



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Υπολογιστική Μελέτη Σχεδιασμού Συνδυασμένου Συστήματος,
ΑΠΕ-Αφαλάτωσης, για Ξενοδοχειακό Συγκρότημα στο Νησί της
Ρόδου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Ευτυχίας-Μαρίας Μ. Ζαννέττου

Επιβλέπων:

Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης

Επίκουρος Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Αθήνα, Οκτώβριος 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Υπολογιστική Μελέτη Σχεδιασμού Συνδυασμένου Συστήματος, ΑΠΕ-Αφαλάτωσης, για Ξενοδοχειακό Συγκρότημα στο Νησί της Ρόδου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Ευτυχίας-Μαρίας Μ. Ζαννέττου

Επιβλέπων: Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης
Επίκουρος Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική Επιτροπή την 14^η Οκτωβρίου 2024

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Δρ Αιμιλία Μ. Κονδύλη
Καθηγήτρια Πα.Δ.Α.

.....
Δρ Μουστρής Κων/νος
Καθηγής Πα.Δ.Α.

.....
Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης
Επίκουρος Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Αθήνα, Οκτώβριος 2024

Copyright © - Ευτυχία-Μαρίνα Μ. Ζαννέττου, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

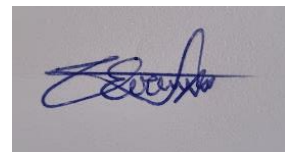
Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ευτυχία-Μαρίνα Ζαννέττου του Μιχαήλ, με αριθμό μητρώου 19392041 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, της Σχολής Μηχανικών, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα

(Υπογραφή)



.....
Ευτυχία-Μαρίνα Μ. Ζαννέττου

Περίληψη

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αξιολογεί την ανάπτυξη συνδυασμένου συστήματος Φ/Β-Συσσωρευτών-Αφαλάτωσης για την εξυπηρέτηση αναγκών σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και νερού στον ξενοδοχειακό τομέα. Ειδικότερα, η μελέτη αφορά στην παραμετρική μελέτη και διαστασιολόγηση παρόμοιου συστήματος για υφιστάμενο ξενοδοχειακό συγκρότημα στο νησί της Ρόδου. Για το σκοπό αυτό αναπτύσσεται κατάλληλο υπολογιστικό πλαίσιο προσομοίωσης που επιτρέπει την επίλυση του ισοζυγίου ενέργειας και νερού, εξάγοντας απολογιστικούς δείκτες αξιολόγησης αναφορικά με τον επιτευχθέντα βαθμό κάλυψης της κατανάλωσης ενέργειας και νερού και την οικονομική απόδοση που χαρακτηρίζει τον υπό εξέταση κάθε φορά συνδυασμό σε σχέση με τις βασικές μεταβλητές του προβλήματος.

Λέξεις Κλειδιά

Φωτοβολταϊκά, Συσσωρευτές, Αφαλάτωση, Ξενοδοχειακός Τομέας

Abstract

The specific thesis evaluates the development of a combined, PV-Battery and Desalination system for serving electricity and water needs in the hotel sector. More specifically, the study puts forward parametric analysis and sizing aspects for examining the development of a similar system with regard to an existing hotel unit on the island of Rhodes. For this purpose, a proper computational and simulation framework is developed for solving the energy and water balance problem, generating evaluation metrics regarding the achieved levels of energy and water consumption coverage, as well as the economic performance of the system-combination each time examined, focusing on main problem variables.

Keywords

Photovoltaics, Battery Storage, Desalination, Hotel Sector

Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία σηματοδοτεί, το τέλος ενός πολύ όμορφου κύκλου της ζωής μου.

Ένα τεράστιο ευχαριστώ το οφείλω στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Δημήτριο Ζαφειράκη, ο οποίος μου παρείχε τη δυνατότητα να μελετήσω ένα τόσο ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα και με τη διαρκή υποστήριξη και καθοδήγηση καθώς και το χρόνο που διέθεσε, δίνοντάς μου πολύτιμες συμβουλές και οδηγίες, κατάφερα να ολοκληρώσω τη Διπλωματική αυτή Εργασία.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω την ξενοδοχειακή εγκατάσταση TUI BLUE Lindos Bay, του κύριου Ν. Καπετανάκη για την εμπιστοσύνη και ειδικότερα τον κύριο Καραμαρίτη Στέργο, καθώς και τους συντηρητές, οι οποίοι μου παρείχαν οποιαδήποτε πληροφορία χρειάστηκα για να εκπονήσω την παρούσα διπλωματική εργασία.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένεια μου και τους φίλους μου για τη στήριξη, το κουράγιο και την υπομονή που μου έδειξαν όλο αυτό το διάστημα.

Τίποτα δεν θα γινόταν χωρίς εσάς.

Στον πατέρα μου, Μιχάλη

Τη μητέρα μου, Μαρία

Περιεχόμενα

| | |
|---|-----------|
| Ακρωνύμια | 10 |
| Κατάλογος Διαγραμμάτων | 11 |
| Κατάλογος Εικόνων | 12 |
| Κατάλογος Πινάκων | 13 |
| Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή | 14 |
| 1.1 Γενικά στοιχεία..... | 15 |
| 1.2 Το πρόβλημα της λειψυδρίας στην Ελλάδα | 17 |
| 1.3 Μονάδες αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά..... | 19 |
| 1.4 Μονάδες αφαλάτωσης με ΑΠΕ στα ελληνικά νησιά | 21 |
| Κεφάλαιο 2. Αφαλάτωση νερού | 23 |
| 2.1 Πλέγμα ενέργειας και νερού..... | 24 |
| 2.2 Αντίστροφη ώσμωση (RO) | 26 |
| 2.3 Αντίστροφη ώσμωση με χρήση ΑΠΕ..... | 29 |
| 2.3.1 Ηλιακή ενέργεια..... | 30 |
| Κεφάλαιο 3. Καταναλώσεις ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων στην Ελλάδα | 32 |
| 3.1 Ξενοδοχειακός τομέας στην Ελλάδα | 33 |
| 3.2 Ενεργειακές καταναλώσεις ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων | 34 |
| 3.3 Καταναλώσεις νερού ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων | 36 |
| Κεφάλαιο 4. Μελέτη Περίπτωσης (Το νησί της Ρόδου) | 38 |
| 4.1 Διοικητικά - Δημογραφικά στοιχεία | 39 |
| 4.2 Γεωμορφολογικά στοιχεία..... | 41 |
| 4.3 Κλιματικά χαρακτηριστικά..... | 42 |
| 4.4 Υδάτινα αποθέματα | 43 |
| 4.5 Ξενοδοχειακή μονάδα | 44 |
| 4.5.1 Καταναλώσεις ξενοδοχειακής εγκατάστασης | 48 |
| Κεφάλαιο 5. Μεθοδολογική Προσέγγιση | 50 |
| 5.1 Υπολογιστικό πλαίσιο | 51 |

| | | |
|--|--|----|
| 5.2 | Μεθοδολογικά βήματα..... | 52 |
| 5.3 | Απολογιστικοί δείκτες αξιολόγησης & οικονομικά μεγέθη..... | 53 |
| Κεφάλαιο 6. Αποτελέσματα προσομοίωσης της λειτουργίας του | | |
| συστήματος 55 | | |
| 6.1 | Ισοζύγιο ενέργειας και νερού | 56 |
| 6.2 | Συντελεστές κάλυψης ενέργειας και νερού | 57 |
| 6.3 | Σταθμισμένο κόστος παραγωγής ενέργειας και νερού | 59 |
| 6.4 | Βέλτιστοι συνδυασμοί | 61 |
| Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα 65 | | |
| Βιβλιογραφία 68 | | |

