A
- Τάση Ανοιχτού Κυκλώματος ( $V_{oc}$ ): 44.4 V
- Ρεύμα Βραχυκυκλώματος ( $I_{sc}$ ): 9.2 A
- Τύπος συλλέκτη: μονοκρυσταλλικό πάνελ

Ο αριθμός των φωτοβολταϊκών τεμαχίων που θα χρησιμοποιηθεί υπολογίζεται:

$$N_{\text{τεμαχίων}} = \frac{P_{\phi.\Pi}}{P_m} = \frac{100_{kW}}{250_W} \rightarrow$$

$$\rightarrow N_{\text{τεμαχίων}} = 400_{\text{τεμάχια}}$$

Το συνολικό εμβαδόν των φωτοβολταϊκών πάνελ της εγκατάστασης υπολογίζεται με βάση την ονομαστικές διαστάσεις του επιλεγθέντος πάνελ ( $a=168$  cm,  $b=100$  cm,  $c=35$  cm) οπότε προκύπτει:

$$E_{\phi} = a \times b \times N_{\tau} = 1.68_m \times 1.00_m \times 400_{\text{τεμάχια}} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_{\phi} = 672_{m^2}$$

### 8.3.2 Διάταξη φωτοβολταϊκού συστήματος

Ο καθορισμός της συνδεσμολογίας των φωτοβολταϊκών συστοιχιών, δηλαδή ο αριθμός των πλαισίων που θα ενωθούν σε σειρά και αυτών που θα ενωθούν σε παράλληλη διάταξη, πραγματοποιείται σύμφωνα με την τάση τους. Για συστήματα με ισχύ μεγαλύτερης των 10 KW, η τάση κυμαίνεται από 400 έως 700 V [Πέρδιος, 2011].

Αριθμός φωτοβολταϊκών στοιχείων σε συνδεδεμένα σε σειρά:

$$N_{σειράς} = \frac{V_{max,συστήματος}}{V_{max,πλαισίου}} \quad (9.3)$$

Όπου:

$V_{max, συστήματος}$ : η μέγιστη τάση ρεύματος του συστήματος

$V_{max, πλαισίου}$ : η μέγιστη τάση ρεύματος του πλαισίου

Επιλέγοντας μέγιστη τάση ρεύματος συστήματος  $V_{max, συστήματος} = 650 \text{ V}$  και για την αντίστοιχη του πλαισίου  $V_{max, πλαισίου} = 26 \text{ V}$  υπολογίζεται πως θα συνδεθούν 25 φωτοβολταϊκά πλαίσια σε σειρά.

$$N_{σειράς} = \frac{V_{max,συστήματος}}{V_{max,πλαισίου}} = \frac{625_V}{26_V} = 25_{τεμάχια}$$

Εν συνεχεία υπολογίζεται ο αριθμός των παράλληλων κλάδων του φωτοβολταϊκού πάρκου ως εξής:

$$N_{κλάδου} = \frac{N_{τεμαχιών}}{N_{σειράς}} = \frac{400}{25} = 16$$

Επομένως θα σχηματιστούν 16 παράλληλοι κλάδοι των 25 τεμαχίων σε σειρά.

Επιλέγεται σταθερή μεταλλική βάση στήριξης των πλαισίων. Επομένως για οριζόντιο επίπεδο και σταθερή γωνία κλίσης  $30^\circ$  υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των φωτοβολταϊκών σειρών ως εξής:

Αρχικά, υπολογίζεται η επικάλυψη ύψους:

$$v = \gamma \times \sin(\beta) - \delta = 1.00_{(m)} \times \sin(30^\circ) - 0_{(m)} = 0.5_{(m)}$$

Όπου:

$\gamma$ : το μήκος φωτοβολταϊκού πλαισίου,  $\gamma=1.00$  (m)

$\beta$ : η γωνία κλίσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου ( $\beta=30^\circ$ )

$\delta$ : η υψομετρική διαφορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων,  $\delta=0$  (m)

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του διαγράμματος Moregon εκτιμάται η ελεύθερη απόσταση μεταξύ δύο φωτοβολταϊκών σειρών για γεωγραφικό πλάτος περιοχής  $\varphi=35.435^\circ$ :

$$\begin{aligned} \text{για } \varphi = 35.435^\circ &\rightarrow \frac{\alpha}{\gamma} = 2.7 \rightarrow \\ &\rightarrow \alpha = 2.7 \times 0.5_{(m)} = 1.35_{(m)} \end{aligned}$$

Τέλος, προκύπτει η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο φωτοβολταϊκών σειρών ως:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \alpha + \gamma \times \cos(\beta) = 1.35_{(m)} + 1 \times \cos(30^\circ) \rightarrow \\ &\rightarrow \varepsilon = 2.25_{(m)} \end{aligned}$$

Όπου:

$\gamma$ : το μήκος φωτοβολταϊκού πλαισίου,  $\gamma=1.00$  (m)

$\beta$ : η γωνία κλίσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου ( $\beta=30^\circ$ )

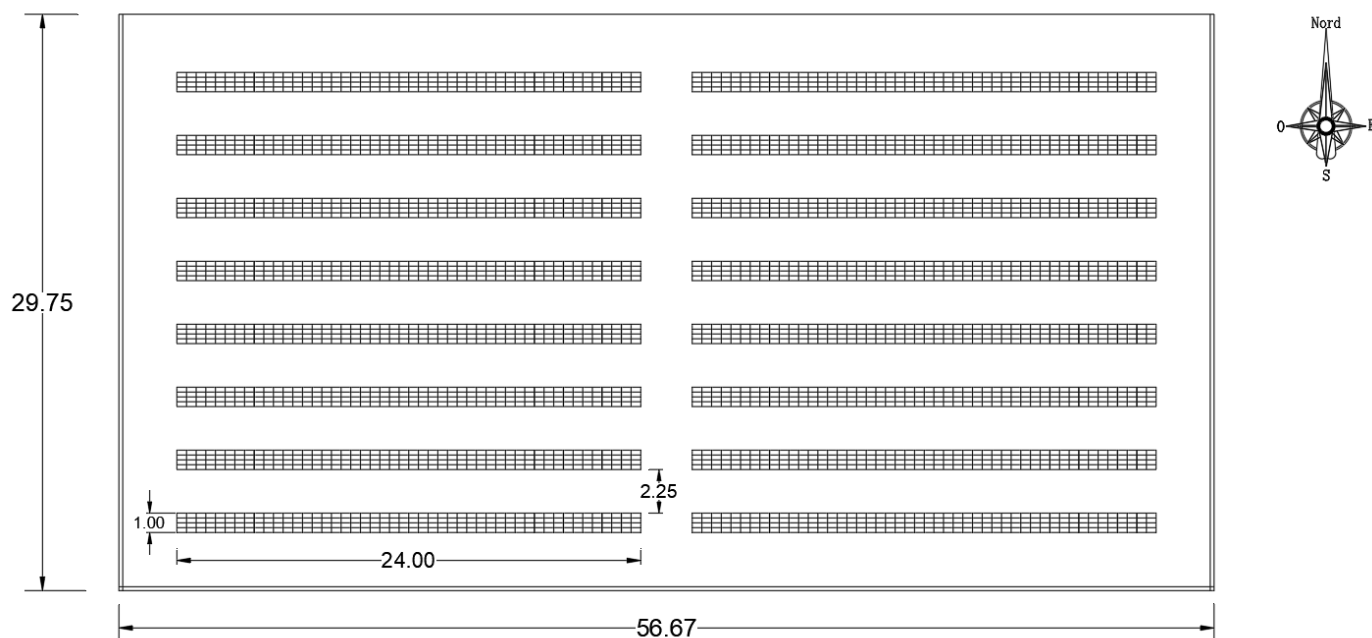
$\alpha$ : η ελάχιστη απόσταση των φωτοβολταϊκών στοιχείων,  $\alpha=1.35$  (m)

Επιπλέον με βάση τα παραπάνω υπολογίζεται το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης που καταλαμβάνουν οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες:

$$\begin{aligned} E_{ορ} &= \frac{E_{\text{πλαίσιο}} \times N_{\text{τεμαχίων}} \times \cos(\beta) \times \varepsilon}{\gamma \times \sin(\beta)} \rightarrow \\ \rightarrow E_{ορ} &= \frac{1.68_{m^2} \times 400_{\text{τεμάχια}} \times \cos(30^\circ) \times 2.25_{(m)}}{1.00_{(m)} \times \cos(30^\circ)} \rightarrow \end{aligned}$$

$$\rightarrow E_{op} = 1512 \text{ m}^2$$

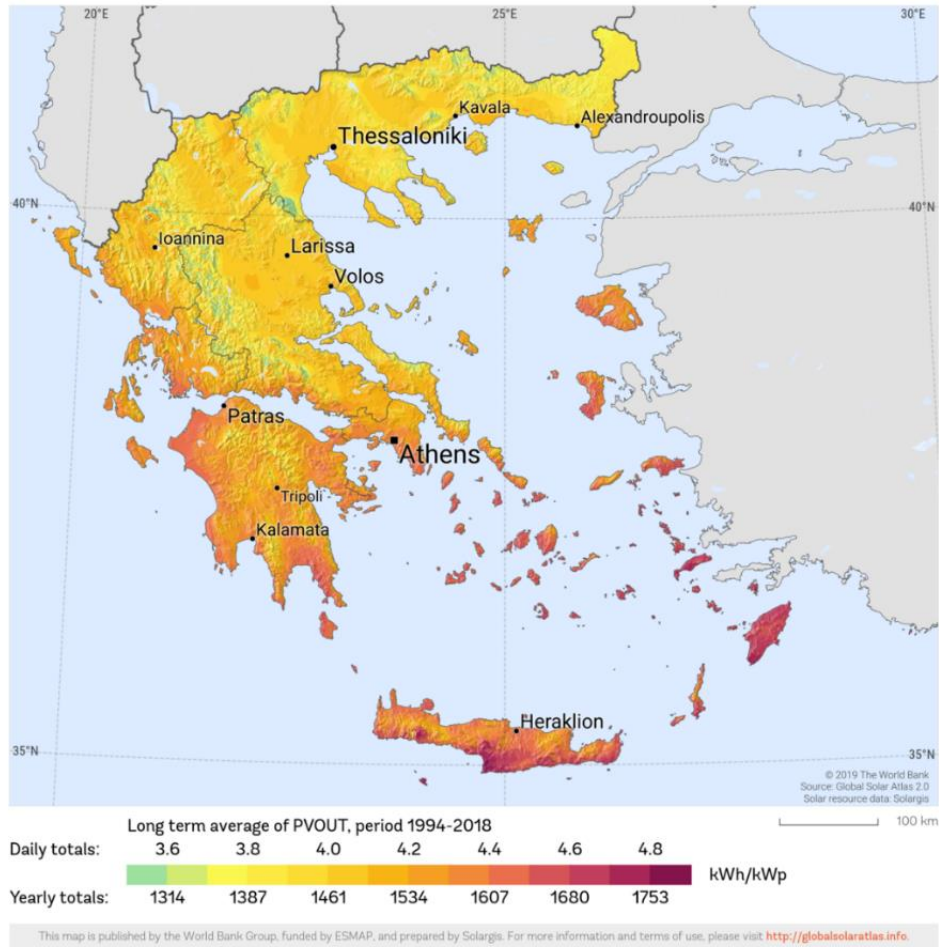
Στο Σχήμα 61 γίνεται αναπαράσταση του φωτοβολταϊκού πάρκου .



Σχήμα 61: Κάτοψη φωτοβολταϊκού πάρκου.

### 8.3.3 Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

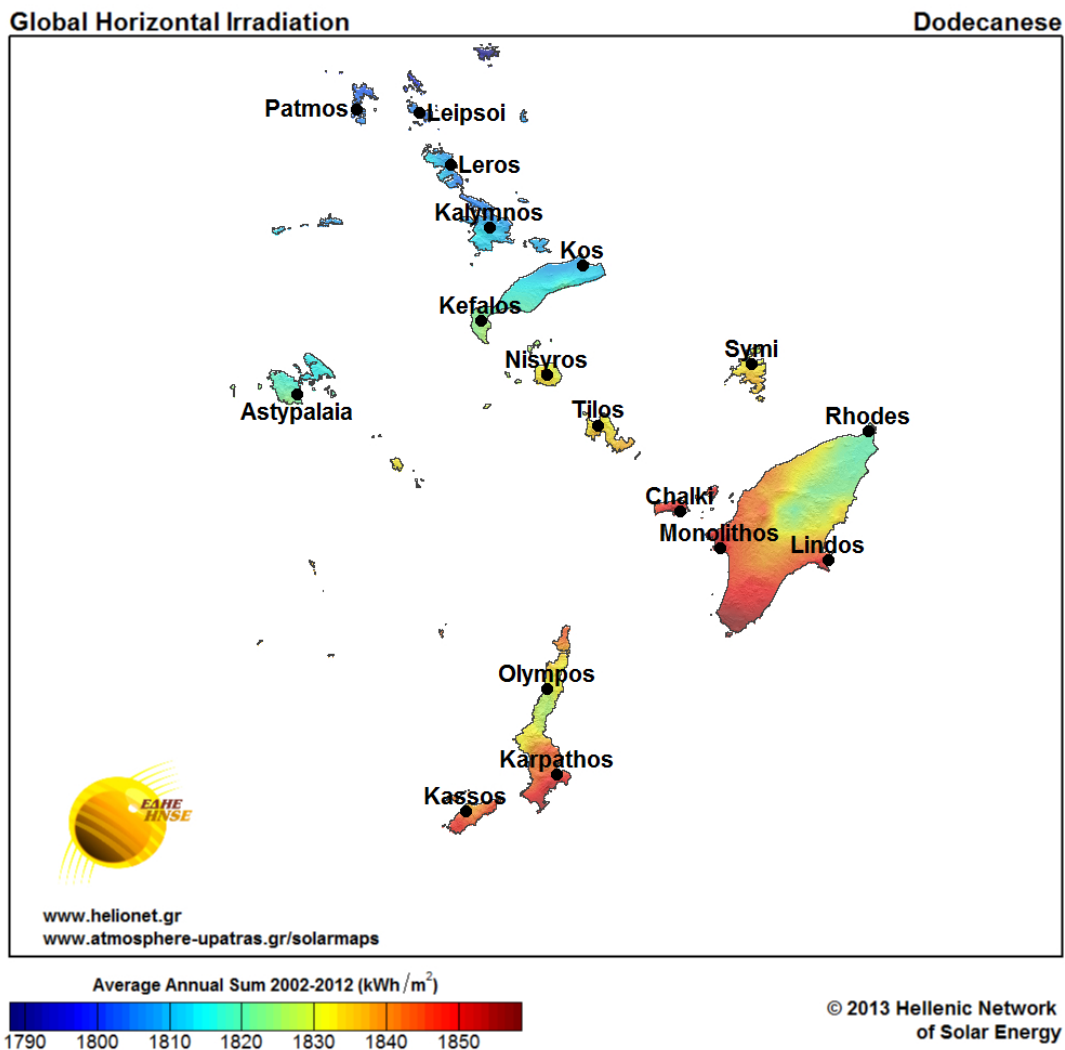
Το διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό και οι κλιματικές συνθήκες στην περιοχή μελέτης αποτελούν το σημαντικότερο στοιχείο επίδρασης στην απόδοση του φωτοβολταϊκού σταθμού. Στην περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας τα Αρμάθια Η. Ν. Κάσου η μέση ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (για φωτοβολταϊκό σύστημα τοποθετημένο στη βέλτιστη κλίση) ανά εγκαταστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών υπολογίζεται κοντά στο μέγιστο όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 62 παρακάτω.



Σχήμα 62 : Παραγωγή ηλιακής ενέργειας (KWh/έτος/kWp) για την Ελλάδα.

[<https://www.bitsnpieces.gr>]

Επίσης παρουσιάζεται η μέση ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών της συνολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, συγκεκριμένα στην περιοχή των Δωδεκανήσων Σχήμα 63.



Σχήμα 63: Μέση ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά τετραγωνικό φωτοβολταϊκών στην περιοχή των Δωδεκανήσων. [<https://www.atmosphere-upatras.gr/>]

Η ανάλυση της εκτιμώμενης παραγωγής ενέργειας του φωτοβολταϊκού πάρκου έγινε με βάση μηνιαία δεδομένα (kWh/m<sup>2</sup>) που πάρθηκαν από την ιστοσελίδα [<https://www.pveurope.eu/solar-irradiation-data-all-european-regions>], μέσω του βαθμού απόδοσης των φωτοβολταϊκών (c=20%) καθώς και την συνολική καλυπτόμενη επιφάνεια αυτών υπολογίστηκε η ηλεκτρική ενέργεια παραγωγής του Φ.Π ως εξής:

$$E_{\Pi} = c \times W \times E_{\Phi} \quad (9.4)$$

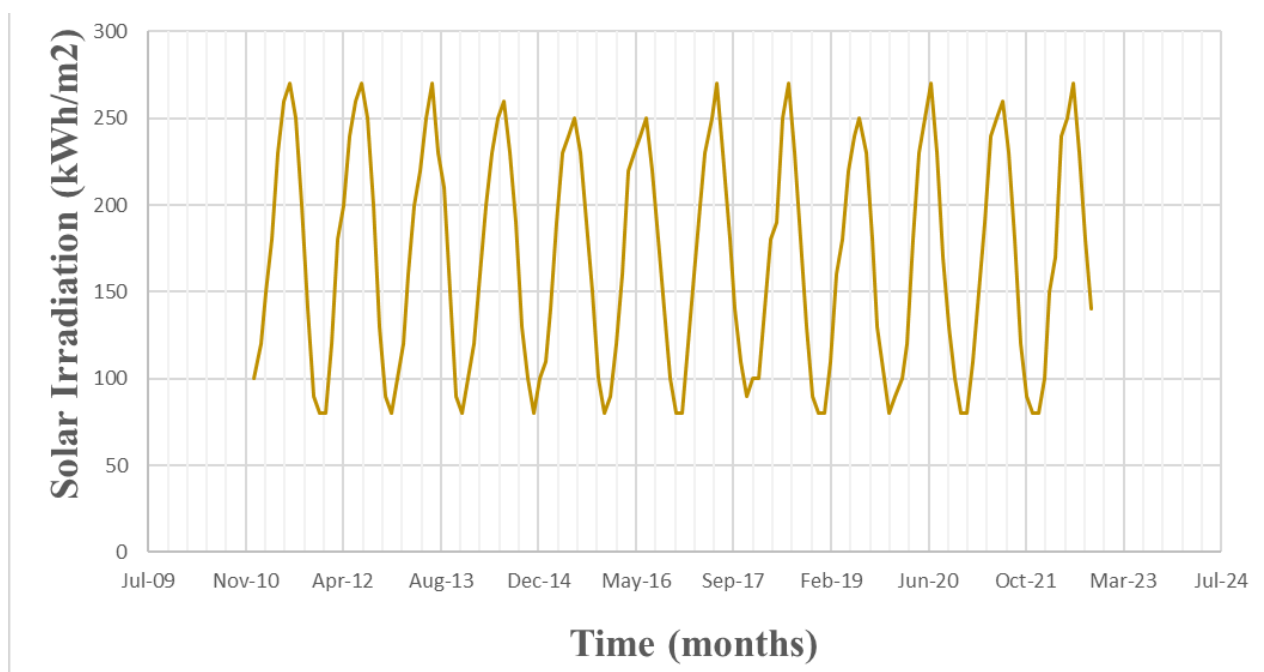
Όπου:

c: ο συντελεστής απόδοσης των φωτοβολταϊκών (μονοκρυσταλλικά )

W: η μηνιαία παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά τετραγωνικό (kWh/m<sup>2</sup>)

E<sub>φ</sub>: το συνολικό εμβαδόν κάλυψης των φωτοβολταϊκών

Τα δεδομένα που πάρθηκαν αναφέρονται σε μηνιαίες τιμές (kWh/m<sup>2</sup>) στην περιοχή μελέτης από το 2011- 2022. Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε πως ο υπολογισμός με μηνιαίες τιμές καθίσταται ένας χονδρικός υπολογισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς πιο ορθά θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν ωριαίες τιμές δεδομένων επιτυγχάνοντας το βέλτιστο ενεργειακό σχεδιασμό καθώς και λεπτομέρεια στο βαθμό αξιοπιστίας. Παρόλα αυτά και με μηνιαίες τιμές μπορεί να υπολογιστεί με αξιοπιστία η κάλυψη των αναγκών του έργου, με το μειονέκτημα του μη βέλτιστου ενεργειακού σχεδιασμού της εγκατάστασης. Εν συνεχεία παρουσιάζεται η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία ανά τετραγωνικό μέτρο εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών στην περιοχή μελέτης Σχήμα 64.



Σχήμα 64: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία ανά (m<sup>2</sup>) εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών στα Αρμάθια Η. Ν. Κάσου.