Ακρωνύμια

| | |
|-----------------|------------------------|
| CO ₂ | Διοξείδιο του άνθρακα |
| m ² | Τετραγωνικά μέτρα |
| m ³ | Κυβικά μέτρα |
| km | Χιλιόμετρα |
| km ² | Τετραγωνικά Χιλιόμετρα |
| kW | Κιλοβάτ |
| kWh | Κιλοβατώρα |
| °C | Βαθμοί κελσίου |
| kVA | Kilo-Volt-Amperes |
| mg/L | milligram/Liter |
| ppm | parts per million |
| kWp | Kilowatts peak |
| s | second |

| | |
|-----|-----------------------------------|
| ΑΠΕ | Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας |
| ΞΕΕ | Ξενοδοχειακό Επιμελητήριο Ελλάδος |
| Φ/Β | Φωτοβολταϊκό |
| MSF | Multi stage Flash |
| MED | Multi Effect Distillation |
| RO | Reverse Osmosis |
| ED | Electro-Dialysis |
| PV | Photovoltaic |
| CPV | Concentrator Photovoltaics |
| WRI | World Resources Institute |
| FO | Forward Osmosis |
| MD | Membrane Distillation |
| CSP | Concentrated Solar Power |

Κατάλογος Διαγραμμάτων

| | |
|---|----|
| Διάγραμμα 1.1 Κατανομή των υδάτινων πόρων της Γης (Frenkel, 2011)..... | 16 |
| Διάγραμμα 2.1 Μεριδία αγοράς για διαφορετικές τεχνολογίες αφαλάτωσης..... | 25 |
| Διάγραμμα 3.1 Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (ΦΙΛΙΠΠΟΥ, 2021) | 34 |
| Διάγραμμα 3.2 Κατανομή ενέργειας (ΦΙΛΙΠΠΟΥ, 2021) | 34 |
| Διάγραμμα 3.3 Συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (ΦΙΛΙΠΠΟΥ, 2021) | 35 |
| Διάγραμμα 4.1 Ελάχιστες, μέσες και μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες (ΕΜΥ, 2024) | 42 |
| Διάγραμμα 4.2 Ωριαίες καταναλώσεις ενέργειας και νερού | 49 |
| Διάγραμμα 4.3 Συντελεστής φορτίου φωτοβολταϊκής παραγωγής..... | 49 |
| Διάγραμμα 5.1 Υπολογιστικό πλαίσιο διαστασιολόγησης συστήματος Φ/Β-Αφαλάτωση | 51 |
| Διάγραμμα 6.1 Ισοζύγιο ενέργειας και νερού | 56 |
| Διάγραμμα 6.2 Μεταβολή συντελεστή κάλυψης ενέργειας συναρτήσει της εγκατεστημένης φ/β ισχύος και της χωρητικότητας των συσσωρευτών | 57 |
| Διάγραμμα 6.3 Μεταβολή συντελεστή κάλυψης νερού συναρτήσει της εγκατεστημένης φ/β ισχύος και της χωρητικότητας των συσσωρευτών | 58 |
| Διάγραμμα 6.4 Μεταβολή συντελεστών κάλυψης ενέργειας και νερού συναρτήσει του όγκου δεξαμενής νερού και της χωρητικότητας των συσσωρευτών | 58 |
| Διάγραμμα 6.5 Μεταβολή LCOE συναρτήσει της εγκατεστημένης φ/β ισχύος και της χωρητικότητας των συσσωρευτών | 59 |
| Διάγραμμα 6.6 Μεταβολή LCOW συναρτήσει της εγκατεστημένης φ/β ισχύος και της χωρητικότητας των συσσωρευτών | 60 |
| Διάγραμμα 6.7 Συσχέτιση των συντελεστών κάλυψης ενέργειας και νερού | 62 |
| Διάγραμμα 6.8 Συσχέτιση LCOE και LCOW για διαφορετικά επίπεδα συντελεστή κάλυψης ενέργειας..... | 63 |
| Διάγραμμα 6.9 Διαστάσεις βασικών συνιστωσών για το εξεταζόμενο εύρος λύσεων | 63 |
| Διάγραμμα 6.10 Μεταβολή οικονομικών δεικτών για το εξεταζόμενο εύρος λύσεων..... | 64 |

Κατάλογος Εικόνων

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1.1 Έλλειψη νερού ανά το κόσμο | 17 |
| Εικόνα 1.2 Μονάδες αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά..... | 19 |
| Εικόνα 1.3 Η Hydriada της Ηρακλείας..... | 21 |
| Εικόνα 2.1 Ταξινόμηση τεχνολογιών αφαλάτωσης..... | 25 |
| Εικόνα 2.2 Περιγραφή των φαινομένων της φυσικής και της αντίστροφης ώσμωσης..... | 26 |
| Εικόνα 2.3 Διαμόρφωση μεμβράνης μεθόδου RO..... | 27 |
| Εικόνα 2.4 Διαμόρφωση εγκατάστασης αντίστροφης ώσμωσης..... | 27 |
| Εικόνα 2.5 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας | 29 |
| Εικόνα 2.6 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος αφαλάτωσης PV-RO | 30 |
| Εικόνα 2.7 Εγκαταστάσεις Solar Desalination Plant Al Khafji | 31 |
| Εικόνα 3.1 Ελάχιστη παροχή νερού ανά κατηγορία | 36 |
| Εικόνα 3.2 Ενδεικτική ανάλυση κατανάλωσης νερού ανά τομέα σε ένα τουριστικό κατάλυμα..... | 37 |
| Εικόνα 4.1 Γεωγραφική θέση νησιού (maps, 2024) | 39 |
| Εικόνα 4.2 Διοικητική διαίρεση νήσου Ρόδου..... | 40 |
| Εικόνα 4.3 Γεωμορφολογικός χάρτης..... | 41 |
| Εικόνα 4.4 Φράγμα Γαδουρά (Ροδιακή, 2024)..... | 43 |
| Εικόνα 4.5 Φράγμα Απολακκιάς (Χατζηπέτρος, 2023)..... | 43 |
| Εικόνα 4.6 Απόσταση μονάδας από τη παραλία Βλυχά (maps, 2024) | 44 |
| Εικόνα 4.7 Ξενοδοχειακή εγκατάσταση (Bay, 2024) | 44 |
| Εικόνα 4.8 Εφεδρική μονάδα παραγωγής ενέργειας..... | 45 |
| Εικόνα 4.9 Κάτοψη ξενοδοχειακής μονάδας (Bay, 2024)..... | 45 |
| Εικόνα 4.10 Κάτοψη ισογείου ξενοδοχειακής μονάδας (Bay, 2024)..... | 46 |
| Εικόνα 4.11 Κάτοψη ελεύθερου χώρου εντός οικήματος..... | 46 |
| Εικόνα 4.12 Κάτοψη ελεύθερου οικοπέδου..... | 47 |
| Εικόνα 6.1 Μεταβολή Περιορισμού H4, από ≤ 300 €/MWh έως ≤ 175 €/MWh ανά 25 €/MWh..... | 61 |

Κατάλογος Πινάκων

| | |
|--|----|
| Πίνακας 3.1 Κατάταξη ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων στην Ελλάδα βάση αστεριών | 33 |
| Πίνακας 4.1 Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις..... | 48 |
| Πίνακας 4.2 Μηνιαίες καταναλώσεις νερού | 48 |
| Πίνακας 5.1 Θεωρούμενοι συντελεστές κόστους – οικονομικής αξιολόγησης..... | 54 |
| Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα επίλυσης για την ανάδειξη βέλτιστων λύσεων | 61 |

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

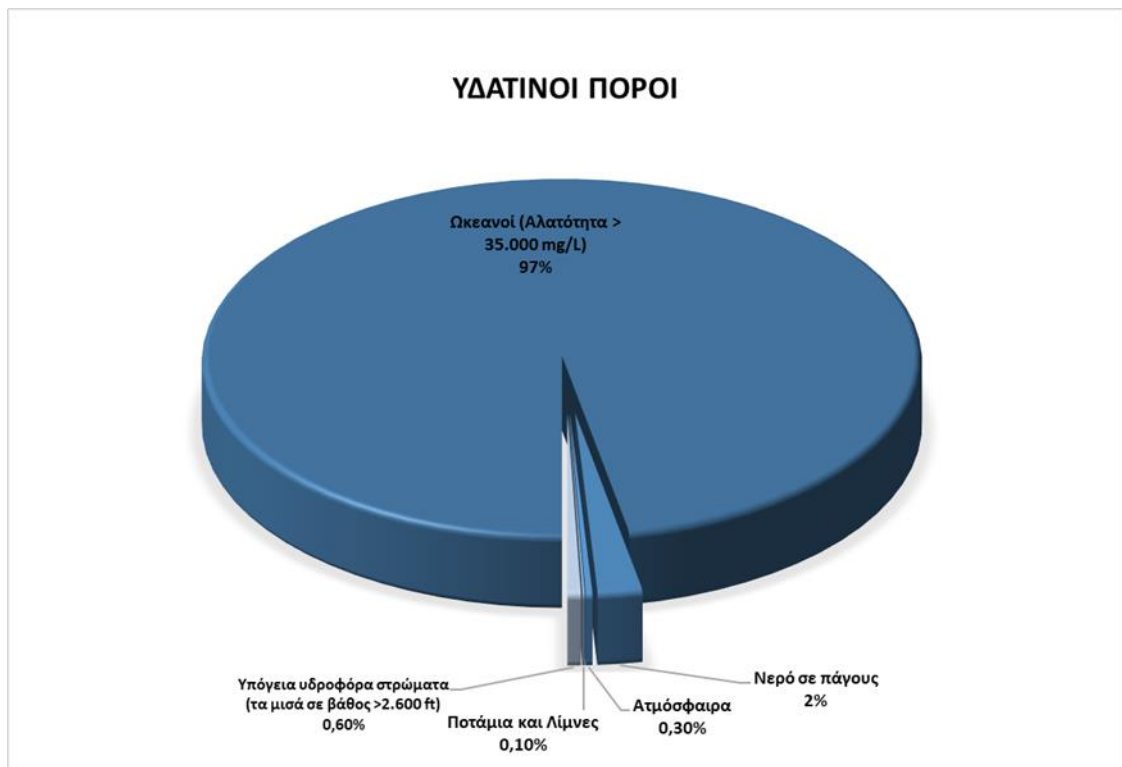
1.1 Γενικά στοιχεία

Το νερό είναι ένας πολύ σημαντικός φυσικός πόρος καθώς αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία της ζωής του πλανήτη και παράλληλα τον καταλύτη για την πρόοδο της ανθρώπινης εξέλιξης. Η συνεισφορά του νερού στην εμφάνιση, τη συντήρηση και την εξέλιξη των ανθρώπινων πολιτισμών είναι δεδομένη και εμφανής. Η ανάπτυξη των σπουδαιών πολιτισμών πάντα συνδεόταν με περιοχές πλούσιες σε νερό και ευκολία πρόσβασης σε αυτό. Σήμερα, η βιομηχανική και αστική ανάπτυξη συναντάται σε τοποθεσίες με πλούσιες υδατικές πηγές.

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια υπάρχει ζήτημα επάρκειας του νερού, παρόλο που ο πλανήτης Γη χαρακτηρίζεται ως - 'μπλε πλανήτης'- λόγω της αφθονίας του σε νερό. Η αδυναμία κάλυψης της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης, η ανομβρία, η λειψυδρία και η ρύπανση των φυσικών πηγών πόσιμου νερού αποτελούν βασικές συνιστώσες της έλλειψης υδάτινων αποθεμάτων.

Με βάση την παγκόσμια κατανομή των υδατικών αποθεμάτων, περίπου το 97% του νερού στον πλανήτη εντοπίζεται στους ωκεανούς και τις θάλασσες, ενώ το 2% αποθηκεύεται στα παγόβουνα. Εκτιμάται ότι μόλις το 0,4% του νερού αποτελείται από γλυκό νερό. Τα υπόλοιπα ποσοστά αντιστοιχούν σε υφάλμυρο νερό, δηλαδή νερό με μικρή περιεκτικότητα σε αλάτι, το οποίο βρίσκεται είτε στις επιφάνειες κοντά στις εκβολές ποταμών είτε ως υπόγειος πόρος σε αλμυρές υδροφόρες ζώνες. Τα τελευταία χρόνια η λειψυδρία επηρεάζει την καθημερινότητα εκατομμυρίων ανθρώπων παγκοσμίως. Η διαδικασία της αφαλάτωσης, δηλαδή η μετατροπή του θαλασσινού νερού σε πόσιμο γλυκό νερό, δεν είναι κάτι καινούριο. Η μέθοδος αυτή έχει αναπτυχθεί και εφαρμόζεται εδώ και πολλούς αιώνες. Με το 97% του νερού του πλανήτη να είναι αλμυρό, με συγκέντρωση αλατιού πάνω από 35.000 mg/L, όπως αναφέρεται και στο διάγραμμα 1.1, η αφαλάτωση αποτελεί πλέον την πιο διαδεδομένη τεχνολογία για την αντιμετώπιση της έλλειψης υδάτινων αποθεμάτων (Frenkel, 2011).