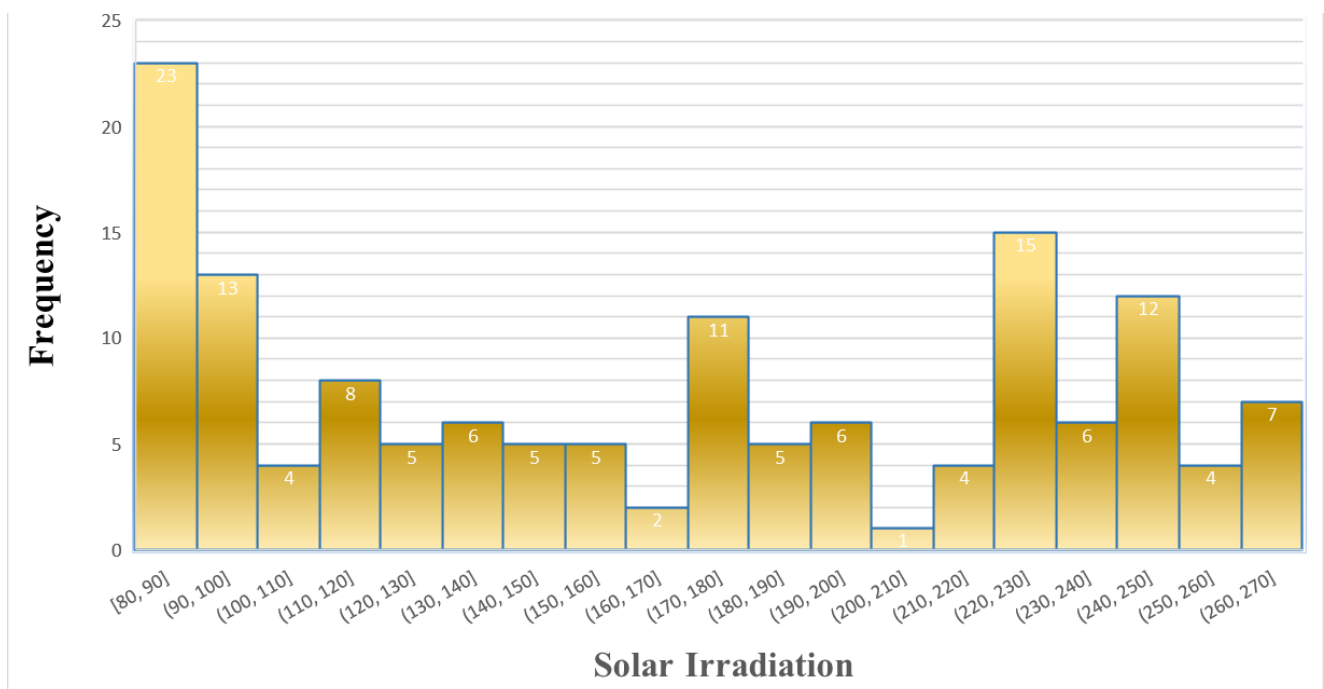
Παρατηρείται μια περιοδικότητα στις τιμές, που κρίνεται λογική λόγω της εποχιακής εναλλαγής και του μικρού εύρους των τιμών 12 χρόνων. Επίσης επιβεβαιώνεται η μεγάλη ενεργειακή απόδοση της γεωγραφικής θέσης της περιοχής καθώς την θερινή περίοδο που καταγράφονται και οι μεγαλύτερες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας αγγίζουν την μέγιστη τιμή των 280 kWh/m<sup>2</sup> καθώς και τις υπόλοιπες περιόδους του έτους δεν πέφτουν σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Παρουσιάζεται το ιστόγραμμα των διάφορων τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή μελέτης στην περίοδο των δώδεκα χρόνων. Η ελάχιστη παρατηρηθείσα τιμή είναι αυτή των 80 kWh/m<sup>2</sup> και η μέγιστη 270 kWh/m<sup>2</sup>. Παρατίθεται το εύρος μηνιαίων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας Σχήμα 65 που χρησιμοποιήθηκε καθώς και η συχνότητα εμφάνισης τους Σχήμα 66.





Σχήμα 65: Εύρος μηνιαίων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας.

[<https://www.pveurope.eu/solar-irradiation-data-all-european-regions> ]

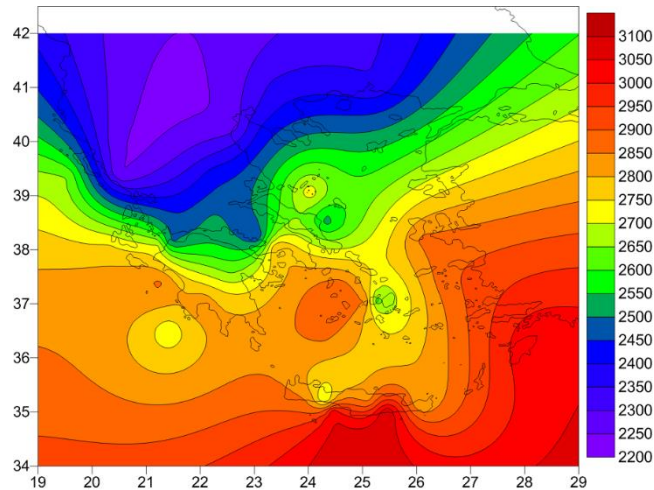


Σχήμα 66: Συχνότητα εμφάνισης τιμών ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή μελέτης στα δώδεκα χρόνια.

Δεν μπορεί να παραχθεί ακριβές συμπέρασμα για της ημέρες μη ηλιοφάνειας την καλοκαιρινή περίοδο όπου ο οικισμός είναι εν λειτουργία αν και αυτές με βάσει του μεσογειακού κλίματος και της δεδομένης γεωγραφικά περιοχής πρέπει να είναι ελάχιστες έως και μηδενικές. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι ώρες ηλιοφάνειας στην περιοχή της Ρόδου Πίνακας 21, όπου καθίστανται ενδεικτικές και για τη περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής καθώς και η διακύμανση της ηλιοφάνειας στον Ελλαδικό χώρο το έτος Σχήμα 67 και το χειμώνα Σχήμα 68.

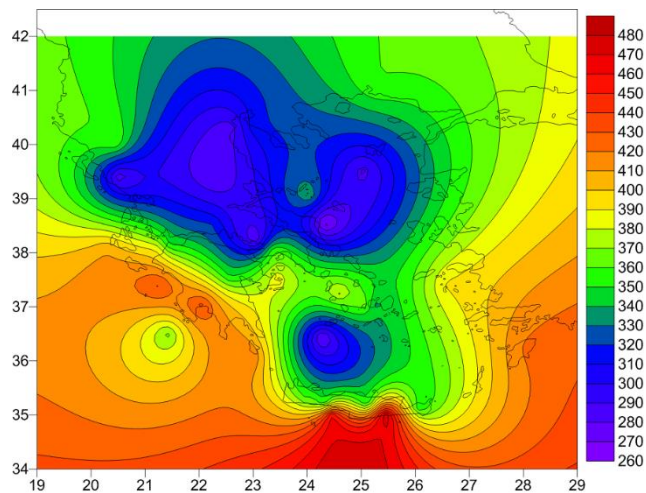
Πίνακας 16: Ώρες ηλιοφάνειας στο νησί της Ρόδου το έτος, το καλοκαίρι, το φθινόπωρο, το χειμώνα  
[\[https://www.meteology.gr/statistika-iliofaneias-gia-tin-ellada/#!prettyPhoto\]](https://www.meteology.gr/statistika-iliofaneias-gia-tin-ellada/#!prettyPhoto).

	ΕΤΟΣ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	ΧΕΙΜΩΝΑ
ΩΡΕΣ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ ΡΟΔΟΣ	3043.20	1116.6	737.9	422.9



Σχήμα 67: Διακύμανση ηλιοφάνειας στην Ελλάδα το έτος

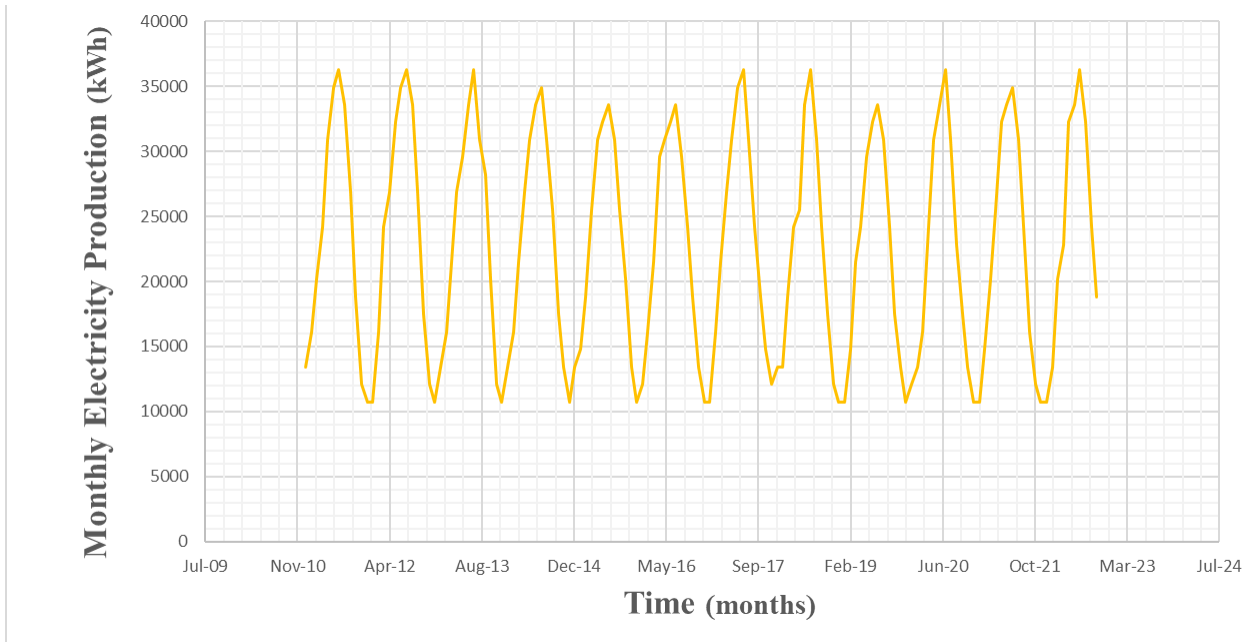
[\[https://www.meteology.gr/statistika-iliofaneias-gia-tin-ellada/#!prettyPhoto\]](https://www.meteology.gr/statistika-iliofaneias-gia-tin-ellada/#!prettyPhoto).



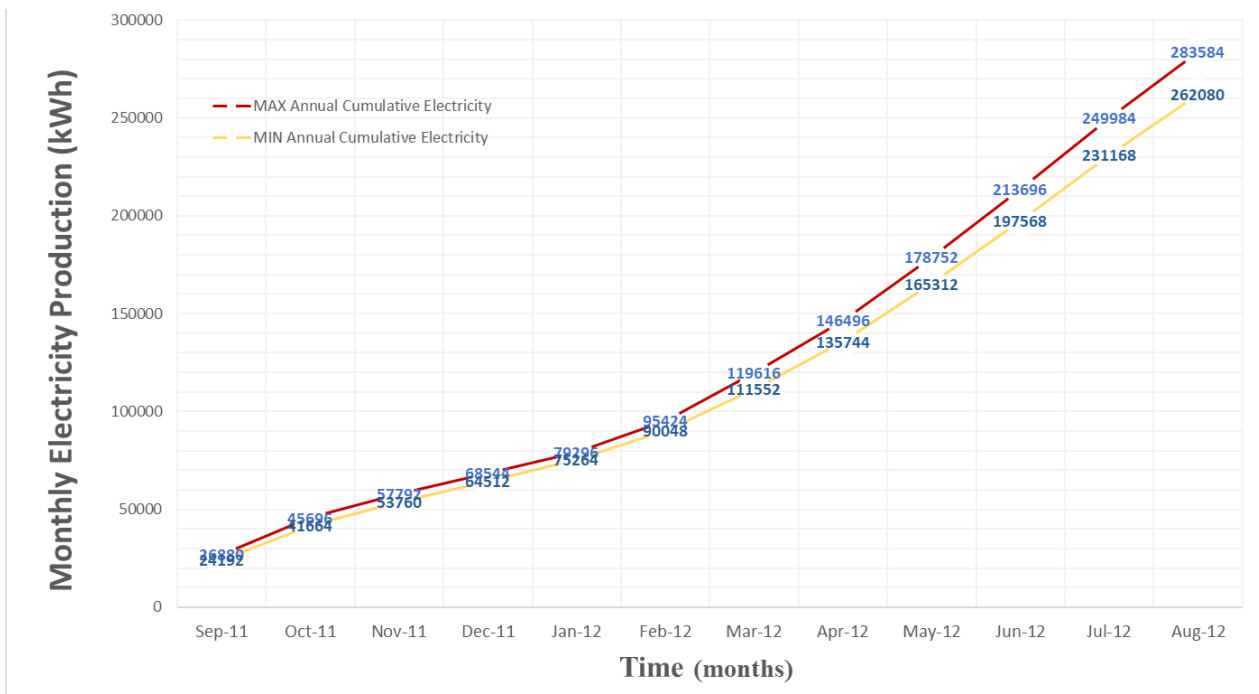
Σχήμα 68: Διακύμανση ηλιοφάνειας στην Ελλάδα το χειμώνα

[\[https://www.meteology.gr/statistika-iliofaneias-gia-tin-ellada/#!prettyPhoto\]](https://www.meteology.gr/statistika-iliofaneias-gia-tin-ellada/#!prettyPhoto).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του φωτοβολταϊκού πάρκου του διαστήματος 2011-2022 Σχήμα 69. Παρατηρείται η ίδια περιοδικότητα με αυτή της ηλιακής ακτινοβολίας πράγμα που επιβεβαιώνει τον καθοριστικό παράγοντα της. Επίσης το διάγραμμα αθροιστικής παραγόμενης ενέργειας του φωτοβολταϊκού πάρκου Σχήμα 70 την για την πιο αποδοτική χρόνια και την λιγότερο αποδοτική στο διάστημα των δώδεκα χρόνων 2011-2022.



Σχήμα 69: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του φωτοβολταϊκού πάρκου για την περίοδο 2011-2022.



Σχήμα 70: Μέγιστη και ελάχιστη ετήσια αθροιστική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του φωτοβολταϊκού πάρκου την περίοδο 2011-2022.

## 9 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ

Σήμερα, μια από τις πιο αξιόπιστες λύσεις αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας σε μεγάλη αλλά και σε πιο μικρή κλίμακα παρέχεται από τα συστήματα αντλησιοταμίευσης. Για την τροφοδότηση του οικισμού τη περίοδο της νύχτας όπου το φωτοβολταϊκό δε παράγει ενέργεια και επομένως αδυνατούν να καλύψουν τις ανάγκες του οικισμού θα σχεδιαστεί ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης θαλασσινού νερού. Η ενέργεια λειτουργικότητας (άντλησης) του συστήματος αντλησιοταμίευσης θα παρέχεται από την περίσσεια παραγόμενη ενέργεια του φωτοβολταϊκού πάρκου.

### 9.1 Περιγραφή συστήματος αντλησιοταμίευσης

Η αντλησιοταμίευση, μια μέθοδος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε δυναμική ενέργεια του νερού για υδροηλεκτρική χρήση. Πρόκειται για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε βαρυτική δυναμική ενέργεια του νερού μέσω άντλησής του από ταμειυτήρα χαμηλής στάθμης σε ταμειυτήρα υψηλότερης στάθμης. Η αντλησιοταμίευση μπορεί να συντελέσει στην αυξημένη διείσδυση ενέργειας παραγόμενης από μεταβλητές ΑΠΕ (κυρίως αιολικά, φωτοβολταϊκά) στο δίκτυο καθώς έτσι αποθηκεύεται τυχόν περίσσεια της ηλεκτρικής ενέργειας που αυτά παράγουν και μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια όποτε η ζήτηση είναι υψηλή.

Ένα τυπικό σύστημα αντλιοταμίευσης αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Μια αντλία ή ένα σύστημα αντλιών.
- Έναν υδροστρόβιλο ή ένα σύστημα υδροστροβίλων.
- Δύο δεξαμενές νερού, οι οποίες βρίσκονται σε ικανή υψομετρική διαφορά μεταξύ τους.
- Ένα σύνολο σωληνώσεων για την άντληση νερού από την κάτω δεξαμενή προς την άνω.
- Ένα σύνολο σωληνώσεων για την προσαγωγή νερού από την άνω δεξαμενή προς την κάτω μέσω του υδροστροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μια ηλεκτρική μηχανή που λειτουργεί είτε ως κινητήρας είτε ως γεννήτρια σε κοινή άτρακτο με την αντλία και τον υδροστρόβιλο.

Σε ένα σύστημα αντλιοταμίευσης διακρίνουμε δύο βασικές σχεδιαστικές εκδοχές, αυτής της μονής σωλήνωσης και αυτής της διπλής σωλήνωσης, όπου δηλαδή υπάρχει ανεξάρτητη σωλήνωση για τον στρόβιλο και για τη λειτουργία των αντλιών [Κάραλης 2007].

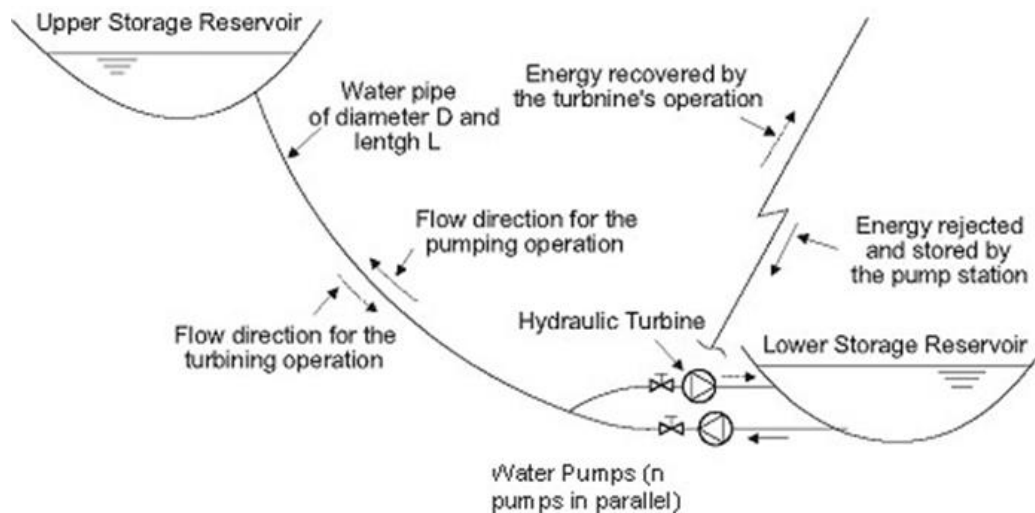
### 9.2 Επιλογή σχεδιασμού δικτύου σωληνώσεων

#### 9.2.1 Μονή σωλήνωση

Η περίπτωση της μονής σωλήνωσης Σχήμα 71 εμφανίζει ασφαλώς το πλεονέκτημα της πιο οικονομικής λύσης, δεδομένου ότι μειώνονται τα έξοδα της εγκατάστασης. Ωστόσο, θέτει περιορισμό ως προς τη λειτουργία, δεδομένου ότι δεν επιτρέπει την ταυτόχρονη λειτουργία του στροβίλου με τις αντλίες. Για το λόγο αυτό, απαιτείται να καθοριστεί αν έχει προτεραιότητα λειτουργίας ο στρόβιλος ή οι αντλίες.

## Προτεραιότητα στις Αντλίες

Στην περίπτωση που υπάρχουν διαστήματα κατά τα οποία η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των μονάδων βάσεως είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, προτεραιότητα στη λειτουργία έχουν οι αντλίες. Σε αυτήν την περίπτωση, η παραγωγή της ενέργειας από τον στρόβιλο μπορεί να γίνει μονάχα τις ώρες που δεν γίνεται άντληση, δηλαδή τις ώρες που δεν υπάρχει απορριπτόμενη ισχύς. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα τις μεταμεσονύκτιες ώρες ή τις αργίες, που η ζήτηση είναι χαμηλή.



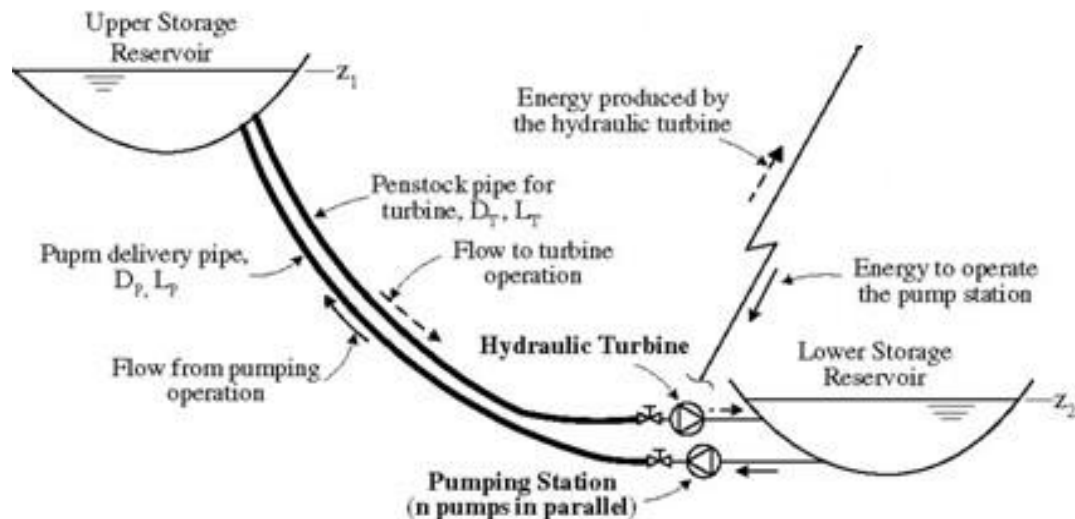
Σχήμα 71: Τοπικό σύστημα αντλησιοταμίευσης με μονής σωλήνωσης [Σπύρου, 2009.]