Η ιστορία της αφαλάτωσης χρονολογείται χιλιάδες χρόνια πίσω, με τους πρώτους πολιτισμούς να χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές για να παράγουν πόσιμο νερό από πηγές αλμυρού νερού. Στη Μεγαλιθική περίοδο γύρω στο 6000 π.Χ. στη Μεσόγειο, σημειώθηκαν σημαντικές προόδους στη διαχείριση του νερού. Οι Μινωίτες ήταν ενδεχομένως από τους πρώτους που εφάρμοσαν την αφαλάτωση με βρασμό του νερού, μια τεχνολογία που διαδόθηκε σε όλες τις περιόδους του ελληνικού πολιτισμού μέχρι και τη ρωμαϊκή εποχή. Η πρώτη πρόοδος στη σύγχρονη διαδικασία αφαλάτωσης σημειώθηκε το 18^ο-αιώνα όταν διαμορφώθηκε η διαδικασία της θερμικής απόσταξης. Στα μέσα του 20^{ου}-αιώνα οι μέθοδοι αφαλάτωσης άρχισαν να αναπτύσσονται με γρήγορους ρυθμούς εξαιτίας της αύξησης της ζήτησης πόσιμου νερού σε ξηρές περιοχές όπου πραγματοποιούνταν στρατιωτικές εφαρμογές κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Το 1952 κατασκευάστηκε στην Αρούμπα της Καραϊβικής, η πρώτη μεγάλη μονάδα αφαλάτωσης που χρησιμοποιούσε απόσταξη πολλαπλών σταδίων (MSF). Στη δεκαετία του 1960, η αντίστροφη ώσμωση αναδείχθηκε ως εμπορικά βιώσιμη διαδικασία αφαλάτωσης, ενώ από τη δεκαετία του 1980 σημειώθηκαν ραγδαίες εξελίξεις στην τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης (RO) καθιστώντας την, την πιο αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική μέθοδο αφαλάτωσης. (Babak Zolghadr-Asli, 2023)

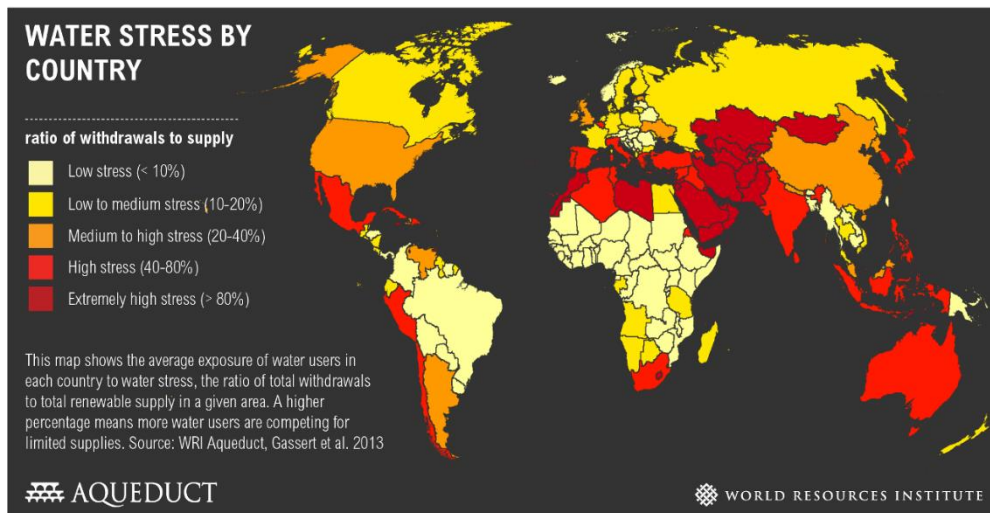


Διάγραμμα 1.1 Κατανομή των υδάτινων πόρων της Γης (Frenkel, 2011)

Η τεχνολογία αφαλάτωσης αποτελεί πλέον την πιο διαδεδομένη λύση για την αντιμετώπιση της έλλειψης υδάτινων αποθεμάτων, καθώς το νερό παράγεται σε χαμηλότερο κόστος κυρίως λόγω της βελτίωσης των μεμβρανών και της σημαντικής μείωσης των ενεργειακών απαιτήσεων, ιδιαίτερα όταν η διαδικασία τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.2 Το πρόβλημα της λειψυδρίας στην Ελλάδα

Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα της έλλειψης νερού εντείνεται τόσο σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες όσο και σε χώρες που θεωρούνται ανεπτυγμένες. Το 1/3 του παγκόσμιου πληθυσμού αντιμετωπίζει προβλήματα με την επάρκεια νερού, κυρίως λόγω της κακής διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Η διεθνής οργάνωση World Resources Institute (WRI) δημοσίευσε έκθεση σχετικά με τις χώρες που διατρέχουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο έλλειψης νερού.



Εικόνα 1.1 Έλλειψη νερού ανά το κόσμο (Paul Reig, 2013)

Παρά το γεγονός ότι η Ελλάδα διαθέτει άφθονους υδάτινους πόρους, ανήκει στην 58^η-θέση ανάμεσα στις χώρες που διατρέχουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο έλλειψης νερού παγκοσμίως, και είναι μία από τις επτά χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αντιμετωπίζουν προβλήματα επάρκειας υδάτων μαζί με τη Μάλτα, την Ισπανία, την Κύπρο, το Βέλγιο, την Πορτογαλία και την Ιταλία. Η αναποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων, σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής με την υπερθέρμανση του πλανήτη, αναμένεται να επιδεινώσει σημαντικά την κατάσταση.

Η συχνότητα και η ένταση του προβλήματος δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη τη χώρα. Οι υδάτινοι πόροι είναι συγκεντρωμένοι κυρίως στα βόρεια και δυτικά της χώρας, ενώ στις νησιωτικές περιοχές είναι σχεδόν ανύπαρκτοι εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους καθώς και της περιορισμένης διαθεσιμότητας υδάτινων πηγών, οι οποίες το νερό των οποίων συχνά δεν είναι πόσιμο αλλά υφάλμυρο. Η κατάσταση επιδεινώνεται ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, όταν η ζήτηση για νερό αυξάνεται έως και πέντε φορές σε σύγκριση με τους χειμερινούς μήνες, λόγω της αυξημένης εγχώριας και τουριστικής κίνησης, των υψηλών θερμοκρασιών και της ξηρασίας.

Μία από τις κύριες λύσεις που εφαρμόζεται για την αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η μεταφορά υδάτινων αποθεμάτων με τη χρήση υδροφόρων πλοίων από τα βόρεια και δυτικά τμήματα της χώρας καθώς και από γειτονικά νησιά με υδάτινα αποθέματα. Ωστόσο, η ραγδαία

αύξηση της ζήτησης υδάτινου δυναμικού στα νησιά κατά τους θερινούς μήνες και η ανομβρία έχει οδηγήσει σε μείωση των αποθεμάτων στα γειτονικά νησιά και πλέον ο εφοδιασμός των νησιών μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο από τα ηπειρωτικά τμήματα της χώρας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το υψηλό κόστος του νερού, εξαιτίας του μεγάλου κόστους μεταφοράς. Παράλληλα, κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου η μεταφορά του νερού στα νησιά καθίσταται πολλές φορές αδύνατη εξαιτίας των καιρικών συνθηκών, με αποτέλεσμα οι κάτοικοι των νησιών να αντιμετωπίζουν έντονο πρόβλημα έλλειψης νερού (Anraam Kartalidis, 2017) (K.A Kavadias, 2004).

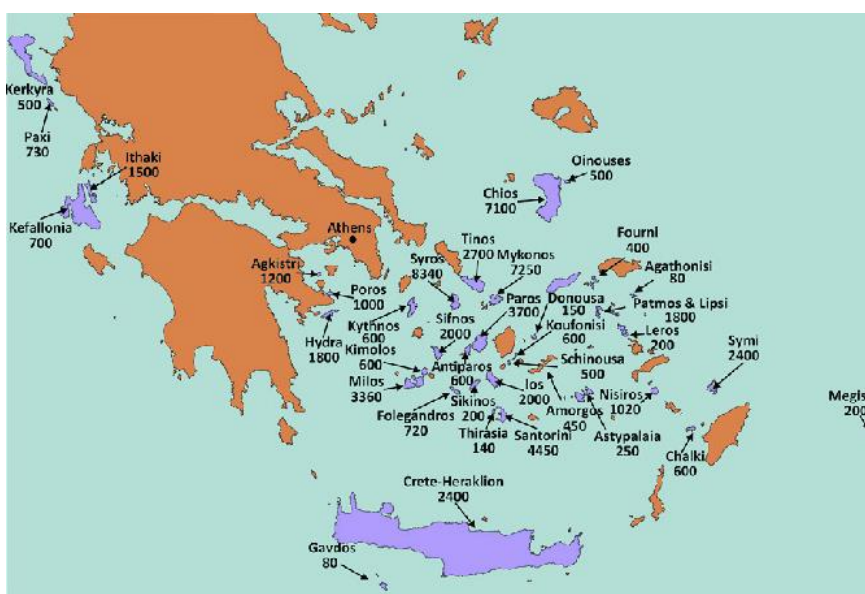
Οι παράμετροι αυτές οδηγούν στο γεγονός ότι, αν και η μεταφορά των υδάτινων αποθεμάτων είναι μια ελκυστική και σχετικά εύκολη προσέγγιση, δεν επιφέρει την βέλτιστη λύση καθώς δεν είναι πάντα οικονομικά συμφέρουσα και αποδοτική. Επιπλέον, είναι αρκετά επιβλαβής για το περιβάλλον λόγω των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά την μεταφορά των υδροφόρων πλοίων (George Tchobanoglous, 2009).

Άλλες πρακτικές οι οποίες διερευνήθηκαν για την αντιμετώπιση του προβλήματος είναι η αφαλάτωση του νερού (θαλασσινού ή υφάλμυρου), καθώς και η δημιουργία φραγμάτων ή γεωτρήσεων.

1.3 Μονάδες αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά

Η Ελλάδα αποτελεί ένα από τα ευρωπαϊκά κράτη με τη μεγαλύτερη ακτογραμμή με μήκος περίπου 14.000 km. Ο αριθμός των νησιών της είναι περίπου 2.500 με τον τοπικό πληθυσμό να ανέρχεται περίπου στο 1,6 εκατομμύρια κατοίκους. Το κλίμα το οποίο κυριαρχεί στα ελληνικά νησιά είναι το ήπιο εύκρατο μεσογειακό, με αρκετή ξηρασία κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου και αρκετές ήπιες βροχοπτώσεις κατά τους χειμερινούς μήνες, οι οποίες ωστόσο δεν επαρκούν για την πλήρη κάλυψη των αναγκών ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες εξαιτίας της αυξημένης τουριστικής προσέλευσης.

Η μέθοδος της αφαλάτωσης ξεκίνησε να εφαρμόζεται στα ελληνικά νησιά την δεκαετία του 1960, βασιζόμενη στους ηλιακούς συλλέκτες. Το 1969 εγκαταστάθηκε στη Σύρο ένα σύστημα MSF (Multi stage flash), το οποίο τροφοδοτούνταν με ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από ορυκτά καύσιμα, ενώ έως το 1973 εγκαταστάθηκαν άλλα πέντε συστήματα τα οποία ωστόσο δεν αποδείχθηκαν ιδιαίτερα επιτυχημένα, εξαιτίας διαφόρων λειτουργικών προβλημάτων. Το 1977 πραγματοποιήθηκε μία ακόμη προσπάθεια αφαλάτωσης στο νησί της Κέρκυρας, με την εγκατάσταση μονάδας αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης (ED) με ημερήσια δυναμικότητα 15.000 m³ για την επεξεργασία υφάλμυρου νερού χαμηλής αλατότητας (έως 2000 ppm). Ωστόσο, η μονάδα σταμάτησε να λειτουργεί μετά από λίγα χρόνια εξαιτίας λειτουργικών προβλημάτων. Οι υψηλές τιμές των ορυκτών καυσίμων και οι μηχανικές δυσλειτουργίες, οδήγησαν στην εισαγωγή της τεχνολογίας αντίστροφης ώσμωσης (RO). Οι πρώτες μονάδες αφαλάτωσης RO εγκαταστάθηκαν το 1980 – 1981 στα νησιά της Μυκόνου και της Ιθάκης. Από τότε μέχρι και σήμερα η αντίστροφη ώσμωση αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο αφαλάτωσης στην Ελλάδα, με το 75% του αφαλατωμένου νερού να παράγεται από μονάδες που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία, με εφαρμογή για δημόσια ύδρευση, αλλά και για παροχή νερού σε ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις. (George Kyriakarakos, 2022) (George Arampatzis, 2017)