## Προτεραιότητα Στρόβιλο:

Στην περίπτωση που υπάρχουν διαστήματα που συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή των μονάδων βάσεως, τότε προτεραιότητα λειτουργίας έχει ο στρόβιλος έναντι των αντλιών. Αυτό συμβαίνει κυρίως τις ώρες αιχμής. Σε αυτήν την περίπτωση, ενδεχομένως να συμβεί να υπάρχει απορριπτόμενη ισχύς και να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άντληση λόγω λειτουργίας του στρόβιλου

### **9.2.2 Διπλή σωλήνωση**

Η χρονική κατανομή της απορριπτόμενης ισχύος δείχνει ότι η περικοπή καθορίζεται πρώτα από τη διαθέσιμη παραγόμενη ενέργεια και δεύτερον από τις διακυμάνσεις της ζήτησης. Σε ώρες αιχμής της ζήτησης και ταυτόχρονα περίσσειας ισχύος των μονάδων βάσεως, από τη μια υπάρχει περικοπή ισχύος και απαιτείται λειτουργία αντλιών για την εκμετάλλευση της περίσσειας ισχύος, από την άλλη πρέπει να λειτουργήσει ο στρόβιλος (π.χ. λόγω υψηλής ζήτησης). Εάν λειτουργεί η αντλία, θα απαιτηθεί χρόνος μέχρι να σταματήσει και να ξεκινήσει ο στρόβιλος, οπότε το βασικό πλεονέκτημα της άμεσης απόκρισης του στρόβιλου χάνεται.



Σχήμα 72: Τυπικό σύστημα αντλιοσταμείωσης με διπλή σωλήνωση. [Σπύρου, 2009]

Τόσο στην περίπτωση της μονής σωλήνωσης όσο και στην περίπτωση της διπλής Σχήμα 72 που περιγράφηκαν ανωτέρω, οι τρεις μηχανές (αντλία – υδροστρόβιλος – κινητήρας / γεννήτρια) τοποθετούνται σε κοινή άτρακτο και η φορά περιστροφής είναι η ίδια ανεξαρτήτως λειτουργίας. Αξίζει βέβαια να αναφέρουμε ότι για τη μείωση των φθορών απαιτείται η ύπαρξη συμπλέκτη στα άκρα της ατράκτου, ώστε να μην περιστρέφεται άσκοπα η υδροδυναμική μηχανή που κάθε φορά δεν εργάζεται. Σε περίπτωση κατακόρυφης διάταξης, η αντλία τοποθετείται στο κατώτερο σημείο ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο της σπηλαιώσης.

### 9.2.3 Μονή σωλήνωση με σύνθετη λειτουργία

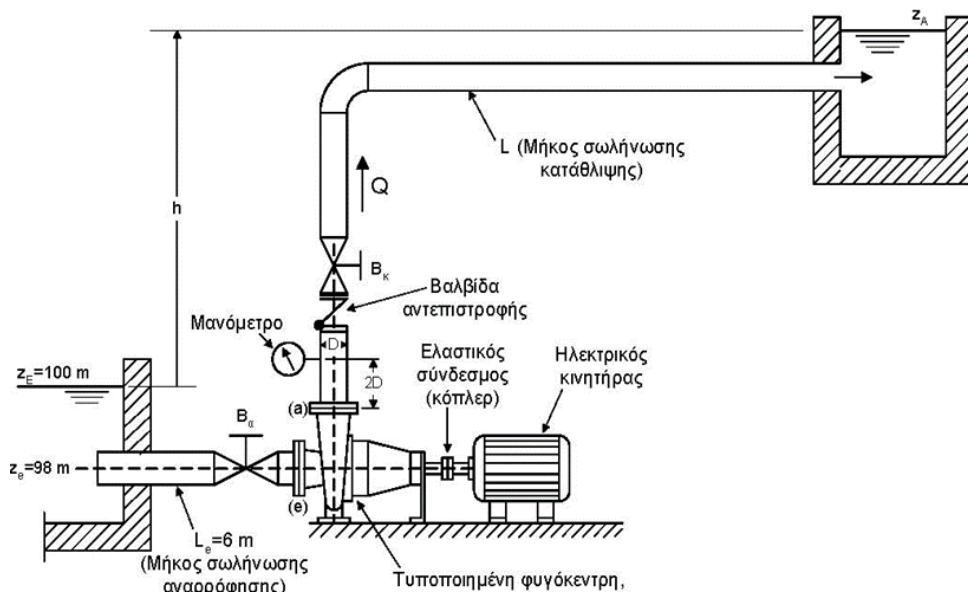
Στην περίπτωση αυτή υπάρχει η δυνατότητα διπλής ταυτόχρονης λειτουργίας με χρήση μονής σωλήνωσης. Πρόκειται για μια δεύτερη κατηγορία συστήματος αντλιοσταμείωσης, το λεγόμενο αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό σύστημα. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει μια αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή που λειτουργεί είτε ως αντλία είτε ως στρόβιλος. Αυτή η προτεινόμενη λύση εμφανίζει το πλεονέκτημα ότι είναι οικονομικότερη χωρίς να υστερεί λειτουργικά.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι ανεξάρτητα των σχεδιαστικών εκδοχών που υιοθετούνται κάθε φορά σε ένα σύστημα αντλιοσταμείωσης, οι μονάδες του συστήματος (αντλία – υδροστρόβιλος – ηλεκτρική μηχανή) τοποθετούνται σε στάθμη χαμηλότερη από αυτή της κατώτερης δεξαμενής για την αποφυγή εισροής αέρα, κάτι όμως που απαιτεί μεγάλο όγκο εκσκαφών. Επιπρόσθετα, οι μονάδες αυτές μπορούν να απομονωθούν από τις δύο δεξαμενές, μέσω βανών που τοποθετούνται στους αγωγούς κατάθλιψης και αναρρόφησης [Σπύρου, 2009].

## 9.3 Αντλητική εγκατάσταση

Με τον όρο «αντλητική εγκατάσταση» περιγράφουμε μία εγκατάσταση η οποία περιλαμβάνει μία ή περισσότερες αντλίες, που διακινούν ένα υγρό μεταξύ δύο δεξαμενών, τις μηχανές κίνησης των αντλιών

και το σύνολο των σωληνώσεων που συνδέουν τις δεξαμενές με την αντλία. Επιπλέον διαθέτει λοιπό ηλεκτρολογικό και μηχανολογικό εξοπλισμό, ο οποίος είναι απαραίτητος για τη λειτουργία, την ασφάλεια και τη συντήρησή της, στο Σχήμα 73 παρουσιάζεται μια τοπική αντλητική διάταξη.



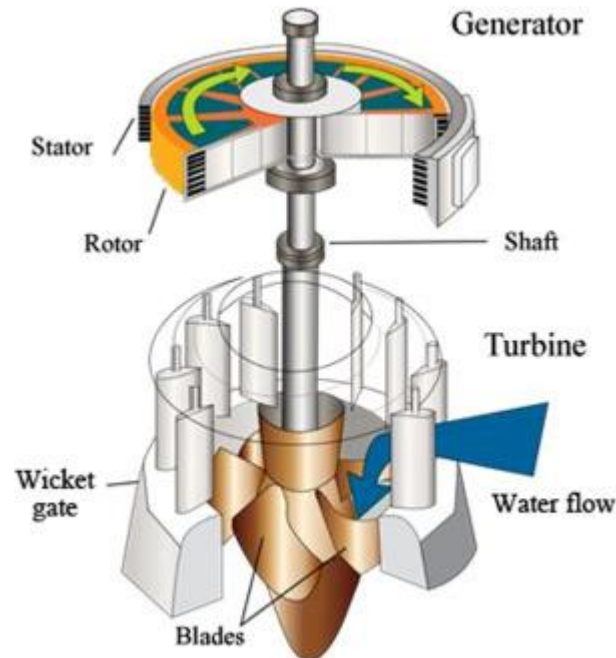
Σχήμα 73: Λεπτομερής σχηματική διάταξη απλής αντλητικής εγκατάστασης [Δημήτριος Παπαντώνης 2009].

Δύο χαρακτηριστικά μεγέθη της εγκατάστασης είναι η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας του υγρού στις δύο δεξαμενές, η οποία μετράται ως προς μια κοινή στάθμη αναφοράς. Ως στάθμη αναφοράς χρησιμοποιείται συνήθως η επιφάνεια της θάλασσας. Αξίζει να αναφερθεί ότι ως δεξαμενή μπορεί να θεωρηθεί ένας ποταμός, ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας, ένα δοχείο πίεσης ή απλά μια δεξαμενή. Ανάλογα με το αν η δεξαμενή είναι ανοιχτή ή κλειστή, διαφοροποιείται και η στατική πίεση που δέχεται το υγρό στην επιφάνειά του. Στην περίπτωση απλής ανοιχτής δεξαμενής, η στατική πίεση είναι ίση με την ατμοσφαιρική πίεση, που ως γνωστόν εξαρτάται από το υψόμετρο από το οποίο αναφερόμαστε. Η δεξαμενή που βρίσκεται σε χαμηλότερο ύψος και από την οποία το υγρό αναρροφάται, ονομάζεται δεξαμενή αναρρόφησης και η σωλήνωση που συνδέει την αντλία με τη δεξαμενή αυτή, ονομάζεται σωλήνωση αναρρόφησης. Από την άλλη, η δεξαμενή που βρίσκεται σε μεγαλύτερο ύψος και αποτελεί τον επιθυμητό προορισμό του υγρού, καλείται δεξαμενή κατάθλιψης, ενώ η σωλήνωση που τη συνδέει με την αντλία σωλήνωση κατάθλιψης [Παπαντώνης 2009]

## 9.4 Υδροστρόβιλος

Ως υδροστρόβιλος ορίζεται η μηχανή, η οποία μετατρέπει την υδραυλική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια μέσω συνεχούς ροής του υγρού και σταθερής περιστροφικής κίνησης. Η μετατροπή της ενέργειας του διερχόμενου υγρού υπό σταθερή παροχή σε μηχανική ενέργεια λαμβάνει χώρα στο στρεφόμενο μέρος της μηχανής, το οποίο καλείται δρομέας, μέσω της ανάπτυξης της κινητήριας ροπής. Η άτρακτος του δρομέα είναι συζευγμένη με ηλεκτρική γεννήτρια, η οποία με τη σειρά της μετατρέπει την μηχανική ισχύ σε ηλεκτρική. Σημειώνεται, επίσης ότι κάθε υδροστρόβιλος αποτελείται

κατασκευαστικά από τρία βασικά μέρη το τμήμα εισόδου της μηχανής, τον δρομέα και το τμήμα εξόδου όπως φαίνεται και στο Σχήμα 74.



Σχήμα 74: Αρχή λειτουργίας υδροστροβίλου.

[<https://ars.els-cdn.com/>]

#### 9.4.1 Θεωρητικό ύψος υδροστροβίλου

Στις στροβιλομηχανές ασυμπίεστου ρευστού είναι σύνηθες να εκφράζεται η ολική ενέργεια και πίεση μέσω της αντίστοιχης τιμής σε μέτρα στήλης υγρού από τη σχέση :  $H=(P/\rho g)$  όπου:  $\gamma=\rho g$  είναι το ειδικό βάρος του ρευστού. Για το λόγο αυτό η ανά μονάδα μάζας ενέργεια του νερού, εκφρασμένη σε μέτρα στήλης υγρού, που διατίθεται στον υδροστρόβιλο για να μετατραπεί σε μηχανική ενέργεια καλείται ωφέλιμο ολικό ύψος και δίνεται από τη σχέση:

$$H_l = H_{oe} - H_{oa} \quad (10.1)$$

Όπου:

$H_{oe}$ : το ολικό ύψος στην είσοδο της μηχανής

$H_{oa}$ : το ολικό ύψος στην έξοδο της μηχανής αντίστοιχα



Φυσικά λόγω των απωλειών σε τριβές και στροβιλισμούς στο εσωτερικό της μηχανής μέρος του  $H_i$  δεν μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια αλλά σε θερμότητα που διαφεύγει αναξιοποίητη. Το θεωρητικό υδραυλικό ύψος  $H_u$  του υδροστροβίλου εκφράζει την ανά μονάδα μάζας ολική ενέργεια του ρευστού που εναλλάσσεται με την μηχανική ροπή στο δρομέα και δίνεται από τη σχέση:

$$H_u = H_{oe} - H_{oa} - \delta \times h_{fea} \quad (10.2)$$

Όπου:

$H_{oe}$  : το ολικό ύψος στην είσοδο της μηχανής

$H_{oa}$ : το ολικό ύψος στην έξοδο της μηχανής και

$h_{fea}$ : οι διάφορες απώλειες στο εσωτερικό της μηχανής (υδραυλικές, ογκομετρικές, μηχανικές)

### 9.4.2 Διάκριση των υδροστροβίλων

Μια πρώτη διάκριση των υδροστροβίλων μπορεί να γίνει με βάση το βαθμό αντιδράσεως της πτερωτής. Συγκεκριμένα, ο βαθμός αντιδράσεως ενός υδροστροβίλου ορίζεται ως ο λόγος της μεταβολής της στατικής πίεσης της ροής από την είσοδο μέχρι την έξοδο του δρομέα του υδροστροβίλου προς τη συνολική μεταβολή της στατικής πίεσης από την είσοδο του δρομέα μέχρι την έξοδο από τη μηχανή

$$r_\varepsilon = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_a} \quad (10.3)$$

Όπου:

$P_1, P_2$ : η στατική πίεση στις διατομές εισόδου και εξόδου του δρομέα

$P_a$ : η στατική πίεση στην έξοδο της μηχανής

Με βάση τα παραπάνω όταν η ροή δια μέσω του δρομέα γίνεται με παράλληλη μεταβολή της στατικής πίεσης ο υδροστροβίλος χαρακτηρίζεται ως υδροστροβίλος αντιδράσεως ή ολικής προσβολής. Αντίθετα όταν ο δρομέας λειτουργεί σε χώρο ομοιόμορφης στατικής πίεσης και ο βαθμός αντιδράσεως είναι μηδενικός ( $r_\varepsilon = 0$ ) η μηχανή χαρακτηρίζεται ως υδροστροβίλος δράσεως ή μερικής προσβολής.

Μια δεύτερη κατηγοριοποίηση των υδροστροβίλων γίνεται με κριτήριο τη διαθέσιμη υδραυλική πτώση, δηλαδή την ανά μονάδα μάζας ενέργεια του νερού που διατίθεται στη μηχανή. Οι υδροστροβίλοι διακρίνονται έτσι σε μηχανές μεγάλου, μεσαίου και μικρού υδραυλικού ύψους. Στον Πίνακα 22 που

ακολουθεί παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των διαφόρων τύπων υδροστροβίλων με βάση τα δύο κριτήρια του βαθμού αντίδρασης και του υδραυλικού ύψους.

Πίνακας 17: Διάκριση των υδροστροβίλων.

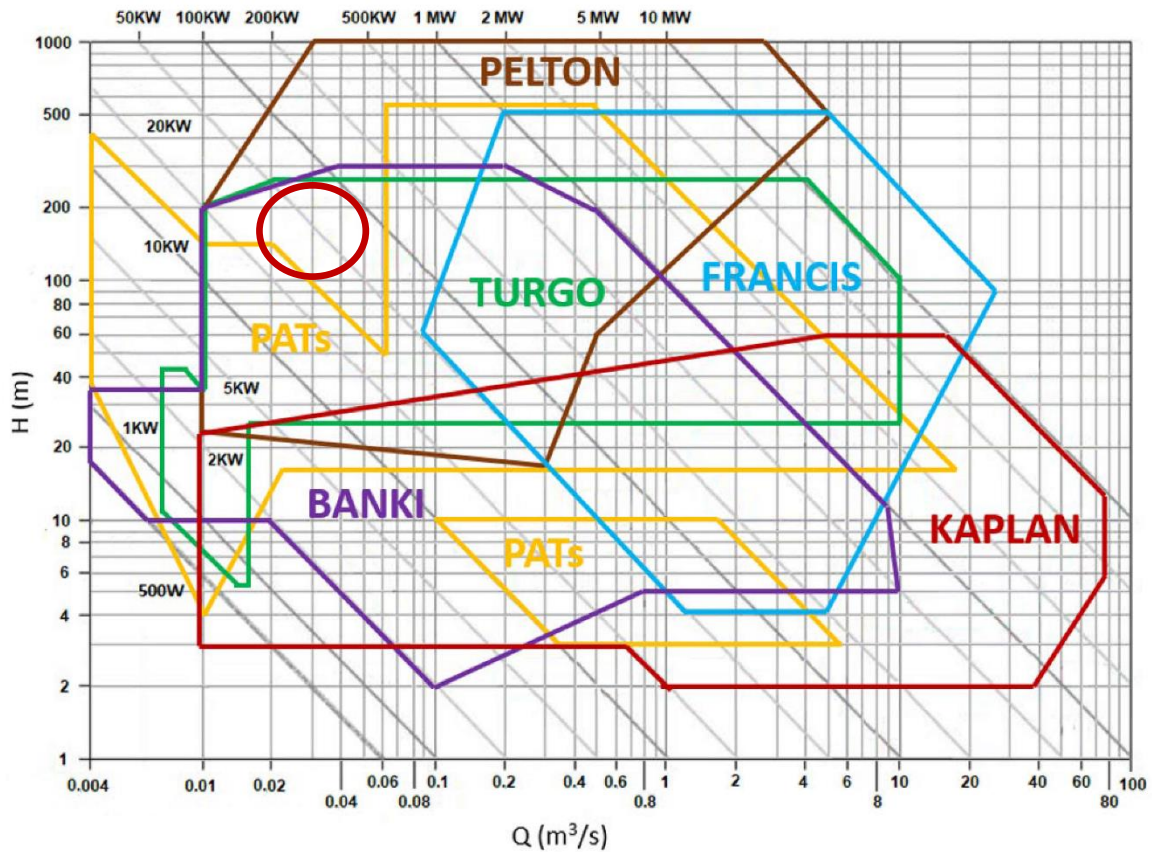
	<i>Μεγάλο Υδραυλικό Ύψος</i>	<i>Μεσαίο Υδραυλικό Ύψος</i>	<i>Μικρό Υδραυλικό Ύψος</i>
<i>Δράσεως</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pelton</li> <li>• Turgo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cross-flow</li> <li>• Pelton</li> <li>• Turgo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cross-flow</li> </ul>
<i>Αντιδράσεως</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Francis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αξονικής ροής</li> <li>• Kaplan</li> <li>• Βολβοειδής</li> </ul>

Στους υδροστροβίλους αντιδράσεως κατατάσσονται οι υδροστροβίλοι ακτινικής και μικτής ροής τύπου Francis και οι υδροστροβίλοι αξονικής ροής όπως ο υδροστροβίλος τύπου Kaplan και άλλες παραλλαγές (πχ σωληνωτός, βολβοειδής κτλ). Στους υδροστροβίλους αντιδράσεως η λειτουργία του δρομέα είναι αξονοσυμμετρική. Για το λόγο αυτό το τμήμα εισόδου της μηχανής πρέπει να περιβάλλει το δρομέα εξασφαλίζοντας αξονοσυμμετρικές συνθήκες ροής στη διατομή εισόδου.

Οι υδροστροβίλοι δράσεως χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που υπάρχει μεγάλο υδραυλικό ύψος (μεγαλύτερο των 500 m έως και 1000 m) και μικρή τιμή παροχής του νερού. Σε αυτή τη περίπτωση λόγω της ύπαρξης μεγάλου υδραυλικού ύψους και υψηλής ταχύτητας του νερού η διαθέσιμη υδραυλική ισχύς επικεντρώνεται σε μια μικρή περιοχή ροής. Για το λόγο αυτό η συγκεντρωμένη ισχύς αξιοποιείται περισσότερο αποδοτικά, αφού κατευθυνθεί μέσω ενός ή περισσότερων δεσμών νερού που προσπίπτουν πάνω στο δρομέα, ο οποίος μειώνει σημαντικά την ταχύτητά τους. Χαρακτηριστικοί τύποι των υδροστροβίλων δράσεως είναι ο υδροστροβίλος τύπου Pelton και ο υδροστροβίλος τύπου Turgo [Παπαντώνης, 2001].

### 9.4.3 Επιλογή τύπου υδροστροβίλου

Προκειμένου να επιλεγεί ο πιο αποδοτικός και αξιόπιστος υδροστροβίλος για δεδομένη τιμή παροχής  $Q$  και υδραυλικής πτώσης λαμβάνονται υπόψη οι περιοχές καλής λειτουργίας κάθε τύπου υδροστροβίλου. Η τελική επιλογή για τον υδροστροβίλο μιας υδροηλεκτρικής εγκατάστασης γίνεται από διάγραμμα Σχήμα 75. Αρκετές περιπτώσεις η επιλογή του τύπου του υδροστροβίλου δεν είναι μονοσήμαντη και απαιτείται να ληφθούν υπόψη και άλλα κριτήρια όπως το κόστος της μηχανής, το εύρος λειτουργίας, η στιβαρότητα και η ροπή αδράνειας. Στο σημείο αυτό παρατίθεται ενδεικτικά ένα διάγραμμα για την επιλογή του καταλληλότερου τύπου μηχανής με βάση το σημείο ονομαστικής λειτουργίας ( $Q,H$ ):



Σχήμα 75: *Turbine Application Chart.*

[<https://www.mdpi.com/>]

#### 9.4.4 Βαθμός απόδοσης υδροστροβίλου

Ο ολικός βαθμός απόδοσης ενός υδροστροβίλου ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής ισχύος  $N$  που αποδίδεται στην άτρακτο της μηχανής, προς την θεωρητική ισχύ ( $N=\gamma HQ$ ).

$$\eta = \frac{N}{\gamma \times H \times Q} < 1 \quad (10.4)$$

Όπου:

$\gamma$ : το ειδικό βάρος του ρευστού  $\gamma=\rho g$ , ( $\text{Kg}/\text{s}^2\text{m}^2$ )

$H$ : το ωφέλιμο ολικό ύψος πτώσης (m)

$Q$ : η παροχή του ρευστού ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Ο ολικός βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου είναι πάντα μικρότερος της μονάδας λόγω των ενεργειακών απωλειών. Οι ενεργειακές απώλειες περιλαμβάνουν συγκεκριμένα:

- Υδραυλικές απώλειες: στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι απώλειες τριβής και οι απώλειες κατά μήκος των γραμμών ροής
- Ογκομετρικές απώλειες:, όπου η παροχή που ρέει από τη διατομή εισόδου του δρομέα στην διατομή εξόδου μέσω του ακτινικού διακένου
- Μηχανικές απώλειες: εδράνων και στρεφόμενου δίσκου
- Διαφεύγουσα κινητική ενέργεια:

Ο ολικός βαθμός απόδοσης μπορεί να προκύψει, επίσης, από την επόμενη σχέση ως το γινόμενο μηχανικού, ογκομετρικού και υδραυλικού βαθμού απόδοσης.

$$\eta = \eta_m \times \eta_h \times \eta_Q \quad (10.5)$$

Όπου:

$\eta_m$ : ο μηχανικός βαθμός απόδοσης

$\eta_h$ : ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης

$\eta_Q$ : ο υδραυλικός βαθμός απόδοσης

#### 9.4.5 Ενεργειακή ανάλυση

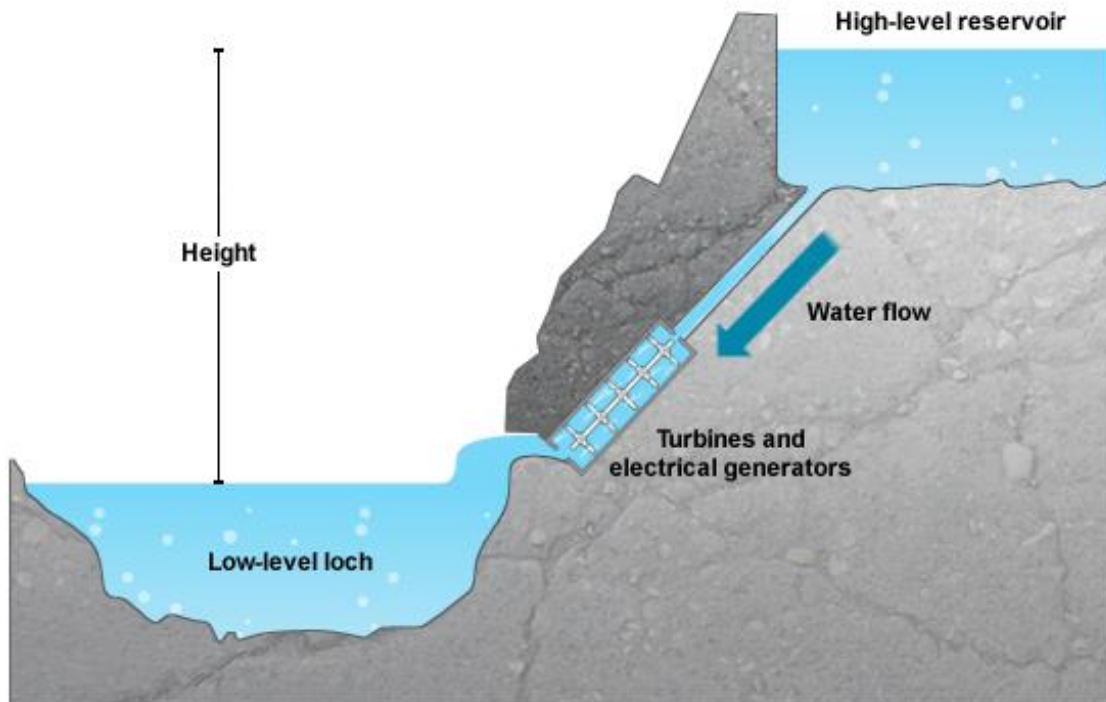
Για την παρουσίαση του διαγράμματος Sankey Σχήμα 77 μίας τυπικής υδροηλεκτρικής εγκατάστασης απαιτείται να μελετηθεί αρχικά η ροή ενέργειας δια μέσου αυτής. Οι ενεργειακές μετατροπές που λαμβάνουν χώρα σε ένα υδροηλεκτρικό έργο παρουσιάζονται στη συνέχεια αναλυτικά. Αρχικά υπολογίζεται η ενέργεια του νερού ανά μονάδα μάζας (δηλαδή η δυναμική ενέργεια) που είναι ίση με την υδραυλική πτώση  $H_e$  (m) Σχήμα 76 της δεδομένης εγκατάστασης, συνεπώς:

$$H_e = Z_E - Z_A \quad (10.6)$$

Όπου:

$Z_E$ : η στάθμη στη δεξαμενή φόρτισης (m)

$Z_A$ : η στάθμη του νερού κατάντη του έργου (m)



Σχήμα 76: Θεωρητική υδραυλική πτώση στο υδροηλεκτρικό.

[<https://t1.daumcdn.net>]

Η δυναμική (υδροδυναμική) ενέργεια που διατίθεται προς μετατροπή της σε μηχανική από το ύψος αναφοράς των στροβίλων υπολογίζεται ως εξής:

$$E_h = \gamma \times V \times H_e \quad (10.7)$$

Όπου:

$\gamma$ : το ειδικό βάρος του ρευστού  $\gamma = \rho g$ , ( $\text{Kg/s}^2\text{m}^2$ )

$H_e$ : το θεωρητικό ύψος πτώσης (m)

$V$ : ο όγκος πτώσης του ρευστού ( $\text{m}^3$ )

Για τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε υδραυλική θα πρέπει να αφαιρεθούν οι υδραυλικές απώλειες κατά τη προσαγωγή του νερού στον υδροστρόβιλο

$$E_Y = E_h - \Delta E_Y = \gamma \times V \times (H - \Delta H) \rightarrow$$

$$E_Y = \gamma \times V \times H_n \quad (10.8)$$

Όπου:

$\Delta H: \Delta H = H_e - H_n$  όπου  $H_n$  : το καθαρό ύψος πτώσης.

Η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε κινητική του στροβίλου και κατ' επέκταση ηλεκτρική υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E = \eta \times E_Y \rightarrow$$

$$E = \eta \times \gamma \times V \times H_n \quad (10.9)$$

Όπου:

$\eta$ : ο συνολικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου

Οι υδραυλικές απώλειες  $\Delta H = H_e - H_n$  εξαρτώνται από:

- την παροχή στον αγωγό προσαγωγής (αναφέρεται και ως αγωγός πτώσης)
- το υλικό και ηλικία του αγωγού (τραχύτητα)
- τα γεωμετρικά μεγέθη του αγωγού (μήκος, διάμετρος)
- τις αλλαγές γεωμετρίας (στροφές, στενώσεις, κτλ.) κατά τη διαδρομή του νερού μέχρι τους στροβίλους (τοπικές απώλειες ενέργειας)

Γενική σχέση υδραυλικών απωλειών εκφράζεται ως:

$$\Delta H = J \times L + h_T \quad (10.10)$$

Όπου:

$J$ : η κλίση της γραμμής ενέργειας (απώλειες τριβών, ανά μέτρο μήκους)

$L$ : το μήκος του αγωγού

$h_T$ : οι συνολικές τοπικές απώλειες εισόδου, εξόδου

Κατά τον σχεδιασμό του συστήματος προσαγωγής, ζητούμενο είναι η ελαχιστοποίηση τόσο των υδραυλικών απωλειών (ενδεικτικό ποσοστό έως 5%) [<http://mycourses.ntua.gr/calendar/myagenda.php>].

Λόγω του μεγάλου μεγέθους της δεξαμενής φόρτισης η κινητική ενέργεια του νερού σε αυτή είναι αμελητέα. Έτσι η υδραυλική ισχύς που διατίθεται για μετατροπή σε μηχανική ενέργεια είναι ίση με:

$$N_h = \gamma \times Q \times H_e \quad (10.11)$$

Όπου:

$\gamma$ : το ειδικό βάρος του θαλασσινού νερού  $\gamma = \rho g$ , ( $\text{Kg/s}^2\text{m}^2$ )

$H_e$ : το θεωρητικό ύψος πτώσης (m)

$Q$ : η παροχή του ρευστού ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

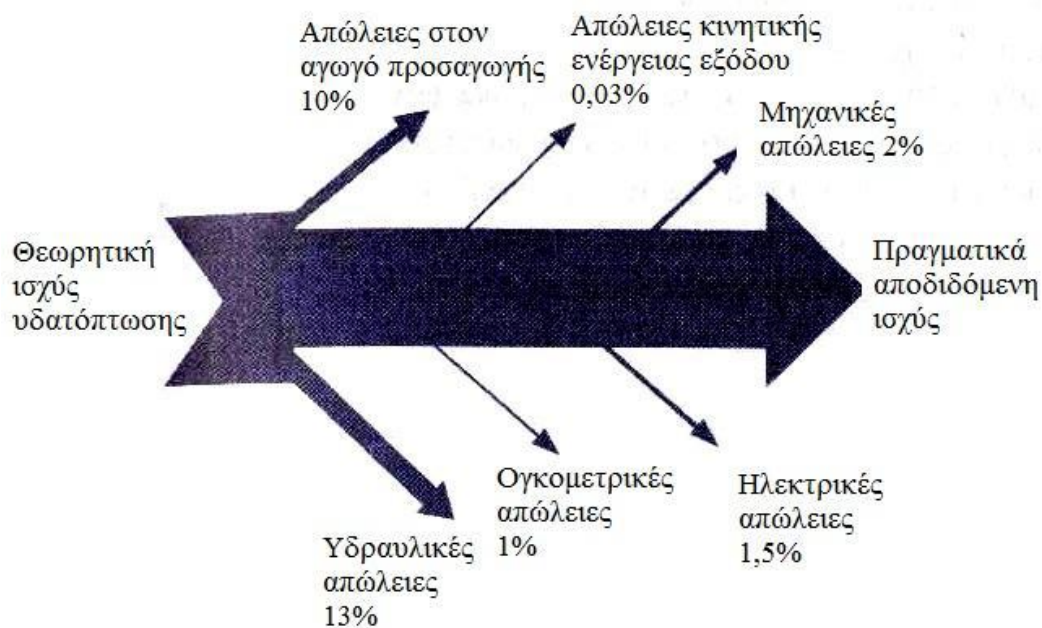
Η μηχανική ισχύς καθώς και η μηχανική ενέργεια που ανακτάται όμως τελικά από τον υδροστροβίλο είναι μικρότερη των  $N_h$ ,  $E_h$  κατά τις υδραυλικές απώλειες στο σύστημα προσαγωγής και στον ίδιο τον υδροστροβίλο. Οι υδραυλικές απώλειες στο σύστημα προσαγωγής δηλ είναι ανάλογες του τετραγώνου της παροχής (ισχύει:  $\delta h_f = KQ^2$ ) και ως εκ τούτου η ενέργεια ανά μονάδα μάζας του νερού την οποία ο υδροστροβίλος καλείται να μετατρέψει σε μηχανική είναι ίση με:

$$H = H_e - \delta h_f = H_e - kQ^2 \quad (10.12)$$

Σύμφωνα με τα προηγούμενα και συμβολίζοντας με  $\eta_{TUR}$  το βαθμό απόδοσης του υδροστροβίλου η καθαρή μηχανική ισχύς που αποδίδει ο υδροστροβίλος (λαμβάνοντας υπόψη της απώλειες στο εσωτερικό του) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N = \eta \times \gamma \times Q \times H \quad (10.13)$$

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ενδεικτικά η ροή της ενέργειας διαμέσου μιας τυπικής υδροηλεκτρικής εγκατάστασης με τη βοήθεια του διαγράμματος Shankey Σχήμα77.



Σχήμα 77: Τυπικό διάγραμμα Shankey υδροηλεκτρικής εγκατάστασης (Καλδέλης και Καββαδίας, 2005)

Για να ανυψωθεί μια ποσότητα νερού κατά μια υψομετρική διαφορά με τη χρήση συστήματος αντλιών απαιτείται ενέργεια που υπολογίζεται ως εξής:

$$E_A = \frac{\gamma \times V \times H_M}{\eta} \quad (10.14)$$

Όπου:

$H_M$ : το μανομετρικό υψόμετρο

$\eta$ : ο βαθμός απόδοσης των αντλιών

Το μανομετρικό ύψος εκφράζει την υδραυλική ενέργεια που απαιτείται προκειμένου να καλυφθεί η υψομετρική διαφορά  $H_e$  και οι υδραυλικές απώλειες,  $\Delta H$  κατά τη μεταφορά του νερού (απώλειες ενέργειας στον λεγόμενο καταθλιπτικό αγωγό):

$$H_M = H_e + \Delta H \quad (10.15)$$



Ο βαθμός απόδοσης είναι ο λόγος της μηχανικής ενέργειας που παρέχει η αντλία προς την ηλεκτρική ενέργεια που της παρέχεται, συνήθως λαμβάνεται ίσος με το βαθμό απόδοσης του υδροστρόβιλου ( $\eta=0.85$ ). Η απαιτούμενη ισχύς διερχόμενης παροχής  $Q$  μιας αντλίας ισούται με:

$$N_A = \frac{\gamma \times Q \times H_M}{\eta} \quad (10.16)$$

## 9.5 Αντλησιοταμίευση οικισμού στα Αρμάθια Η. Ν. Κάσου

### 9.5.1 Περιγραφή του συστήματος αντλησιοταμίευσης του οικισμού

Όπως αναφέρθηκε και πρωτύτερα η ανάγκη ηλεκτροδότησης του οικισμού την νυχτερινή περίοδο δεν καλύπτεται από την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού πάρκου. Η κάλυψη της νυχτερινής ζήτησης θα υλοποιηθεί μέσω συστήματος αντλησιοταμίευσης, επίσης το σύστημα αντλησιοταμίευσης σχεδιάζεται για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του οικισμού διαστήματος πέντε ημερών 5 (d) μη ηλιόλουστων ημερών όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα αδύνατη να ανταπεξέλθει. Η περίσσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του φωτοβολταϊκού πάρκου θα χρησιμοποιείται καθημερινώς για την άντληση και ανύψωση θαλασσινού νερού σε ταμιευτήρα που θα κατασκευαστεί σε συγκεκριμένο υψόμετρο. Το υψόμετρο του ταμιευτήρα, η χωρητικότητα του και η επιλογή κατάλληλου υδροστρόβιλου αποτελούν συνιστώσες του προβλήματος ώστε η ζήτηση του οικισμού να καλύπτεται και τη νυχτερινή περίοδο. Επιπλέον η περίπτωση της μονής σωλήνωσης ταιριάζει απολύτως στο τρόπο λειτουργίας του συστήματος εφόσον την ημέρα πραγματοποιείται η άντληση και τη νύχτα η παραγωγή ενέργειας μέσω του υδροστρόβιλου. Επίσης όταν ο υδροστρόβιλος λειτουργεί σε περίπτωση συννεφιάς και την ημέρα, δεν υπάρχει ενέργεια άντλησης εφόσον τα φωτοβολταϊκά δεν δύνανται να παράγουν. Τέλος το σύστημα μονής σωλήνωσης εμφανίζει ασφαλώς το πλεονέκτημα της πιο οικονομικής λύσης, δεδομένου ότι μειώνονται τα έξοδα της εγκατάστασης.

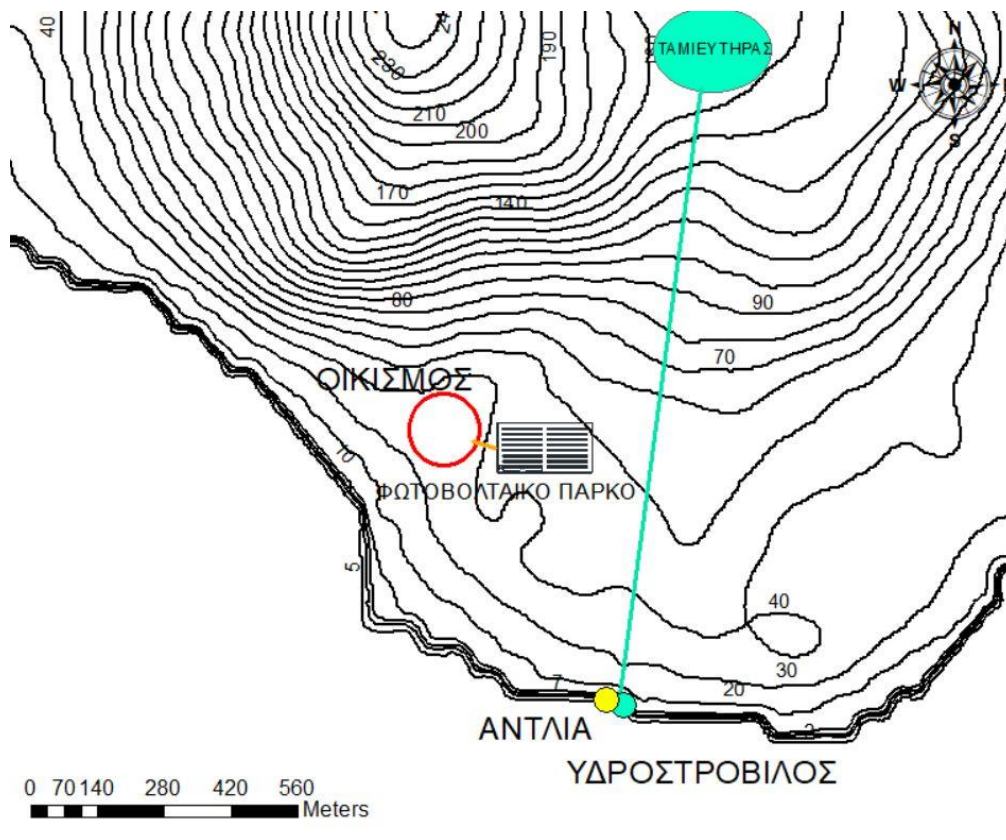
### 9.5.2 Επιλογή υδροστρόβιλου και χωροθέτηση ταμιευτήρα

Για την επιλογή του υδροστρόβιλου θα πρέπει να ποσοτικοποιηθεί η νυχτερινή ζήτηση στον οικισμό από τις 19:00μ.μ - 08:00π.μ αντ' αυτού ο υδροστρόβιλος και υπέρ της ασφαλείας θα διαστασιολογηθεί για τη μέγιστη ημερήσια ζήτηση ισχύος επομένως θα έχει εγκατεστημένη ισχύ  $P_{\max}=60$  KW. Επιπλέον όπως προαναφέρθηκε το σύστημα θα διαστασιολογηθεί για την κάλυψη της νυχτερινής περιόδου του οικισμού και επιπροσθέτως για την κάλυψη πέντε μερών 5 (d) των ενεργειακών αναγκών του οικισμού σε περίπτωση μη ηλιόλουστων ημερών. Η νυχτερινή ζήτηση του οικισμού εκτιμάται στο 30% της ημερήσιας. Συνεπώς παρουσιάζονται οι συνολικές ενεργειακές απαιτήσεις του υδροστρόβιλου Πίνακας 23 και κατ' επέκταση του υδροηλεκτρικού. Προβλέπεται μια απόκλιση 251.27 kWh ως ενεργειακές απώλειες σπατάλης περίσσειας ενέργειας κατά την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του οικισμού.

Πίνακας 18: Απαιτήσεις υδροστρόβιλου-Υδροηλεκτρικού σε ενέργεια.

	Νυχτερινή Ζήτηση (kWh)	(5d) Συννεφιάς (kWh)	Συνολικές Απαιτήσεις (kWh)
Ζήτηση Υδροστρόβιλος/Υ.Η	$30\% \times 761.59$	$5 \times 761.59$	4036.43
Παραγωγή Υδροστρόβιλος/Υ.Η	$30\% \times 809.00$	$5 \times 809.00$	4287.70

Αρχικά επιλέχθηκε η περιοχή χωροθέτησης του ταμιευτήρα της αντλιοσταμείωσης καθώς και συνάμα ένα ικανοποιητικό υψόμετρο πτώσης. Το μεγάλο υψόμετρο τίθεται σε προτεραιότητα λόγω της αντιστρόφου ανάλογου σχέσης του το μέγεθος του ταμιευτήρα προς κατασκευή καθώς και την ποσότητα του αντλούμενου νερού. Επιλέχθηκε περιοχή που το ανάγλυφο της σχηματίζει πλάτωμα στο υψόμετρο των 160m με την προοπτική ο υδροστρόβιλος να χωροθετείται όσο το δυνατό πλησιέστερα του οικισμού για την παροχέτευση της παραγόμενης ενέργειας καθώς και κοντά στο φωτοβολταϊκό πάρκο για την παροχέτευση της μανομετρικής αντλίας της αντλιοσταμείωσης με ηλεκτρισμό. Με την επιλογή της συγκεκριμένης περιοχής του ταμιευτήρα και του υδροστρόβιλου το μήκος των σωληνώσεων υπολογίζεται  $L_1=1400$  m. Εν συνεχεία παρουσιάζεται η χωροθέτηση του συστήματος αντλιοσταμείωσης Σχήμα 78.



Σχήμα 78: Χωροθέτηση συστήματος αντλιοσταμείωσης.