Εικόνα 1.2 Μονάδες αφαλάτωσης στα ελληνικά νησιά (George Arampatzis, 2017)

Στην Ελλάδα λειτουργούν πλέον περισσότερες από 160 μονάδες αφαλάτωσης με συνολική παραγωγή άνω των 150.000 m³ ημερησίως. Από το σύνολο του νερού που χρησιμοποιείται για τροφοδοσία, το 56% είναι θαλασσινό νερό και το 41% είναι υφάλμυρο νερό. Το 48% του παραγόμενου αφαλατωμένου νερού διατίθεται στους δήμους, το 31% καλύπτει τις βιομηχανικές ανάγκες, το 16% παρέχεται στον τουριστικό τομέα, ενώ το υπόλοιπο 5% διοχετεύεται για τις ανάγκες των μονάδων παραγωγής ενέργειας και του ελληνικού στρατού. Οι περισσότερες μονάδες λειτουργούν σε νησιά με απομονωμένα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία στις περισσότερες περιπτώσεις τροφοδοτούνται από γεννήτριες πετρελαίου (diesel). Οι υπόλοιπες μονάδες είναι εγκατεστημένες σε νησιά που συνδέονται με το ηπειρωτικό δίκτυο μέσω υποβρύχιων καλωδίων. (George Kyriakarakos, 2022)

1.4 Μονάδες αφαλάτωσης με ΑΠΕ στα ελληνικά νησιά

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη διαδικασία της αφαλάτωσης παρουσιάζει αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής ενέργειας. Παρόλο που τα συστήματα αφαλάτωσης με ανανεώσιμη ενέργεια έχουν υψηλότερο κόστος εγκατάστασης, τα λειτουργικά τους έξοδα είναι χαμηλότερα, καθώς αποφεύγεται το υψηλό κόστος των ορυκτών καυσίμων το οποίο χρησιμοποιείται για τα περισσότερα νησιά. Κατά τη θερινή περίοδο, η αυξημένη ταχύτητα του ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία συμβαδίζουν με την αυξημένη ζήτηση νερού, καθιστώντας αυτές τις πηγές ενέργειας κατάλληλες για την υποστήριξη των συστημάτων αφαλάτωσης, ιδιαίτερα στα ελληνικά νησιά. Η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 5 έως 7 m/s, ενώ η ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται από 1400 έως 1700 kWh/m². Επιπλέον, στη Μήλο, Νίσυρο, Κίμωλο και Θήρα υπάρχουν γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας.

Το ελληνικό κράτος προωθεί τα συστήματα αφαλάτωσης που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δίνοντας προτεραιότητα στη διαδικασία αδειοδότησης τέτοιων εγκαταστάσεων. Το 1997-1998, στα πλαίσια ενός ευρωπαϊκού έργου, εγκαταστάθηκε στην Κίμωλο μία μονάδα αφαλάτωσης με χρήση γεωθερμικής ενέργειας, δυναμικότητας 80 m³/ημέρα με την τεχνολογία απόσταξης πολλαπλών επιδράσεων (MED). Το 1997, εγκαταστάθηκε μια ακόμα μικρή πιλοτική μονάδα αντίστροφης ώσμωσης (RO) στη Θηρασιά, δυναμικότητας 4,8 m³/ημέρα, η οποία τροφοδοτούνταν από ανεμογεννήτρια ισχύος 15 kW.

Το 2007, ξεκίνησε να λειτουργεί η Hydriada, μια πλωτή μονάδα αφαλάτωσης RO, δυναμικότητας 80 m³/ημέρα, η οποία τροφοδοτούνταν από ανεμογεννήτρια και φωτοβολταϊκά. Το έργο αυτό, σχεδιάστηκε για να καλύψει τις ανάγκες πόσιμου νερού 300 κατοίκων στην Ηρακλειά, αποτελώντας μία φιλόδοξη λύση με καινοτόμα χαρακτηριστικά.



Εικόνα 1.3 Η Hydriada της Ηρακλειάς (Φωτιάδη, 2015)

Στη Μήλο, το 2007-2009, εγκαταστάθηκε επιτυχώς μια μονάδα αφαλάτωσης με τη χρήση αιολικής ενέργειας, με τρεις μονάδες αντίστροφης όσμωσης (RO) συνολικής δυναμικότητας 3360 m³/ημέρα, με πολύ χαμηλή ειδική κατανάλωση ενέργειας (περίπου 3,5 kWh/m³), οι οποίες τροφοδοτούνταν από μια ανεμογεννήτρια 850 kW. Το έργο αυτό ενσωμάτωσε σύστημα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των μονάδων και των ανεμογεννητριών.

Το 2009, στο νησί της Σύμης, εγκαταστάθηκε ένα σύστημα αφαλάτωσης με μηχανική συμπίεση ατμών (MVC) που εκμεταλλευόταν την αιολική ενέργεια (330 kW), το οποίο και λειτούργησε έως το 2011. Το 2013, κατασκευάστηκε στο νησί Στρογγυλή μια αυτόνομη μονάδα υδροδότησης 0,85 m³/ημέρα, τροφοδοτούμενη από φωτοβολταϊκά 10 kW, παρέχοντας πόσιμο νερό σε ένα μικρό στρατόπεδο. Στην Κερατέα της Αττικής, εγκαταστάθηκε μία ακόμα μονάδα αντίστροφης όσμωσης (RO), δυναμικότητας 3 m³/ημέρα με υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών, η οποία λειτουργεί μέχρι και σήμερα. (George Arampatzis, 2017) (George Kyriakarakos, 2022)