Με βάσει την εξίσωση (10.9) υπολογίστηκε η χωρητικότητα του ταμιευτήρα στο υψόμετρο των 160 m για την πενήμημερη κάλυψη του οικισμού ως δυσμενέστερο σενάριο σχεδιασμού.

$$V_t = \frac{E}{\eta \times \gamma \times H_n} = \frac{4287.7_{kWh} \times 10^7}{0.85 \times 10055.25 \left(\frac{kg}{s^2 \times m^3}\right) \times 152_m \times 2.776} = 11881.54_{m^3}$$

Όπου:

$\gamma$ : το ειδικό βάρος του θαλασσινού νερού

$$\rightarrow \gamma = \rho \times g = 1025 \left(\frac{kg}{m^3}\right) \times 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right) = 10055.25 \left(\frac{kg}{s^2 \times m^3}\right)$$

$H_n$ : το καθαρό ύψος πτώσης

$$\rightarrow H_n = H_e - \Delta H = 160_m - 0.05 \times 160_m = 152_m$$

$V$ : ο συνολικός όγκος πτώσης του ρευστού ( $m^3$ )

$\eta$ : ο συνολικός βαθμός απόδοσης του υδροηλεκτρικού

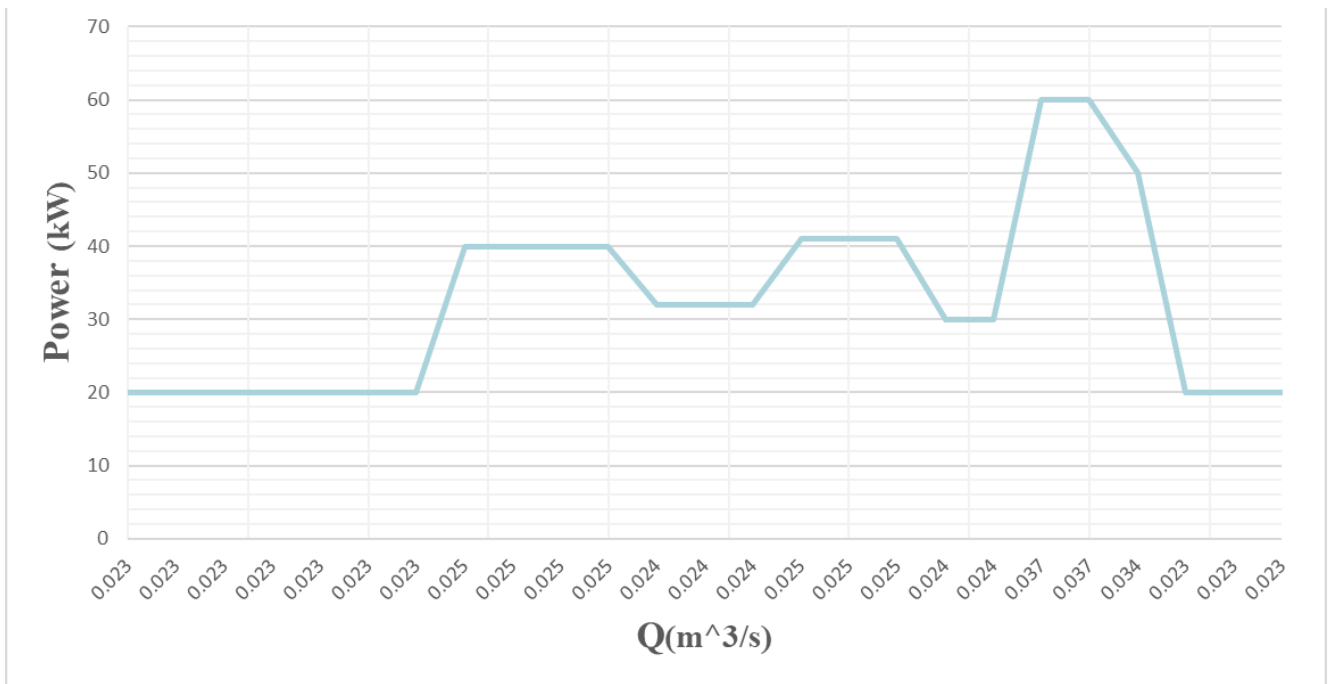
$$\rightarrow \eta = \eta_m \times \eta_h \times \eta_Q = 0.85$$

Οι διαστάσεις του ταμιευτήρα επιλέχθηκαν 50x40x6 m με συνολικό όγκο  $V_t=12000 m^3$ . Ο υδροστροβίλος που επιλέγεται για την κάλυψη των παραπάνω ενεργειακών αναγκών θα είναι τύπου δράσεως και πιο συγκεκριμένα Pelton (20-60kW) ιδανικός για θαλασσινό νερό, λόγω της τεχνολογίας Pelton όπου εμφανίζει τα εξής πλεονεκτήματα:

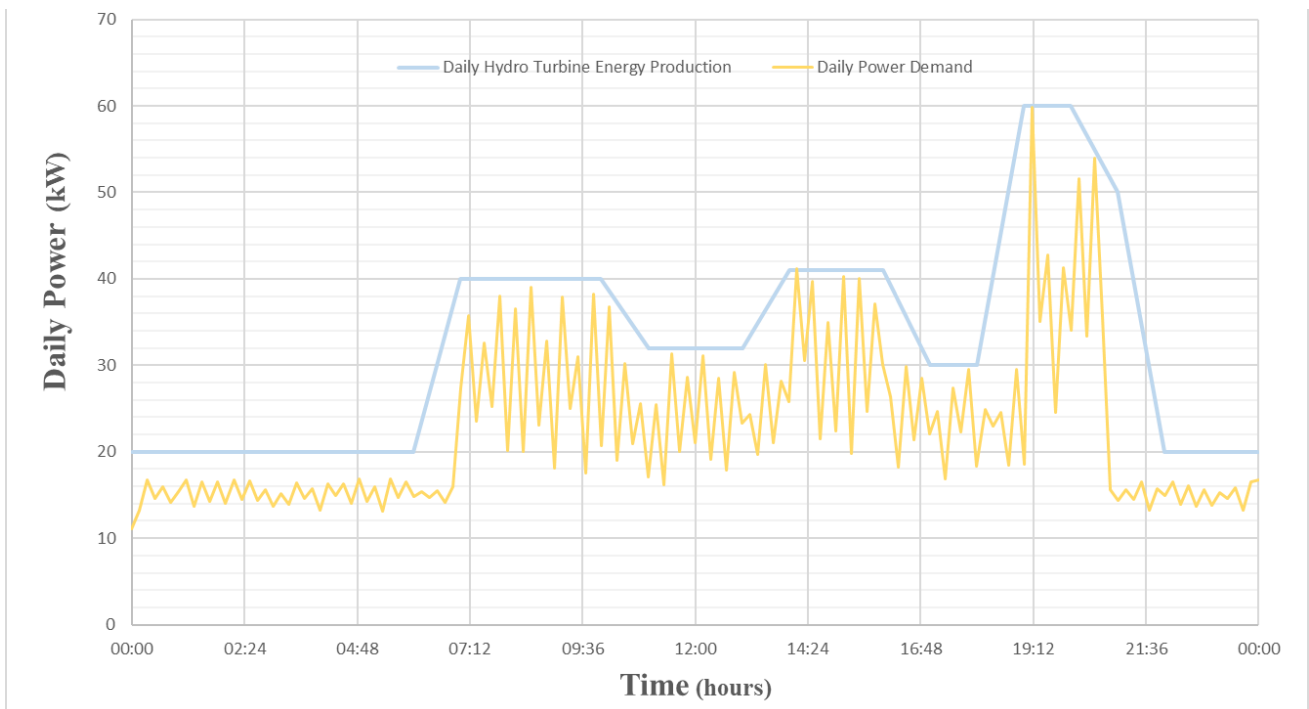
- είναι αποδοτικός σε μεγάλο εύρος τιμών ισχύος με μικρή μείωση απόδοσης
- ανταπόκριση σε μεγάλα υψόμετρα

### 9.5.3 Λειτουργία υδροστροβίλου προς κάλυψη αναγκών οικισμού

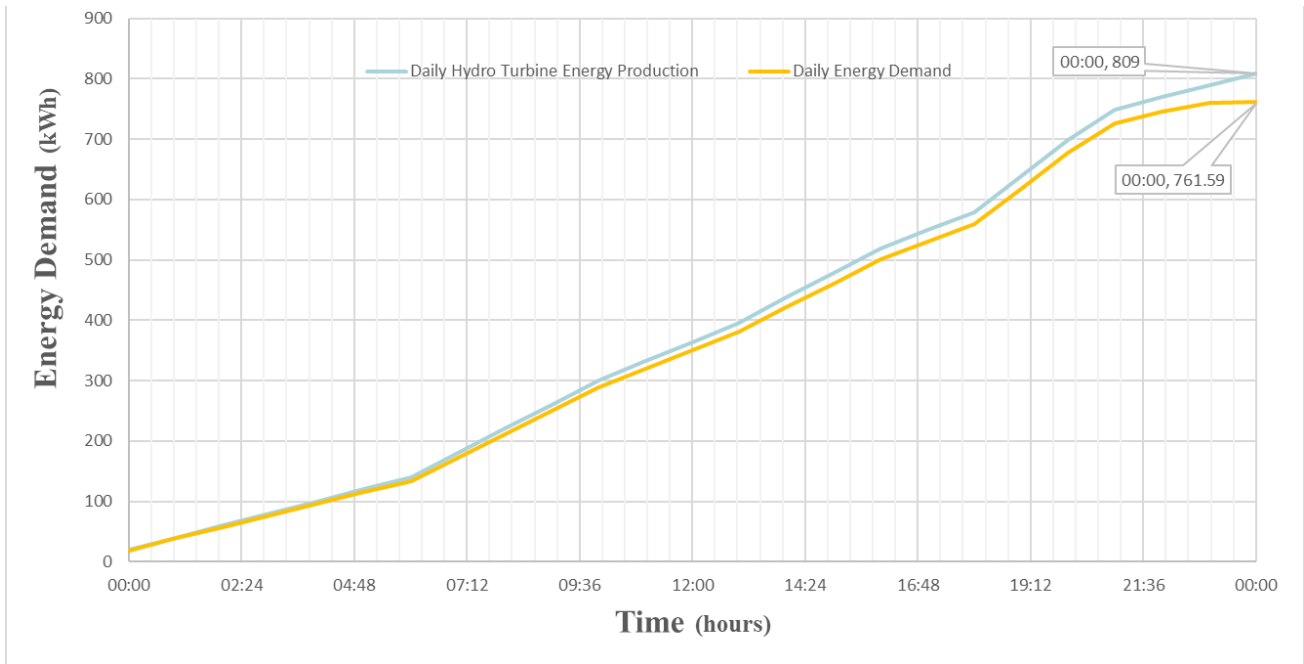
Από το διάγραμμα Σχήμα 75 αντλήθηκαν δεδομένα για τη λειτουργία ενός υδροστροβίλου Pelton για διάφορες τιμές της ζητούμενης ισχύος και διαμορφώθηκαν τα διαγράμματα ισχύος-παροχής Σχήμα 79 του στροβίλου, κάλυψης της ημερήσιας ζήτησης ισχύος Σχήμα 80 καθώς και κάλυψης απαιτούμενης ενέργειας του οικισμού για μία Σχήμα 81 και για πέντε ημέρες Σχήμα 82.



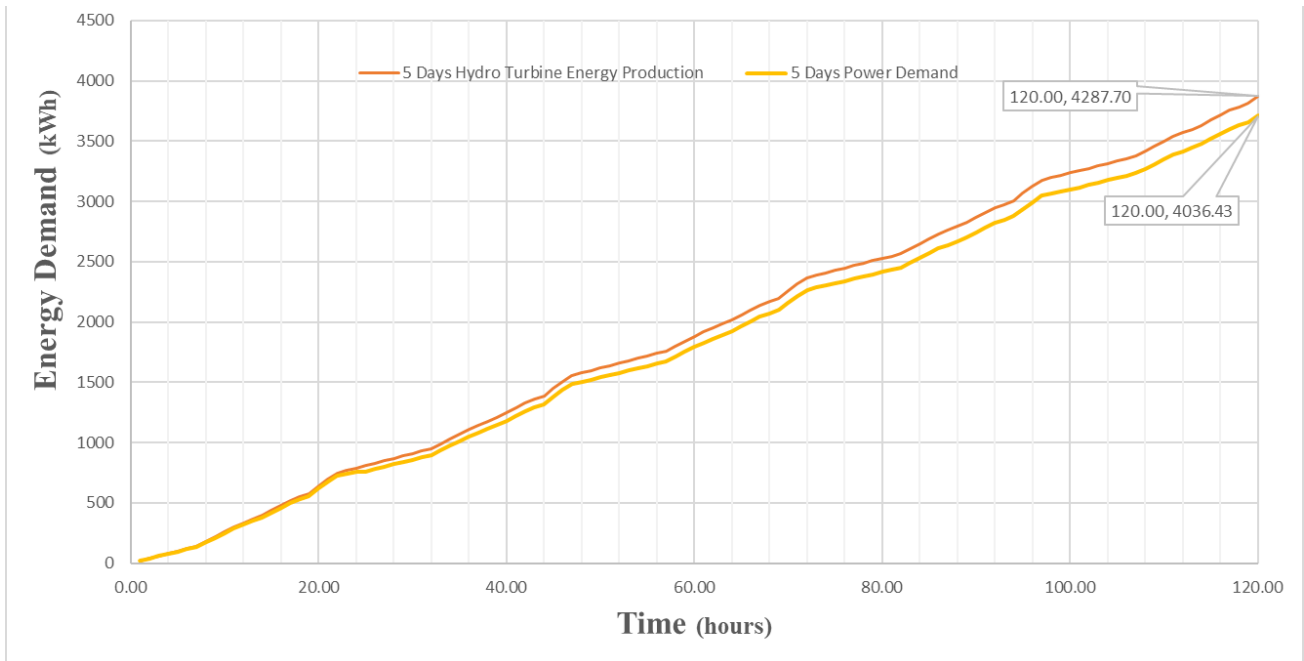
Σχήμα 79: Ημερήσιο διάγραμμα ισχύος παροχής υδροστροβίλου Pelton.



Σχήμα 80: Ημερήσια κάλυψη ζήτησης ισχύος οικισμού από τον υδροστρόβιλο Pelton.



Σχήμα 81: Ημερήσια κάλυψη ζήτησης ενέργειας του οικισμού από τον υδροστρόβιλο Pelton.

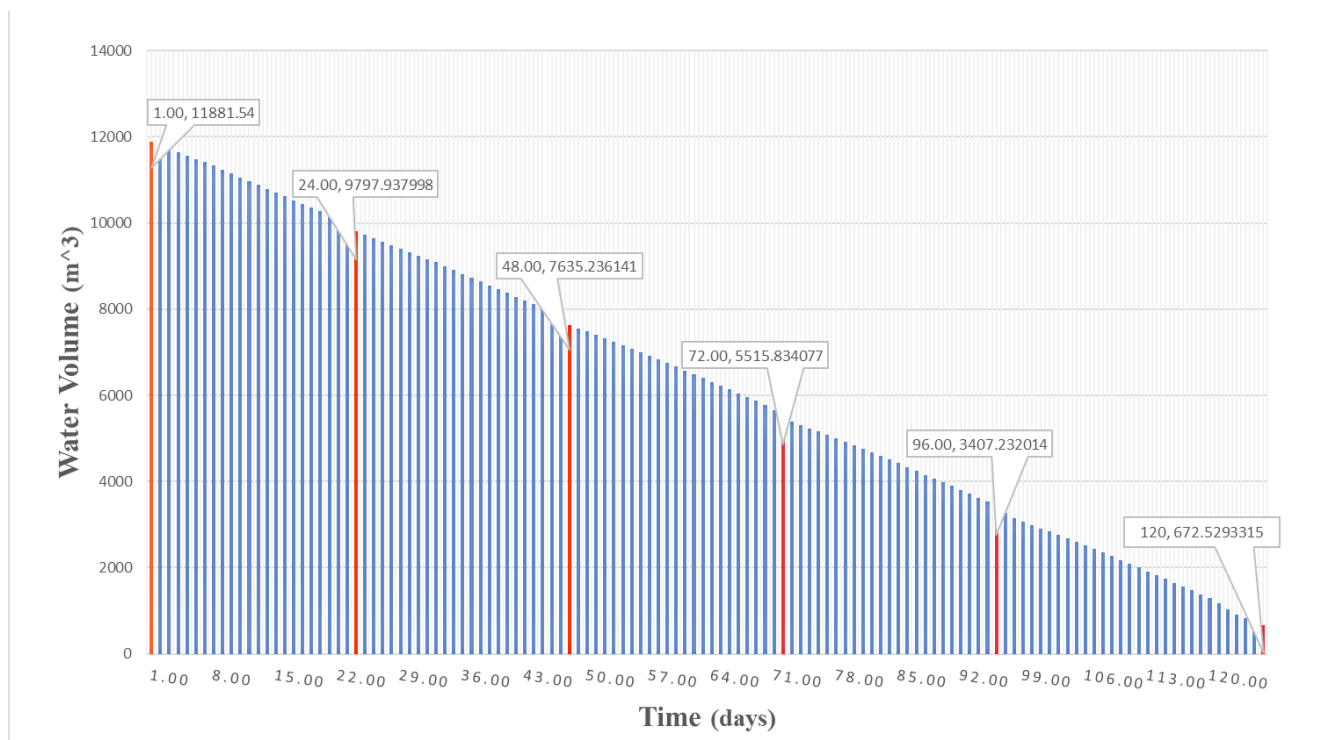


Σχήμα 82: Πενθήμερη κάλυψη ζήτησης ενέργειας από των υδροστρόβιλο Pelton.

Με βάση την εξίσωση (10.9) υπολογίστηκε η μεταβολή του όγκου του ταμιευτήρα για μια ημέρα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών του οικισμού παραγωγής  $E=809 \text{ kWh}$ , ο όγκος αυτός αφαιρέθηκε διαδοχικά από τον συνολικό όγκο νερού του ταμιευτήρα για διάστημα πέντε ημερών 5 (d).

$$V_d = \frac{E}{\eta \times \gamma \times H_n} = \frac{809_{kWh} \times 10^7}{0.85 \times 10055.25 \left(\frac{kg}{s^2 \times m^2}\right) \times 152_m \times 2.776} = 2241.80_{m^3}$$

Εν συνεχεία, παρουσιάζεται η μεταβολή όγκου νερού του ταμιευτήρα κατά το διάστημα πέντε μη ηλιόλουστων ημερών Σχήμα 83 προς κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του οικισμού. Η χωρητικότητα του ταμιευτήρα έχει σχεδιαστεί ώστε να αποθηκεύεται νερό για τροφοδοσία πέντε ημερών 5 (d) του οικισμού με ενέργεια καθώς και επιπλέον για την ηλεκτρική κάλυψη διάρκειας μιας νύχτας επιπλέον ώστε ο ταμιευτήρας μετά από την καθημερινή του λειτουργία κάθε βράδυ να μπορεί να ανταπεξέλθει στην πενθήμερη ζήτηση αποτελεσματικά, αυτό είναι φανερό από το απόθεμα στο τέλος των πέντε ημερών των  $V=672.53 \text{ m}^3$  όπου αντιστοιχεί σε ποσοστό 60% της ημερήσιας ζήτησης, αυτό υπερκαλύπτει την βραδινή ζήτηση νερού που έχει εκτιμηθεί στο 30% της ημερήσιας.



Σχήμα 83: Μεταβολή του όγκου νερού του ταμιευτήρα κατά το διάστημα των πέντε ημερών μη ηλιοφάνειας.

### 9.5.4 Αντλητικό σύστημα θαλασσινού νερού

Για τη λειτουργία του συστήματος αντλησιοταμίευσης σημαντικό ρόλο κατέχει και το σύστημα άντλησης αυτού. Το σύστημα των αντλιών που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι ιδανικό για θαλασσινό νερό και επίσης να ανταπεξέρχεται στο μανομετρικό υψόμετρο  $H_M=160$  m. Λόγω του σχετικά μεγάλου μανομετρικού θα η σύνδεση των αντλιών που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι σε σειρά. Ως απλή παραδοχή η παροχή όμοιων αντλιών που συνδέονται σε σειρά παραμένει ίδια με αυτήν της μίας αντλίας, ενώ το μανομετρικό που επιτυγχάνεται με την προκύπτει από τη σχέση:

$$H_M = H_{M1} + H_{M2} \quad (10.17)$$

Όπου:

$H_{M1}$  : το μανομετρικό της πρώτης αντλίας

$H_{M2}$ : το μανομετρικό της δεύτερης αντλίας

Το αντλητικό σύστημα σχεδιάστηκε για το δυσμενέστερο σενάριο των πέντε ημερών μη ηλιοφάνειας και την πλήρωση του ταμιευτήρα σε διάστημα έξι ημερών . Ο αντλητικός όγκος που προς πλήρωση του ταμιευτήρα ισούται με  $V_\tau=11881.54$  m<sup>3</sup> όπως υπολογίστηκε από την εξίσωση (10.14). Με βάση τα παραπάνω το αντλητικό σύστημα σχεδιάστηκε ως εξής:

- δυο γραμμές των δύο όμοιων αντλιών συνδεδεμένων σε σειρά
- οχτώ ώρες λειτουργίας τη μέρα (8h/24h)
- δυο όμοιες αντλίες σε σειρά εφεδρικής χρήσης

Για την άντληση  $V_\tau=11881.54$  m<sup>3</sup> σε διάστημα έξι ημερών λειτουργίας οχτώ ωρών τη μέρα (8h/24h) με δύο γραμμές των δύο αντλιών συνδεδεμένων σε σειρά υπολογίστηκε η ημερήσια παροχή νερού που θα πρέπει να εξυπηρετεί κάθε γραμμή και κατ' επέκταση κάθε αντλία ως:

$$Q_A = \frac{V_\tau}{n_h \times n_l \times n_d} \quad (10.18)$$

Όπου:

$n_h$  : ο αριθμός των ωρών λειτουργίας του αντλητικού συστήματος ημερησίως,  $n_h = 8$ (h/d)

$n_l$  : ο αριθμός των γραμμών του αντλητικού συστήματος,  $n_l = 2$

$n_d$ : ο αριθμός των ημερών λειτουργίας του αντλητικού συστήματος,  $n_d=6$  (d)

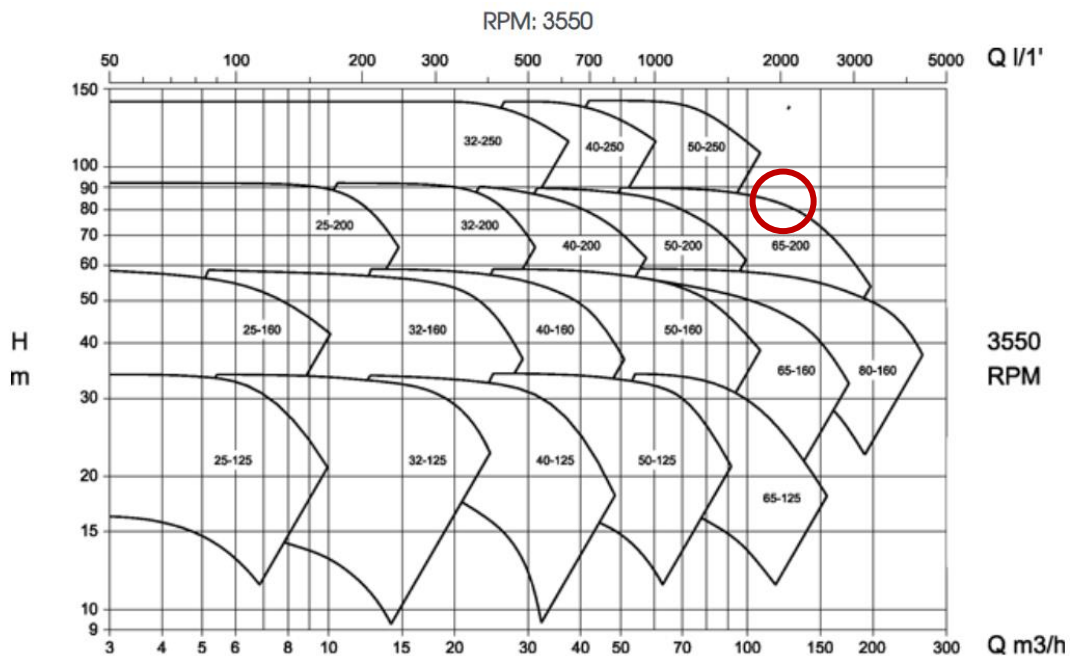
Οπότε:

$$Q_A = \frac{V_\tau}{n_h \times n_l \times n_d} = \frac{11881.54 m^3}{8 \left(\frac{h}{d}\right) \times 2 \times 6_d} = 123.76 \left(\frac{m^3}{h}\right)$$

Συνεπώς κάθε γραμμή θα πρέπει να ανταποκρίνεται στην παροχή  $Q_A=123.76 \text{ (m}^3/\text{h)}$ . Επίσης σε κάθε γραμμή θα πρέπει να καλύπτεται το μανομετρικό υψόμετρο  $H_m= 168 \text{ m}$ . Εφόσον οι αντλίες κάθε γραμμής είναι συνδεδεμένες σε σειρά και κάθε αντλία θα πρέπει να ανταποκρίνεται στην ίδια παροχή και να ανταποκρίνεται το ελάχιστο σε 80m μανομετρικό υψόμετρο. Επιλέχθηκε αντλία θαλασσινού νερού μονοβάθμια φυγόκεντρη της σειράς TCHM 65200, 3550 RPM Σχήμα 84 όπου στο μανομετρικό  $H_m= 85 \text{ m}$  αντιστοιχεί παροχή λειτουργίας  $Q_A=125 \text{ (m}^3/\text{h)}$  όπως προκύπτει από την καμπύλη λειτουργίας της Σχήμα 85.



Σχήμα 84: Αντλία αντλησιοταμίευσης TCHM 65200, 3550 RPM .



Σχήμα 85: Καμπύλη λειτουργίας της αντλίας TCHM 65200, 3550 RPM [<https://axbul.bg/gr>].



Η συνολική ενέργεια που απαιτείται για την συνολική άντληση της πλήρωσης του ταμιευτήρα όγκου  $V_{\tau}=11881.54 \text{ m}^3$ , υπολογίζεται από την εξίσωση (10.14) ως:

$$E_A = \frac{\gamma \times V_{\tau} \times H_M}{\eta} = \frac{10055.25 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \times \text{m}^2}\right) \times 11881.54_{\text{m}^3} \times 168_{\text{m}} \times 2.667}{0.85 \times 10^7} \rightarrow$$

$$\rightarrow E_A = 6559.24_{\text{kWh}}$$

Όπου:

$\gamma$ : το ειδικό βάρος του θαλασσινού νερού

$$\rightarrow \gamma = \rho \times g = 1025 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times 9.81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 10055.25 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \times \text{m}^2}\right)$$

$H_M$ : το μανομετρικό υψόμετρο

$$\rightarrow H_M = H_e + \Delta H = 160_{\text{m}} + 0.05 \times 160_{\text{m}} = 168_{\text{m}}$$

$V_{\tau}$ : ο συνολικός όγκος ανύψωσης του ρευστού,  $V_{\tau}=11881.54 \text{ m}^3$

$\eta$ : ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος άντλησης,  $\eta=0.85$

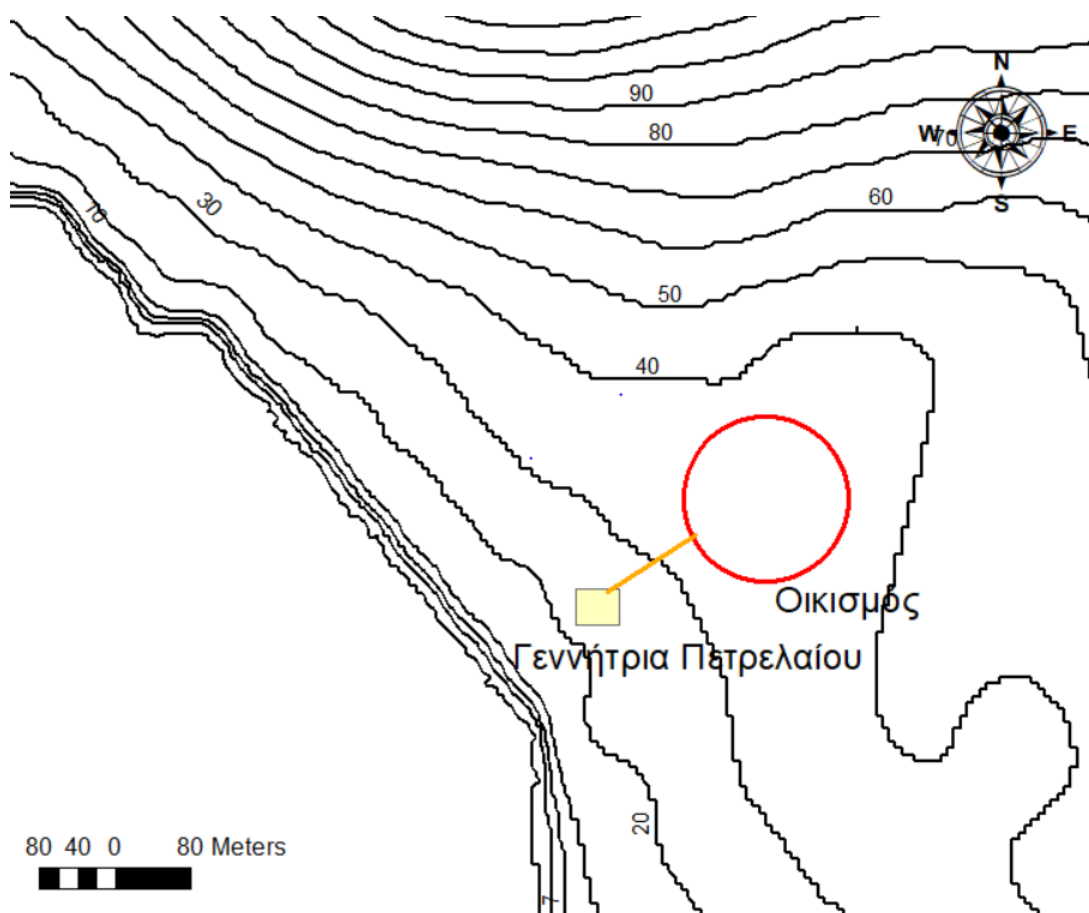
Εφόσον η συνολική άντληση θα επιτευχθεί σε διάστημα έξι ημερών η ημερήσια ζήτηση ενέργειας του αντλιοστασίου ανέρχεται στις:

$$E_{A,d} = \frac{6559.24_{\text{kWh}}}{6_d} = 1093.20 \left(\frac{\text{kWh}}{d}\right)$$

# 10 ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

## 10.1 Χωροθέτηση και διαστασιολόγηση συστήματος γεννήτριας πετρελαίου

Για λόγους ασφαλείας και έκτακτης ανάγκης προβλέπεται να υπάρχει σύστημα γεννήτριας πετρελαίου στον οικισμό σχεδιασμένο ώστε να μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές του ανάγκες για πέντε ημέρες 5 (d). Η χωροθέτηση του συστήματος θα πρέπει να είναι σχετικά κοντά στον οικισμό, εξαρτάται από το θόρυβο λειτουργίας του συστήματος και σε ιδικά διαμορφωμένο ηχητικά μονωμένο κτήριο. Επιπλέον το καύσιμο του πετρελαίου για την περίοδο των πέντε ημερών θα φυλάσσεται σε ειδικά διαμορφωμένη υπόγεια δεξαμενή ώστε η θερμοκρασία του να μην μεταβάλλεται εντόνως εσωτερικά στο κτήριο του συστήματος. Επιλέχθηκε το κτήριο να χωρομετρηθεί νοτιοδυτικά του οικισμού και σε υψόμετρο χαμηλότερο από αυτόν κατά 10 m, δηλαδή στο υψόμετρο των  $h=22$  m και σε απόσταση από τον οικισμό  $L=80$  m. Παρουσιάζεται η χωροθέτηση του κτηρίου συστήματος γεννήτριας πετρελαίου Σχήμα 86.



Σχήμα 86: Χωροθέτηση κτηρίου γεννήτριας πετρελαίου.

Η γεννήτρια θα πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκρίνεται στην αιχμή ζήτησης του οικισμού δηλαδή τα 60 KW. Επιπλέον η λειτουργία της όσον αφορά την παραγόμενη ισχύ θα είναι περίπου όμοια με εκείνη του υδροστρόβιλου Σχήμα . Στη συνέχεια με βάσει την αυτονομία της γεννήτριας υπολογίστηκε η ποσότητα του αποθηκευμένου πετρελαίου στην υπόγεια δεξαμενή.

Επιλέχθηκε η γεννήτρια πετρελαίου **PRAMAC Ιταλίας GSL 65 D 59,7 KVA** Σχήμα 87 στην τιμή των 17.866,00 € με τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Κινητήρα DEUTZ BF4M2011C Turbo
- ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗ ΤΡΙΦΑΣΙΚΗ
- 1500στροφές/λεπτό,50 HZ
- KVA 59,7
- ΙΣΧΥΣ: 73.5 HP
- ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ: 209 LT
- ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΣΤΟ 75% ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ: 19.5 ΩΡΕΣ
- Επίπεδο Θορύβου στα 7MT: 67 dB (A)
- Διαστάσεις (ΜxΠxΥ): 2285 x 920 x 1310 mm
- Βάρος: 1010 kg

[<https://www.e-shoptools.com>]



Σχήμα 87: Γεννήτρια πετρελαίου PRAMAC Ιταλίας GSL 65D 59,7 KVA.

[<https://www.e-shoptools.com>]

Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εν λόγω γεννήτριας παρατηρείται ότι με την δεξαμενή καυσίμου της χωρητικότητας  $V=209$  L έχει αυτονομία για  $t=19.50_h$  για λειτουργία στο 75% της μέγιστης ισχύς της  $N_{max}=59.70$  KW.

Οπότε η γεννήτρια για την λειτουργία της στα  $N_t=59.70 \times 75\%=44.70$  KW έχει αυτονομία  $t_a=19.50$  h. Η ενέργεια που παράγει η γεννήτρια στην αυτονομία της των  $V_{gen}=209$  L υπολογίζεται:

$$E_{γεν} = N_t \times t_a = 44.70_{Kw} \times 19.50_h = 871.65_{Kwh} > 761.59_{kwh} = E_d$$

Η αυτονομία λοιπόν της γεννήτριας υπερκαλύπτει την ημερήσια ζήτηση του οικισμού και υπάρχει και περίσσεια  $E_{\pi}=110.06$  KWH που αντιστοιχούν σε  $V_{\pi}=26.40$  L. Παρόλα αυτά η δεξαμενή της γεννήτριας και το αποθηκευμένο πετρέλαιο θα διαστασιολογηθεί αμελώντας αυτή τη περίσσεια.

Οπότε εφόσον η αυτονομία της γεννήτριας  $V_{γεν}=209$  L καλύπτει τον οικισμό για μία ημέρα για το διάστημα των πέντε ημερών η χωρητικότητα της υπόγειας δεξαμενής αποθήκευσης του πετρελαίου υπολογίζεται:

$$V_{petrol} = V_{γεν} \times n_t = 209_{lt} \times 5_d = 1,045_{m^3}$$

Όπου:

$n_t$ : το διάστημα των πέντε ημερών (d)

Η υπόγεια δεξαμενή αποθήκευσης του πετρελαίου θα έχει διαστάσεις  $1.5 \times 1 \times 1$  m και θα είναι γεμάτη στην αρχή λειτουργίας του οικισμού όπως και η γεννήτρια οπότε εξασφαλίζεται η ενεργειακή κάλυψη του οικισμού για έξι ημέρες.

# 11 ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΜΟΥ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται με χονδρικό τρόπο το κόστος κάθε επιμέρους τεχνολογίας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Στο κόστος που υπολογίζεται δε συνυπολογίζονται τα εργατικά.

## 11.1 Κόστος συστήματος συλλογή ομβρίων (RWH)

Το κόστος του συγκεκριμένου συστήματος συλλογή ομβρίων το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην εργασία δεν είναι μεγάλο, εφόσον χρησιμοποιούνται ήδη υπάρχουσες εγκατάστασης για τη συλλογή του βρόχινου νερού (στέγες, πεζόδρομοι, δρόμοι). Το κόστος του προέρχεται από το υδραυλικό δίκτυο μεταφοράς και αποθήκευσης του, το οποίο απαρτίζεται από σωληνώσεις PVC συνολικού μήκους (εξωτερικού υδραγωγείου)  $L_{tot}=700$  m διαμέτρου μίας ίντσας (1 ")  $\Phi 25$ , τέσσερις αντλίες και από πέντε δεξαμενές αποθήκευσης μια προσωρινής αποθήκευσης  $V_{TR,tank}=60$  m<sup>3</sup>, διαστάσεων 4x4x3.75 m και τέσσερις κεντρικής αποθήκευσης  $V_{SF,str,tank}=353$  m<sup>3</sup>, διαστάσεων 7x7x7.2 m έκαστη. Επιπλέον συνυπολογίζονται και μηχανολογικού τύπου κόστη όπως σίτες φίλτρα, φυσητήρες. Στον Πίνακα 24 παρουσιάζεται χονδρικός το κόστος υλοποίησης συλλογής ομβρίων.

Πίνακας 19: Κατασκευαστικό κοστολόγιο συλλογή ομβρίων οικισμού.

[ΕΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΣ-ΠΙΝΑΚΑΣ-ΤΙΜΩΝ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ-ΕΡΓΑΣΙΩΝ-Ο.Α.Κ.-Α.Ε 2019]

[<https://gr.trotec.com/>]

Παράμετρος	Σωληνώσεις	Προσωρινή Δεξαμενή	Κεντρική Δεξαμενή	Αντλίες	Μηχανολογικός Εξοπλισμός
Ποσότητα	700 m	30 m <sup>3</sup> (rn.concrete)	4 × 176.40 m <sup>3</sup> (rn.concrete)	4	4 Φυσητήρες Φίλτρα Σίτες
Κόστος Μονάδας	15 €/m	240 €/m <sup>3</sup>	240 €/m <sup>3</sup>	189.00 €	-
Κόστος	10.500 €	7.200 €	169.344 €	756 €	2500 €
Συνολικό Κόστος	21125.344 €				

## 11.2 Κόστος συστήματος αφαλάτωσης αντιστροφής ώσμωσης (RO)

Η μονάδα αντιστροφής ώσμωσης που εγκαταστάθηκε στην εγκατάσταση πρέπει να είναι σε θέση να παράγει όγκο πόσιμου νερού  $Q_y=765.20$  m<sup>3</sup> →  $Q_{dr,wr}=24.70$  (m<sup>3</sup>/d), από θαλασσινό νερό 37900 ppm. Επίσης τροφοδοτείται με ενέργεια από το φωτοβολταϊκό πάρκο. Εν συνεχεία παρουσιάζεται το κόστος

εγκατάστασης καθώς και λειτουργίας της μονάδας Πίνακας 25 και 26. Το κόστος εγκατάστασης χονδρικός υπολογίζεται στα 1000 €/ m<sup>3</sup>.

Πίνακας 20: Κόστος λειτουργίας μονάδας RO για υφάλμυρο και θαλασινό νερό.

[Desalination Technologies: Hellenic Experience Konstantinos Zotalis, Emmanuel G. Dialynas, Nikolaos Mamassis, Andreas N. Angelakis 2014].

Feedwater source	Energy source	Cost (€/m <sup>3</sup> )
Brackish water	Conventional energy	0.21–1.06
	Photovoltaic panels energy	4.50–10.32
	Geothermal energy	2.00
Seawater	Conventional energy	0.35–2.70
	Wind power	1.00–5.00
	Photovoltaic panels energy	3.14–9.00

Πίνακας 21: Κόστος συστήματος RO οικισμού.

	Εγκατάστασης	Λειτουργίας
<b>Στοιχεία Μονάδας RO</b>	24.70 (m <sup>3</sup> /d)	765.20 m <sup>3</sup> /year
<b>Κόστος Μονάδας</b>	1000 €/m <sup>3</sup>	4.00 €/m <sup>3</sup> year
<b>Κόστος</b>	30.000 €	3060.80 €/year

### 11.3 Κόστος τεχνητού υγροβιότοπος κατακόρυφης υποεπιφανειακής ροής (CW-VSSF)

Στον οικισμό κατασκευάστηκε υγροβιότοπος κατακόρυφης υποεπιφανειακής ροής διαστάσεων 12.50x6.5 m συνολικού εμβαδού A<sub>v,F</sub>=81.25 m<sup>2</sup>.

Με βάσει την βιβλιογραφία [UN-HABITAT, 2008] παρόμοιοι υγροβιότοποι έχουν κατασκευαστικό κόστος που λυμνίνεται από 40-85 US \$ /m<sup>2</sup>. Επιλέγοντας μέγιστη τιμή 85 US \$ /m<sup>2</sup> και καθώς η ισοτιμία σήμερα 1 US \$ ≈ 1 € υπολογίζεται το κόστος του Υγροβιότοπου Πίνακας 27.

Πίνακας 22: Κατασκευαστικό κόστος τεχνητού Υγροβιότοπος(CW-VSSF) οικισμού.

	Υγροβιότοπος(CW-VSSF)
<b>Κόστος</b>	10.000€

## 11.4 Κόστος φωτοβολταϊκού πάρκου

Το φωτοβολταϊκό πάρκο που κατασκευάστηκε στον οικισμό έχει έκταση φωτοβολταϊκών  $E_{\phi}=672 \text{ m}^2$  και εγκατεστημένη ισχύ  $P_{\phi,\Pi}=100 \text{ KW}$ .

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία([\[http://mycourses.ntua.gr\]](http://mycourses.ntua.gr)) το συνολικό κόστος κατασκευής ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ανέρχεται από 800-1000 €/KW. Λαμβάνοντας τη μέγιστη τιμή 1000 €/KW υπολογίζεται το κόστος του Φ.Π Πίνακας 28.

*Πίνακας 23: Κατασκευαστικό κόστος φωτοβολταϊκού πάρκου οικισμού.*

	Φωτοβολταϊκό Πάρκο
Κόστος	100.000 €

## 11.5 Κόστος συστήματος αντλησιοταμίευσης

Στον οικισμό κατασκευάστηκε σύστημα αντλησιοταμίευσης θαλασσινού νερού μέγιστης ισχύος στροβίλου Pelton 60 KW.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία([\[http://mycourses.ntua.gr\]](http://mycourses.ntua.gr)) το συνολικό κόστος κατασκευής ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης ανέρχεται χονδρικώς στα 1500 €/KW. Λαμβάνοντας τη τιμή αυτή υπολογίζεται το κόστος του συστήματος αντλησιοταμίευσης Πίνακας 29.

*Πίνακας 24: Κόστος συστήματος αντλησιοταμίευσης οικισμού.*

	Σύστημα Αντλησιοταμίευσης
Κόστος	90.000€

## 11.6 Μονάδα γεννήτρια πετρελαίου

Στον οικισμό προβλέφθηκε γεννήτρια πετρελαίου ώστε να ηλεκτροδοτήσει τον οικισμό σε περίπτωση ανάγκης. Η γεννήτρια που επιλέχθηκε είναι η **PRAMAC Ιταλίας GSL 65 D 59,7 KVA**. Παρουσιάζεται το κόστος αγοράς της σύμφωνα με τον προμηθευτή της Πίνακας 30.

*Πίνακας 25: Κόστος αγοράς γεννήτριας πετρελαίου PRAMAC Ιταλίας GSL 65 D 59,7 KVA.*

[\[https://www.e-shoptools.com/\]](https://www.e-shoptools.com/)

	Γεννήτρια Πετρελαίου
Κόστος	17.866,00 €

### 11.7 Συνολικό κόστος τεχνολογιών οικισμού

Στον Πίνακα 31 παρουσιάζεται συγκεντρωτικά το χονδρικό κόστος των τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν στον οικισμό και το συνολικό κόστος που καταλαμβάνουν στον οικισμό.