Κεφάλαιο 2. Αφαλάτωση νερού

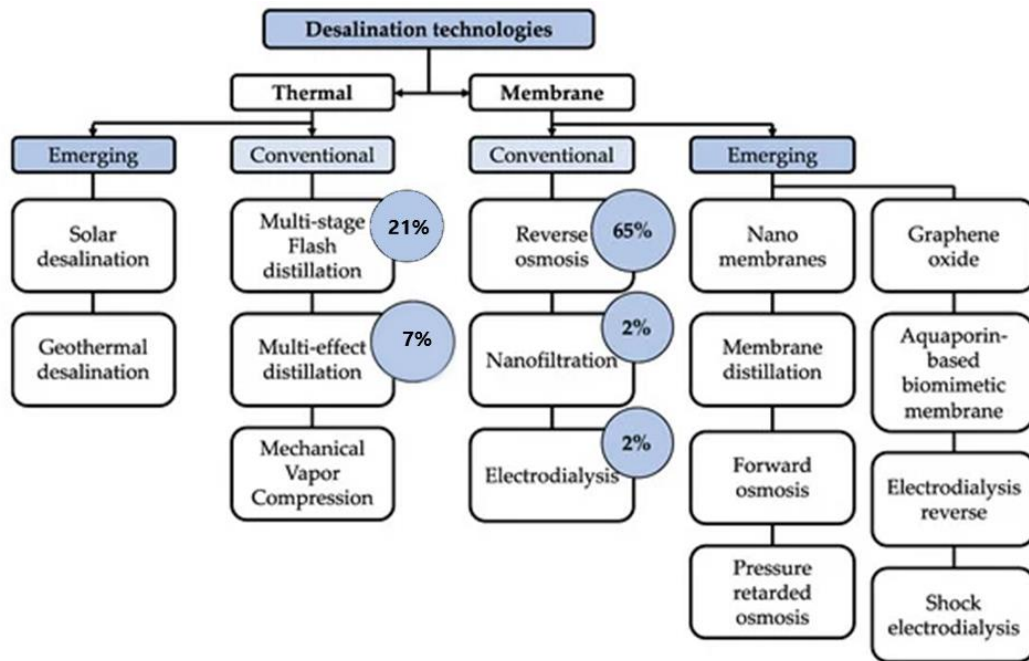
2.1 Πλέγμα ενέργειας και νερού

Το 40% περίπου του παγκόσμιου πληθυσμού αναμένεται να αντιμετωπίσει σοβαρές επιπτώσεις από την έλλειψη νερού μέχρι το 2030. Οι κύριες αιτίες της έλλειψης πόσιμου νερού είναι κυρίως οι κλιματικές αλλαγές, η εκβιομηχάνιση και η ραγδαία αύξηση της ζήτησης του νερού. Δεδομένου ότι μόνο το 3% των συνολικών διαθέσιμων αποθεμάτων του νερού είναι πόσιμο, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές αφαλάτωσης, οι οποίες αποτελούν βιώσιμες λύσεις για την παροχή πόσιμου νερού, ενισχύοντας την ασφάλεια εφοδιασμού. Οι κύριες πηγές για την εφαρμογή της αφαλάτωσης είναι το θαλασσινό και το υφάλμυρο νερό, με το τελευταίο να προέρχεται κυρίως από υπόγειες πηγές. Η περιεκτικότητα σε άλατα των υφάλμυρων νερών κυμαίνεται από 2000 έως 10.000 mg/L, ενώ για το θαλασσινό νερό είναι 24.000 έως 42.000 mg/L (Wa'ed Alyahya, 2023).

Η σύζευξη ενέργειας-νερού έχει συγκεντρώσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας λόγω της κρίσιμης επίδρασης που έχουν στη ζωή των ανθρώπων οι εν λόγω τομείς. Η έρευνα σε αυτό το πεδίο έχει ενταθεί, προτείνοντας διάφορες λύσεις στις προκλήσεις που σχετίζονται με τη σύνδεση αυτή. Σήμερα, η μεγαλύτερη πρόκληση στις διαδικασίες αφαλάτωσης είναι η μείωση του λειτουργικού και ενεργειακού κόστους μέσω νέων τεχνολογιών. Παράλληλα, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (όπως η ηλιακή, αιολική και γεωθερμική) στις διαδικασίες αφαλάτωσης έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον ως εναλλακτική για μείωση του ενεργειακού κόστους κατά 50-75% του συνολικού κόστους στη συμβατική μέθοδο και 60% της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης της αντίστροφης ώσμωσης (Aymer Maturana-Cordoba, 2023).

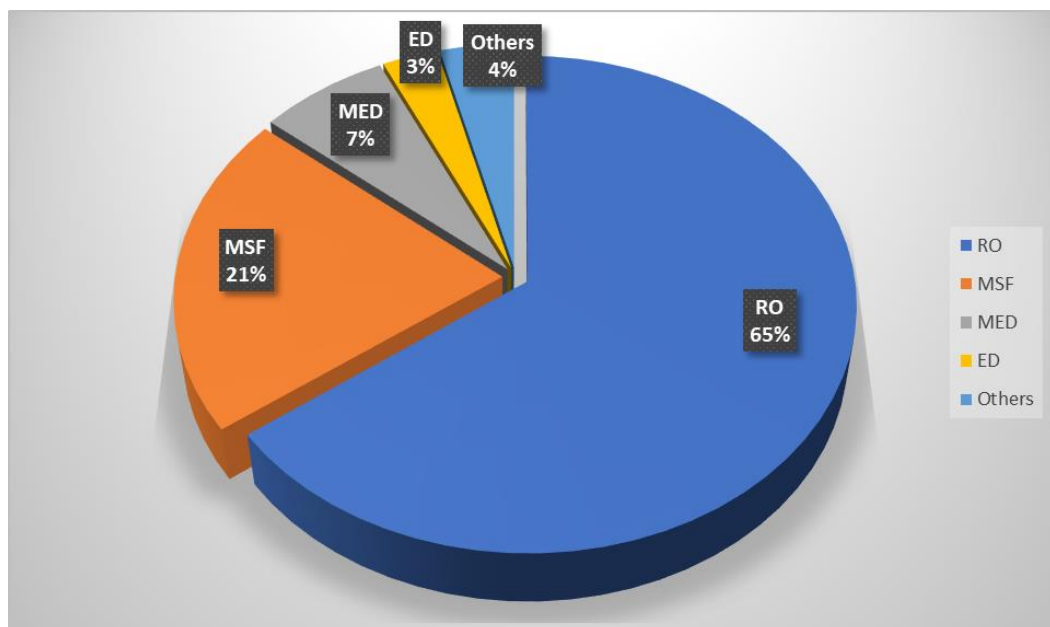
Η αφαλάτωση του νερού μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία βιώσιμη λύση για την αντιμετώπιση της έλλειψης των υδάτινων αποθεμάτων, η οποία πλήττει ένα μεγάλο μέρος του πλανήτη. Με τον όρο αφαλάτωση ορίζεται μία φυσική διεργασία διαχωρισμού των αλάτων από υδατικά διαλύματα, η οποία εφαρμόζεται ως βιομηχανική μέθοδος για την παραγωγή καθαρού νερού. Η διεργασία της αφαλάτωσης διακρίνεται κυρίως σε θερμικά και μηχανικά συστήματα (Vincenzo Franzitta, 2021).