Πίνακας 26: Συγκεντρωτικός πίνακας κατασκευαστικού κόστους τεχνολογιών εγκατάστασης οικισμού.

	Συλλογή ομβρίων RWH	Αφαλάτωση RO	Υγροβιότοπος (CW-VSSF)	Φ.Π	Σύστημα Αντλησιοταμίευσης	Γεννήτρια Πετρελαίου
<b>Κόστος</b>	21.125,344 €	30.000 €	10.000 €	100.000 €	90.000€	17.866,00€
<b>Συνολικό Κόστος</b>	251.123,210 €					

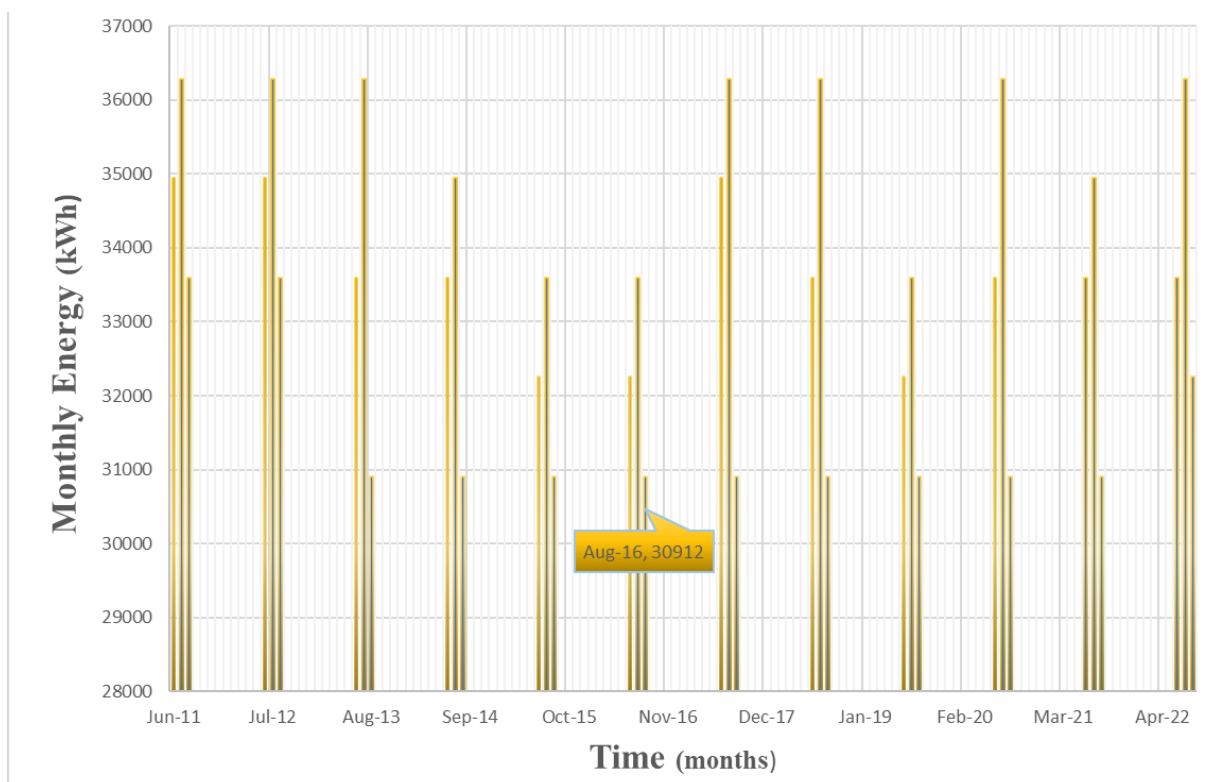


## 12 ΣΥΝΟΨΗ

### 12.1 Ενεργειακό ισοζύγιο οικισμού

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστεί αναλυτικότερα το συνολικό μηνιαίο ενεργειακό ισοζύγιο παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας κατά την λειτουργία του στον οικισμό (θερινή περίοδο). Η ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό πάρκο καταναλώνεται στις διάφορες ζήτησης του οικισμού μόνιμες και μεταβλητές επίσης ενέργεια καταναλώνεται και στο προς άντληση θαλασσινό νερό για την λειτουργία του συστήματος αντλησιοταμίευσης που εξυπηρετεί τις ανάγκες του οικισμού τη νύχτα. Τέλος με την περίσσια ενέργειας των παραπάνω θα φορτίζονται τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με τρόπο που θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Το ισοζύγιο έγινε με βάσει το δυσμενέστερο σενάριο, δηλαδή με βάσει τον λιγότερο ηλιόλουστο μήνα του καλοκαιριού όπου το φωτοβολταϊκό πάρκο είναι και λιγότερο αποδοτικό. Στην ανάλυση που έγινε με μηνιαία δεδομένα ηλιοφάνειας από το 2011-2022. Παρουσιάζεται γράφημα Σχήμα 88 όπου αναπαρίσταται αναλυτικότερα η παραγόμενη ενέργεια του φωτοβολταϊκού πάρκου ανά τους μήνες του καλοκαιριού.



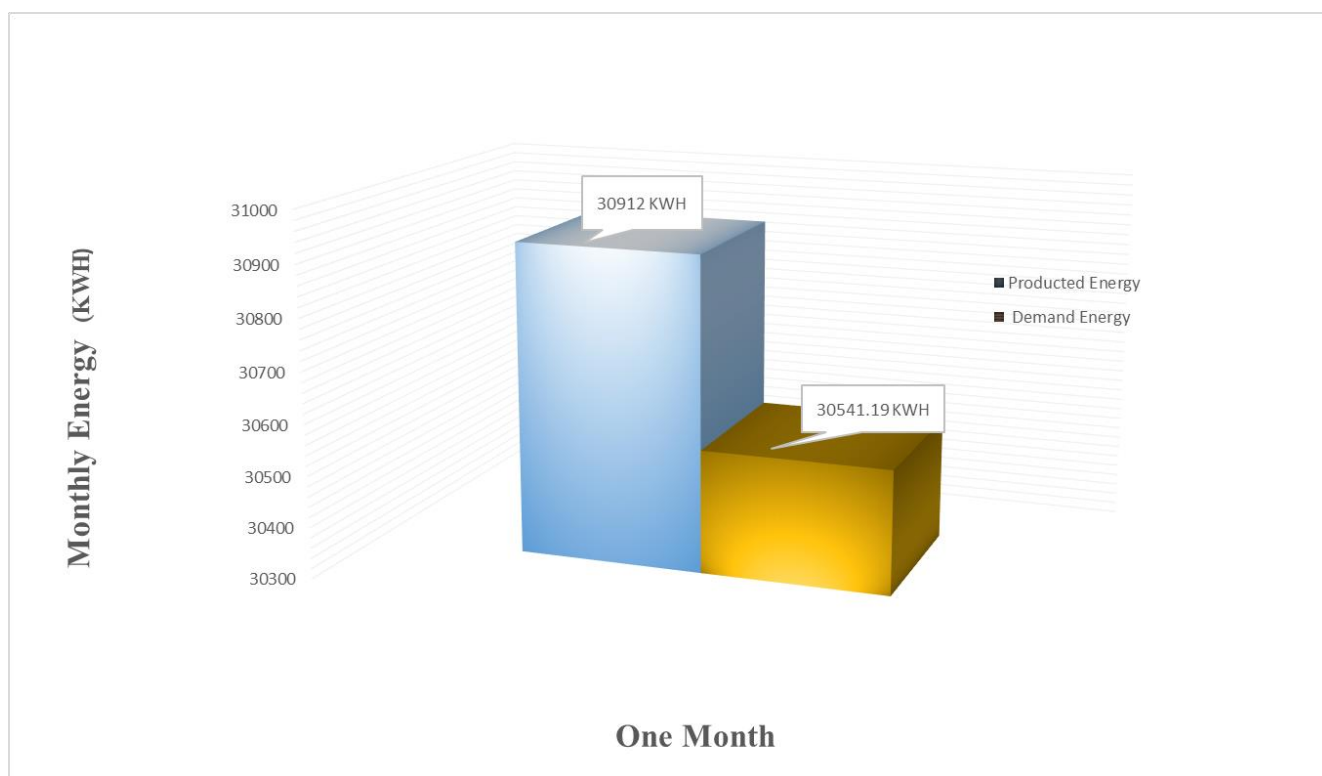
Σχήμα 88: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας του φωτοβολταϊκού πάρκου για τους θερινούς μήνες 2011-2022.

Παρατηρείται η χαμηλότερη μηνιαία τιμή παραγόμενης ενέργειας  $E_m=30912$  KWh.

Εν συνεχεία υπολογίζεται η ζήτηση ενέργειας της αντλιοσταμείωσης που αναφέρεται στην αντλητική εγκατάσταση. Η μηνιαία ζήτηση υπολογίζεται για το σενάριο όπου ο ταμιευτήρας πρέπει να ανταπεξέλθει σε τροφοδότηση της εγκατάστασης με ηλεκτρικό ρεύμα πενθήμερης διάρκειας λόγω συννεφιάς ή λόγω άλλων εκτάκτων αναγκών. Το ποσό της πενθήμερης ζήτησης ενέργειας έχει υπολογιστεί από την εξίσωση (10.9) και είναι  $E_A=6559.24$  KWh. Επιπλέον η μηνιαία ζήτηση του οικισμού έχει υπολογιστεί  $E_{Oικ}=23891.95$  kWh.

Πίνακας 27: Συνοπτικός πίνακας παραγόμενης και καταναλισκόμενης μηνιαίας ενέργειας στον οικισμό.

	Παραγωγή Φωτοβολταικά	Ζήτηση Αντλιοσταμείωσης	Ζήτηση Οικισμού	Συνολικά
<b>Ενέργεια (kWh) (Παραγωγής/Ζήτησης)</b>	30912	6559.24	23981.95	370.81



Σχήμα 89: : Ιστόγραμμα παραγόμενης και καταναλισκόμενης μηνιαίας ενέργειας στον οικισμό.

Επόμενος όπως προκύπτει από τον Πίνακα 32 και το Σχήμα 89 η προς εκμετάλλευση περίσσεια ενέργεια των 370.81 kWh μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την φόρτιση των ηλεκτρικών αυτοκινήτων μηνιαία. Το ενδεικτικό μοντέλο ηλεκτρικού αυτοκινήτου που επιλέχθηκε **ZHIDOU D2S** έχει

χωρητικότητα μπαταρίας 7.6 KW. Για εικοσιτέσσερα ηλεκτρικά αυτοκίνητα με συχνότητα φόρτισης δυο φορές το μήνα η ενέργεια ζήτησης τους ανέρχεται:

$$E_{car} = 7.6kWh \times f \times n_{car} = 7.6kWh \times 2 \times 24 = 364.80kWh.$$

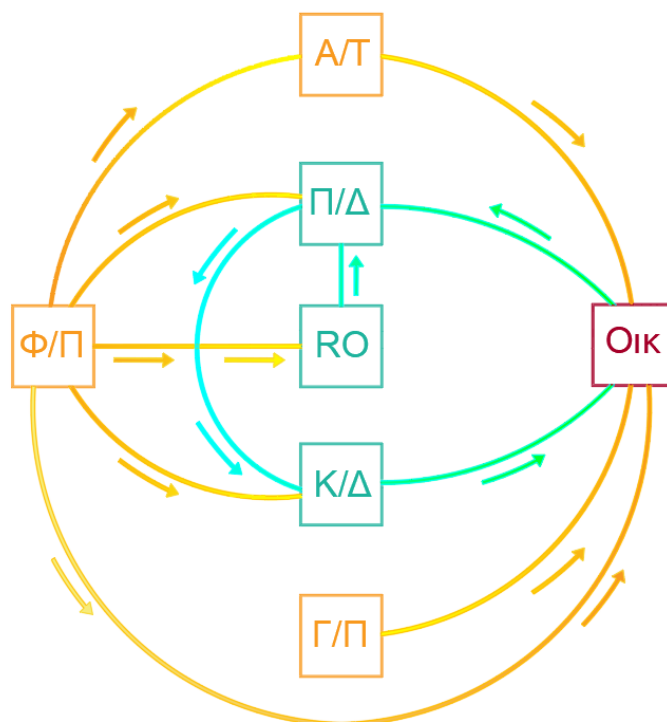
Όπου:

$n_{car}$ : ο αριθμός των ηλεκτρικών αυτοκινήτων,  $n_{car}=24$

$f$ : η συχνότητα φόρτισης τους το μήνα,  $f=2$

Η συχνότητα φόρτισης (δύο φορές το μήνα) μπορεί να φαίνεται μικρή αλλά δεν είναι, εφόσον το αυτοκίνητο έχει αυτονομία 150 km και το εν λόγω νησί έχει σχετικά μικρή έκταση. Παρόλα αυτά αν χρειαστεί να φορτιστούν περισσότερες φορές υπάρχει ενέργεια από το σύστημα αντλησιοταμίευσης το οποίο δεν συμπεριλήφθηκε στο ισοζύγιο λόγω περιπτώσεως εκτάκτου ανάγκης των ενδεχόμενων πέντε ημερών μη ηλιοφάνειας κάθε μήνα, το σενάριο αυτό είναι διαστασιολογημένο αρκετά υπέρ της ασφαλείας. Τέλος το ισοζύγιο έγινε για τον λιγότερο αποδοτικό μήνα επομένως τους υπόλοιπους η περίσσια ενέργειας μπορεί να αξιοποιηθεί για ενδεχόμενες επιπλέον φορτίσεις.

Εν συνεχεία παρουσιάζεται διάγραμμα ροής της ενέργειας καθώς και του νερού εσωτερικώς της εγκατάστασης Σχήμα 90. Επιπλέον παρατίθεται συνολικά η χωροθέτηση του μίγματος τεχνολογιών που αξιοποιήθηκαν Σχήμα 91.



Σχήμα 90: Διάγραμμα ροής ενέργειας και νερού στην εγκατάσταση.

Όπου:

Οικ: ο οικισμός

Α/Τ: το σύστημα αντλησιοταμίευσης

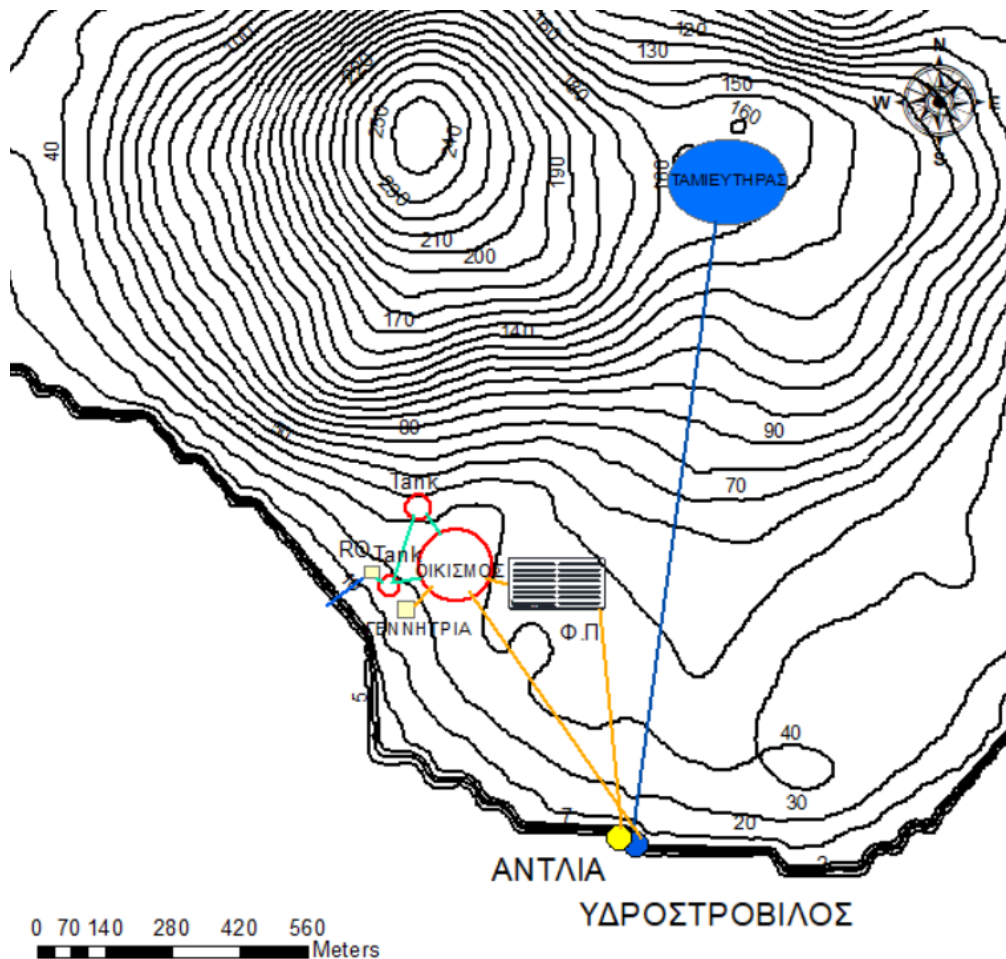
Φ/Π: το φωτοβολταϊκό πάρκο

Γ/Π: η γεννήτρια πετρελαίου

Κ/Δ: οι κεντρικές δεξαμενές

ΠΔ/: η δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης

RO: η εγκατάσταση αφαλάτωσης (RO)



Σχήμα 91: Χωροθέτηση συνολικά του μίγματος τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν.

## 12.2 Συμπεράσματα – Προτάσεις

### 12.2.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός ενός ενεργειακά αυτόνομου οικισμού σε ένα μη διασυνδεδεμένο και ακατοίκητο νησί τα Αρμάθια Η. Ν. Κάσου. Στο πλαίσιο αυτής

διενεργήθηκε διαστασιολόγηση των επί μέρους μονάδων όπου συντελούν στον αποτελεσματικό σχεδιασμό της εγκατάστασης και στην επίτευξη του στόχου της εργασίας.

Διαστασιολογήθηκε ένα σύστημα περισυλλογής όμβριων υδάτων από στέγες, πεζόδρομους και δρόμους, συνολικού εμβαδού επιφάνειας συλλογής  $A=5250 \text{ m}^2$ , οι κεντρικές δεξαμενές αποθήκευσης έχουν συνολικό όγκο αποθήκευσης  $V_{\text{tank}}=1270 \text{ m}^3$ , επίσης υπολογίστηκε και ο συνολικός όγκος υπερχείλισης  $\Sigma R_i=220.10 \text{ m}^3$ .

Για την αποτελεσματικότητα του μοντέλου υπολογίστηκαν οι δείκτες αξιοπιστίας:

- το ποσοστό των ημερών που δεν ικανοποιήθηκε η ζήτηση νερού,  $(P_1 = 0_d)$
- ο μέσος ετήσιος όγκος του νερού της βροχής που δεν αξιοποιήθηκε (υπερχείλιση),  $(P_2 = 220.10_{\text{m}^3})$
- το μέσο ετήσιο έλλειμμα νερού που ικανοποιεί πλήρως την απαιτούμενη ζήτηση (έλλειμμα),  $(P_3 = )$
- αριθμός διαδοχικών ημερών με έλλειμμα νερού,  $(P_4 = 0_d)$

Από τους δείκτες αξιοπιστίας συμπεραίνεται η ότι το μοντέλο με τη διαστασιολόγηση που επιλέχθηκε δεν αστοχεί. Παρόλα αυτά επειδή πάντοτε υπάρχει μια πολυπαραγοντική αβεβαιότητα που σχετίζεται με το κλίμα, τα καιρικά φαινόμενα και την σχετική απόκλιση της προσομοίωσης από την πραγματικότητα, αποφασίστηκε και η διαστασιολόγηση ενός συστήματος αφαλάτωσης.

Για την μόνιμη αποθήκευση του το συλλεγόμενο νερό αποθηκεύεται περιστασιακά σε προσωρινή δεξαμενή αποθήκευσης η οποία διαστασιολογήθηκε ώστε η υπερχείλιση της να μην υπερβαίνει την διαφορά του αθροίσματος των καθαρών εισροών βροχόπτωσης στη ξεραμένη και της αθροιστικής ζήτησης της στη μοντελοποίηση των έντεκα χρόνων είναι:  $\Sigma I_i - \Sigma O_i = 440.30 \text{ m}$  ο όγκος της προέκυψε  $V_{\text{TR,tank}}=60 \text{ m}^3$ . Επιπλέον έγινε περιγραφή της συντήρησης και η επεξεργασία του όμβριου νερού που είναι απαραίτητη ώστε εκείνο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους κατοίκους. Η μονάδα αφαλάτωσης που σχεδιάστηκε επιλέχθηκε να είναι της τεχνολογίας αντίστροφης όσμωσης και διαστασιολογήθηκε ώστε να μπορεί να καλύψει σε περίπτωση ανάγκης την συνολική ζήτηση του οικισμού το χρόνο λειτουργίας του, Αποφασίστηκε ο χρόνος λειτουργίας της στον ένα μήνα και συγκεκριμένα το Μάιο 31 (d) και η παροχή παραγόμενου νερού της τη μέρα  $Q_{\text{dr,wr}}=2.55 \text{ (m}^3/\text{d)}$ .

Σχετικά με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του οικισμού αποφασίστηκε η επεξεργασία υγρών και στερεών αποβλήτων. Για την επεξεργασία των λυμάτων αποφασίστηκε η διαστασιολόγηση ενός συστήματος τεχνητού Υγροβιότοπου κατακόρυφης υπό-επιφανειακής ροής. Η προεπεξεργασία επιτυγχάνεται με μια δεξαμενή καθίζησης χωρητικότητας  $V_w=1200 \text{ L}$ , έπειτα με κριτήριο την αποτελεσματική διαχείριση των λυμάτων προέκυψε η έκταση του T.Y,  $A_{\text{V,F}}=81.25 \text{ m}^2$ . Συμπερασματικά παρατηρούμαι την αξιοπιστία του σχεδιασμού από τα παρακάτω κριτήρια που υπολογίστηκαν:

- ο υδραυλικός χρόνος παραμονής

$$HRT = 5.1_d > 5_d$$

- ο ρυθμός υδραυλικής φόρτισης

$$HLR = 0.14 \left( \frac{m^3}{d \times m^2} \right) \in (0.2 - 0.05) \left( \frac{m^3}{d \times m^2} \right)$$

- ο αποφυγή έμφραξης

$$k_s \times S = 4 < 8.6$$

Απαραίτητη καθίσταται και η διαχείριση των στερεών αποβλήτων για τον λόγο αυτό προβλέφθηκε η περισυλλογή τους σε κάδους ανακύκλωσης, αποθήκευση τους με απώτερο σκοπό τη μεταφορά των τους στα εργοστάσια επεξεργασίας. Για την επεξεργασία βιοσπασίμων απορριμμάτων επιλέχτηκε η μέθοδος της κομποστοποίησης ανοιχτού συστήματος όπου εφαρμόζεται μετά τη συλλογή και αποθήκευση τους σε περιοχή εγχώρια του νησιού.

Η ηλεκτροδότηση του οικισμού επιτευχθεί με την διαστασιολόγηση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Για τη διαστασιολόγηση πάρθηκαν μηνιαία δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας, συμπεραίνεται πως η ακρίβεια του μοντέλου δεν είναι ικανοποιητική καθώς θα έπρεπε στην ανάλυση να χρησιμοποιηθούν ωριαία δεδομένα παρόλα αυτά τα αποτελέσματα είναι ορθά. Το φωτοβολταϊκό πάρκο σχεδιάστηκε για εγκατεστημένη ισχύ  $P_{\Phi, \Pi} = 100 \text{ KW}$  με συνολική έκταση  $E_{op} = 1512 \text{ m}^2$  και σχηματισμό 25 κλάδων. Η μηνιαία ενέργεια που παράγεται το λιγότερο αποδοτικό μήνα της λειτουργίας του οικισμού υπερκαλύπτει όλες τις επιμέρους ζήτησης του καθώς και των υπόλοιπων λειτουργιών που των απαρτίζουν.

Κυρίως για την ηλεκτροδότηση του οικισμού της ώρες όπου το φωτοβολταϊκό πάρκο αδυνατεί να παράγει ενέργεια (νύχτα) αλλά και για πενήμερη διαδοχική συννεφιά στον οικισμό διαστασιολογήθηκε σύστημα αντλησιοταμίευσης θαλασσινού νερού. Το σύστημα λαμβάνει ενέργεια για το προς άντληση νερό από την περίσσεια του Φ.Π. Σχεδιάστηκε ταμιευτήρας χωροθετημένος στο υψόμετρο των 160 m με συνολική χωρητικότητα  $V_r = 12000 \text{ m}^3$ . Ο υδροστρόβιλος που επιλέχθηκε είναι τύπου Pelton 60 KW. Το αντλητικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από δυο και μια εφεδρική γραμμές των δύο συνδεδεμένων σε σειρά για την επίτευξη του μανομετρικού  $H_M = 160 \text{ m}$  παροχής  $Q_A = 125 \text{ (m}^3/\text{h)}$  έκαστη.

Επιπλέον προβλέφθηκε μονάδα γεννήτρια πετρελαίου 59.7 KVA σε περίπτωση επιπλέον ανάγκης όπου θα μπορεί να παρέχει ρεύμα στον οικισμό για πέντε διαδοχικές ημέρες 5 (d).

Τέλος παρουσιάζεται χονδρικός το κόστος κάθε μονάδας που χρησιμοποιήθηκε. Το κατασκευαστικό κόστος της συλλογή ομβρίων είναι σχετικά μικρότερο σε σχέση τα υπόλοιπα των τεχνολογιών, ενώ παρατηρείται πως για πέντε χρόνια λειτουργίας της συλλογή ομβρίων γίνεται απόσβεση συγκρίνοντας το με το σύστημα αφαλάτωσης.

## 12.2.2 Προτάσεις

Το συγκεκριμένο ενεργειακό μίγμα τεχνολογιών δεν είναι το μόνο μίγμα που μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά, αυτό εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και το κλίμα της εκάστοτε περιοχής μελέτης. Προτείνονται εν συνεχεία κάποιες επιπλέον τεχνολογίες και μέθοδοι οι οποίες θα μπορούσαν να συμβάλουν σε παρόμοια ενεργειακά μίγματα.

- Νερό

Η παραγωγή πόσιμου νερού από ειδικά διαμορφωμένους πύργους περισυλλογής του ατμοσφαιρικού νερού και κατάλληλης του επεξεργασίας μετέπεται.

- Ενέργεια βιομάζας

Κατά την επεξεργασία των λυμάτων όπως και της κομποστοποίησης με αναερόβια χώνευση και με τον ελεγχόμενο ενταφιασμό αντίστοιχα μπορούν να παραχθούν σημαντικές ποσότητες ενέργειας αερίου μεθανίου. Στον συγκεκριμένο οικισμό λόγω της μικρής κλίμακας του αυτό θα ήταν ασύμφορο αλλά σε μεγαλύτερης κλίμακας θα είχε αποτέλεσμα.

- Γεωθερμική ενεργεια

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας σε παρόμοια ενεργειακά μίγματα είναι μια ακόμη τεχνολογία (ΑΠΕ) με πολλά πλεονεκτήματα. Η ενσωμάτωση στις κατοικίες αντλιών υπεδάφους και σε συνδυασμό με το σύστημα συλλογή ομβρίων αποτελεί μια πολύ καλή λύση για την θέρμανση νερού καθώς και τη θέρμανση ή ψύξη χώρων.

- Υδρογόνο

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η τεχνολογία κινητήρων υδρογόνου για την παραγωγή ενέργειας. Με την ενσωμάτωση τους σε εγκατάσταση επεξεργασίας αποβλήτων όπου θα υποστηρίζει την παραγωγή υδρογόνου από τα λύματα ή βιομάζα με συμφέρουσες μεθόδους. Η παραγωγή πράσινου υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (περισυλλογή νερού της ατμόσφαιρας από πύργους ειδικά διαμορφωμένους και ηλεκτρόλυση του με φωτοβολταϊκά πάνελ).

- Η θαλάσσια ενέργεια

Η ενέργεια που κρύβει η θάλασσα δεν έχει αξιοποιηθεί σε ικανοποιητικό ποσοστό από τον άνθρωπο, με την ανάπτυξη νέων μεθόδων και περισσότερο αποδοτικών τεχνολογιών θα μπορούσε να αξιοποιηθεί η ενέργεια αυτή και να συμβάλει ως (ΑΠΕ) σε ενεργειακά μίγματα οικισμών.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

## Ελληνική Βιβλιογραφία

(ΥΠΕΚΑ) (2012), *Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής Κείμενο κατευθυντήριων γραμμών για τη Διαχείριση Λυμάτων Μικρών Οικισμών, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Αθήνα, [www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)*

Γραβάλου Λαμπρινή, *Γεωγραφική κατανομή κλιματικών φαινομένων στον ελλαδικό χώρο για την χρονική περίοδο 1980-1996: πτυχιακή εργασία / <http://hdl.handle.net/11610/6195>*

Δ. Ε. Παπαντώνης Αθήνα 2002. *Υδροδυναμικές Μηχανές, Αντλίες- Υδροστρόβιλοι,, Εκδόσεις Συμεών.*

Δημήτριος Παπαντώνης 2009, “*Υδροδυναμικές Μηχανές – Αντλίες – Υδροστρόβιλοι*”). *Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα, Δ. Ε. Παπαντώνης, Εκδόσεις Συμεών.*

ΕΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟΣ-ΠΙΝΑΚΑΣ-ΤΙΜΩΝ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ-ΕΡΓΑΣΙΩΝ-Ο.Α.Κ.-Α.Ε  
2019

Εταιρεία ΡΟΪΚΟΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΑΕ 2007-2013. *Τεχνική Υποστήριξη της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων για τον Προσδιορισμό Κατάλληλων Συστημάτων και την Ανάπτυξη Κριτηρίων Επιλογής για την Επεξεργασία Λυμάτων Οικισμών Δ Προτεραιότητας*

Ευθύμιος Φλέγκας 2020, *Αξιολόγηση Αποκεντρωμένων Συστημάτων Επεξεργασίας Λυμάτων Χαμηλού Ενεργειακού Αποτυπώματος.*

Ι.Κ. Καλδέλης, Κ.Α. Καββαδίας, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 2005. *Υπολογιστικές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας,*

ΚΑΠΝΙΣΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ 2017. *Πτυχιακή εργασία Μελέτη μονάδας Αφαλάτωσης με Αντιστροφή Ώσμωση και χρήση Αιολικής Ενέργειας στην Άνδρο*

Κάραλης Γ., *Διδακτορική Διατριβή «Ανάπτυξη και Ανάλυση Συστημάτων Ανεμοκινητήρων και Αντλιοσταμειωτήρων», 2007*

Καραφυλλάκης Ηλίας 2018. *ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ «Διαστασιολόγηση και έλεγχος συστήματος αφαλάτωσης τροφοδοτούμενου από ανεμογεννήτρια».*

Καρβούνης Σ. (1991), *Διαχείριση του Περιβάλλοντος, Πειραιάς: Α. Σταμούλη*

Κουτελιδάκης, Κ. (2010). *Εφαρμογή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε Στρατόπεδο, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Ρευστών, Αθήνα*

Κτενίδης, Γ. (2008). *Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας των 100kW, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.*



Λουκάς Χ. 2008, «Συν-Κομποστοποίηση Λυματολάσπης Βιολογικού Καθαρισμού Για Κλαδοκαθάρων Για Την Πόλη Της Ηγουμενίτσας», Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Πρόγραμμα Σπουδών «Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Έργων Υποδομής», Πάτρα

ΜΑΡΙΑΝΘΗΣ Δ. ΤΑΛΛΑΡΟΥ 2015. Τεχνικές και Τεχνολογίες Συλλογής και Επαναχρησιμοποίησης Βρόχινου Νερού ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Μπινώλη, Μ. (2010). Προσομοίωση λειτουργίας φωτοβολταϊκού πλαισίου και έλεγχος απόδοσης του, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης.

N Παρασκευή - 1999, Διαμόρφωση παραθαλάσσιας περιοχής στο αλμυράκι Μεσολογγίου. - repository.library.teimes.gr

Οργάνωσης της Διαχείρισης Αναπτυξιακών Προγραμμάτων (ΜΟΔ) α.ε., επισημαίνοντας «για το εγχειρίδιο “ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΟΔΑ ΕΡΓΑ”»

Παναγιωτακόπουλος Δ. (2002), Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων, Θεσ/νίκη: Ζυγός

Παπαδάκης, Χ. (2010). Ανάλυση Αγοράς Φωτοβολταϊκών Συστημάτων: Διεθνείς Τάσεις και Ελληνικές Προοπτικές, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Τμήμα Ηλεκτρονικής, Κρήτη.

Παπανικολάου, Π., Κουτσογιάννης, Δ., και Στάμου, Α., Οδηγίες για την παρουσίαση πανεπιστημιακών εργασιών στον τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2012.

ΠΑΣΙΣΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ 2011. ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ «Αφαλάτωση Νερού με Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας »

Πέρδιος, Στ. (2011). Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, Τεχνική Εκδοτική, Αθήνα.

Σουρμελή Π., (2006), “Αστικά στερεά απόβλητα στην πόλη της Λεμεσού”,

Σπύρου Ι. 2009, Διπλωματική Εργασία «Ανάπτυξη Αλγορίθμου για Προσομοίωση και Βέλτιστο Σχεδιασμό Αυτόνομου Συστήματος Αφαλάτωσης Τροφοδοτούμενο από Υβριδικό Σύστημα Α.Π.Ε. με Αντλησιοταμίευση»,

Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, (2008). Ένας Πρακτικός Οδηγός για τα Φωτοβολταϊκά.

ΤΕΕ 2011 Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Απρίλιος

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας. (2011). Τεχνικό Εγχειρίδιο για τη μελέτη και την υλοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων

ΤΖΟΥΦΡΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ, 1999. Πτυχιακή Εργασία, Διαμόρφωση παραθαλάσσιας περιοχής στο Αλμυράκι Μεσολογγίου.

Τσαρτσάλη Ελένης 2013, Μελέτη της Ζήτησης Ηλεκτρικής Ενέργειας ενός Οικιακού Καταναλωτή [ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ]

Φυτιάνος Κωνσταντίνος Κ. 2009, Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κωνσταντίνη: Χημεία Περιβάλλοντος, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη. [ISBN 978-960-121-808-3](https://doi.org/10.1017/9789601218083)

Χαζιρακης Π.Ι., (2007), “ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΣΤΗΝ ΣΥΝ- ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΙΥΟΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ”

### Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

A. Yasin YİĞİT, Osman ORHAN, Ali ULVİ– 2020.*Mersin Photogrammetry Journal. Investigation of The Rainwater Harvesting Potential at the Mersin University, Turkey*

Al-Batsh, N. 2019; Al-Khatib, I.A.; Ghannam, S.; Anayah, F.; Jodeh, S.; Hanbali, G.; Khalaf, B.; Van der Valk, M. *Assessment of Rainwater Harvesting Systems in Poor Rural Communities: A Case Study from Yatta Area, Palestine. Water, 11, 585.*

Al-Khatib, I.A.; Arafah, G.A.; Al-Qutob, M.; Jodeh, S.; Hasan, A.R.; Jodeh, D.; van der Valk, M. *Health Risk Associated with Some Trace and Some Heavy Metals Content of Harvested Rainwater in Yatta Area, Palestine. Water 2019, 11, 238.*

Alparslan, N., Tanık, A. ve Dölgen, D. 2008. *Türkiye’de Su Yönetimi-Sorunlar ve Öneriler, TÜSİAD Yayın No: T/2008-09/469.*

Angelakis, A. N. and Spyridakis, S. V. (1996). *The status of water resources in Minoan times: A preliminary study, In: A. N. Angelakis, A.S. Issar (Eds.), Diachronic Climatic Impacts on Water Resources with Emphasis on Mediterranean Region, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp. 161-191 (Ch. 8).*

Australian Government Department Of Health and Ageing (2004),*Guidance on Use of Rainwater Tanks*

B Helmreich, H Horn - *Desalination, 2009 – Elsevier. Opportunities in rainwater harvesting.* Baolong Ma, Xiaofei Li, Zhongjun Jiang, Jiefan Jiang, (2019) *Recycle more, waste more? When recycling efforts increase resource consumption, Journal of Cleaner Production, Volume 206, 2019, Pages 870-877, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.063>.*

Bruins, H.J., Evenari, M. & Nessler, U. (1986). *Rainwater-harvesting agriculture for food production in arid zones: the challenge of the African famine. Applied Geography, 6: 13–32*

*Council directive. Drinking Water Directive on the quality of water intended for human consumption. 98/83/EC. Off. J. Eur. Commun. 1998, 330, 32–54.*

Crites, R. & Tchobanoglous, G., 1998. *Small and decentralized wastewater management systems.* s.l.:The McGraw-Hill Companies.

DGTZ (2010) *Technology Review | Constructed wetlands Overview of subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment in developing countries, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH, Sustainable sanitation - ecosan program*

*Eco-engineering Systems for Wastewater and Sludge Treatment.* Elsevier.

George Tchobanoglous 2012. *Municipal Solid Waste and the Environment: A Global Perspective*

- Kadlec, R. & Knight, R.L., (1996). *Treatment Wetlands*.
- Kadlec, R.H. & Wallace, S.D. (2009). *Treatment Wetlands*. Second Edition, CRC Press.
- Kadlec, Robert and Robert Knight. (1996). *Treatment Wetlands*. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc
- Kayser, K. & Kunst, S. (2005). *Processes in vertical-flow reed beds—nitrification, oxygen transfer and soil clogging*. *Water Science and Technology* 51.
- Kılıç M Y & Abuş M N (2018). *Bahçeli Bir Konut Örneğinde Yağmur Suyu Hasadı. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 4(2), 209-215.
- Kılıç S (2008). *Küresel İklim Değişikliği Sürecinde Su Yönetimi. İ.Ü. Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 39, 161-186
- LaBranche, Wack, Sojka, Crawford, Crawford, DVM and Cabell Brand. (2007). *Virginia Rainwater Harvesting Manual*, Salem VA,
- Lee, J.Y.; Yang, J.S.; Han, M.; Choi, J. *Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources. Sci. Total Environ.* 2010, 408, 896–905.
- Machum, T., Jensen, P. & Warner, W., 1995. *Cold-climate constructed wetlands. Water Science technology, Issue 32(2), pp. 95-102.*
- Morales-Pinzón, T.; Lurueña, R.; Gabarrell, X.; Gasol, C.M.; Rieradevall, J. *Financial and environmental modelling of water hardness—Implications for utilising harvested rainwater in washing machines. Sci. Total Environ.* **2014**, 470–471, 1257–1271.
- Nikolaos Mamassis, Andreas N. Angelakis 2014. *Desalination Technologies: Hellenic Experience Konstantinos Zotalis, Emmanuel G. Dialynas,*
- ÖNORM. (2009). *ÖNORM B 2505: Bepflanzte Bodenfilter (Pflanzenkläranlagen) - Anwendung, Bemessung, Bau und Betrieb (Subsurface flow constructed wetlands -Application, dimensioning, installation, and operation)*. Österreichisches Normungsinstitut
- Pushard, D (2007). *Rainwater harvesting: comparing storage solutions*.
- R.K.Gupta, R.K.Agrawal 2015. *Rainwater harvesting in Ancient Times and its Sustainable Modern techniques Dr. (RK Gupta, RK Agrawal - ICID, 2015 - icid2015.sciencesconf.org)*
- Reed, S.C., Middlebrooks, E.J. & Crites, R.W. (1987). *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. McGraw-Hill Book Co.
- Saeed T., Sun G.(2012) *A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media, Journal of Environmental Management* 112, 429-448
- Sanchez, A.S.; Cohim, E.; Kalid, R.A 2015. *A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested rainwater in urban areas. Sustain. Water Qual. Ecol.* 6, 119–137.
- Stefanakis A., Akrotos C.S. & Tsihrintzis V.A. (2014) *Vertical Flow Constructed Wetlands:*

Tanık A (2017). *Yağmur Suyu Toplama, Biriktirme ve Geri Kullanımı (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü).*

Texas Water Development Board (2005), *The Texas manual on rainwater harvesting, Third edition. Texas Water Development Board.*

The Quality of Stored Rainwater for Washing Purposes 2019, Joanna Struk-Sokołowska, Joanna Gwoździej-Mazur, Piotr Jadwiszczak, Andrzej Butarewicz, Piotr Ofman, Marcin Wdowikowski and Bartosz Kazmierczak

Tilley E., Ulrich L., Lóthi C., Reymond Ph., Schertenleib R. and Zurbrögg, C., (2014) *Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd Revised Edition. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dóbendorf, Switzerland. ISBN: 978-3-906484-57-0*

UN-HABITAT, 2008. *Constructed Wetlands Manual. UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal, Kathmandu.*

US EPA 1994 b (Environmental Protection Agency) *Innovative uses of compost. Erosion Control, Turf Remediation and Landscaping, EPA530-F-97- 043*

Victorian Department of Natural Resources and Environment (1997), *Investigation of microbiological and chemical quality in rainwater tanks in Victoria, report.*

WHO, 2006. *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Geneva, Switzerland*

World Health Organization. *Regulation on the Quality of Water Intended for Human Consumption, Regulation of the Polish Minister of Health; Panthera Design: Tappernøje, Denmark, 2017; 2017/2294. (In Polish)*

Wu H., Zhang J., Ngo H., Guo W., Hu Z., Liang S., Fan J, Liu H. (2015). *A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation, Bioresource Technology 175 594–601*

## **ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

<http://physiclessons.blogspot.com/>

<http://sydneywater.com.au/SavingWater/InYourGarden/RainwaterTanks/index.cfm>

<http://www.rainwaterharvesting.co.uk/>

<http://www.watercache.com/education/rainwater/>

<https://anytools.gr/antlies-epifaneias>

<https://e-geografia.eduportal.gr/to-klima-tis-elladas/>

<https://el.wikipedia.org/wiki/>

<https://el.wikipedia.org/wiki>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Pore\\_space\\_in\\_soil](https://en.wikipedia.org/wiki/Pore_space_in_soil)

<https://gr.trotec.com/shop/fisitires-thermansis-elaiou-ide>

<https://meteosearch.meteo.gr/>

<https://mycourses.ntua.gr/> Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία

<https://mycourses.ntua.gr/> Αποκεντρωμένη Διαχείριση Λυμάτων & Συστήματα Επεξεργασίας Μικρής Κλίμακας

<https://okreformapiscina.net>

<https://www.buildeco.gr>

[https://www.ftiaxno.gr/2010/11/blog-post\\_29.html](https://www.ftiaxno.gr/2010/11/blog-post_29.html)

<https://www.geogreece.gr/rain.php>

<https://www.mdpi.com/2073-4441/12/10/2777/htm>

<https://www.meteorology.gr/statistika-iliofaneias-gia-tin-ellada/#!prettyPhoto>

<https://www.mistikakipou.gr/fita-pou-theloun-ligo-nero-potisma/>

<https://www.pveurope.eu/solar-irradiation-data-all-european-regions>

<https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/rainwater-harvesting-information/history-of-rainwater-harvesting/>

[https://www.researchgate.net/figure/Design-of-a-pond-harvesting-system-PHS\\_fig1\\_345770065](https://www.researchgate.net/figure/Design-of-a-pond-harvesting-system-PHS_fig1_345770065)

<https://www.toppr.com/guides/essays/importance-of-water>