Οι θερμικές τεχνολογίες, χρησιμοποιούν θερμότητα για την επεξεργασία και συνήθως περιλαμβάνουν τη θέρμανση αλμυρού νερού και τη συλλογή των συμπυκνωμένων ατμών για την παραγωγή γλυκού νερού. Η πολυσταδιακή απόσταξη (MSF) και η απόσταξη πολλαπλών επιδράσεων (MED) ανήκουν στις δύο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες θερμικές μεθόδους. Αντίθετα, στα μηχανικά συστήματα αφαλάτωσης το νερό υφίσταται πίεση, επιτυγχάνοντας τη διέλευση και το φιλτράρισμά του μέσω ημιπερατών μεμβρανών, οι οποίες απομακρύνουν τα άλατα για την παραγωγή υψηλής ποιότητας πόσιμου νερού. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι αυτή της αντίστροφης ώσμωσης (RO), ενώ ακολουθούν και άλλες όπως η ηλεκτροδιάλυση (ED), η εμπρόσθια ώσμωση (FO) και η απόσταξη με μεμβράνη (MD).



Εικόνα 2.1 Ταξινόμηση τεχνολογιών αφαλάτωσης (Aldo Saavedra, 2021)

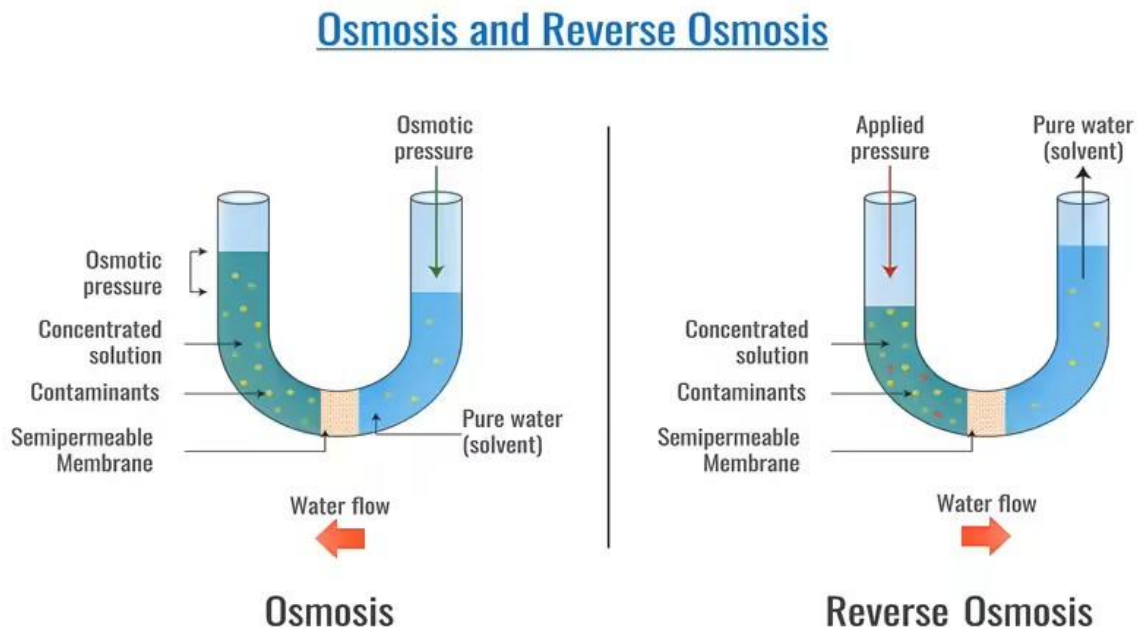
Η τεχνολογία αντίστροφης ώσμωσης (RO) αποτελεί την πιο ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιούμενη μέθοδο αφαλάτωσης παγκοσμίως, με μεγάλη διαφορά από τις άλλες τεχνολογίες, όπως παρουσιάζεται και στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 2.1 Μερίδια αγοράς για διαφορετικές τεχνολογίες αφαλάτωσης

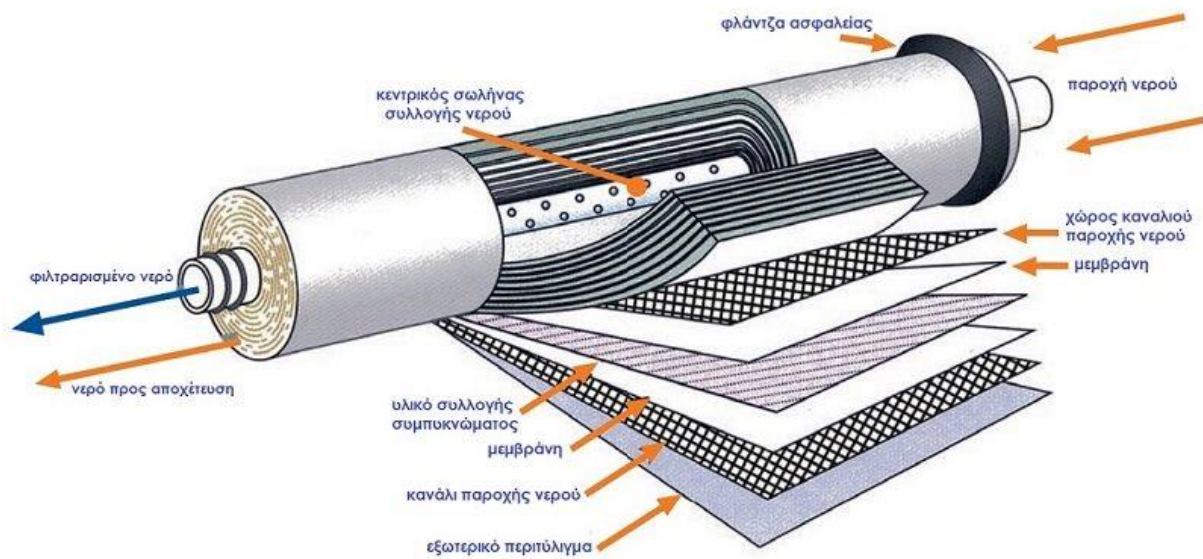
2.2 Αντίστροφη ώσμωση (RO)

Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική αφαλάτωσης, η οποία βασίζεται στη χρήση μεμβρανών. Αρχικά, η ώσμωση αποτελεί μια φυσική διεργασία κατά την οποία το νερό μετακινείται από ένα διάλυμα χαμηλότερης συγκέντρωσης διαλυμένων ουσιών προς ένα διάλυμα υψηλότερης συγκέντρωσης, διαμέσου μιας μεμβράνης, λόγω της φυσικής ωσμωτικής πίεσης. Η αντίστροφη ώσμωση βασίζεται σε μία ιδιότητα ορισμένων πολυμερών, γνωστή ως ημιπερατότητα. Με την εφαρμογή μιας διαφοράς πίεσης κατά μήκος της μεμβράνης, το θαλασσινό νερό ωθείται να τη διαπεράσει. Η πίεση η οποία ασκείται πρέπει να υπερβαίνει την ωσμωτική πίεση έτσι ώστε το ρεύμα νερού να μπορεί να διαπεράσει την ημιπερατή μεμβράνη.



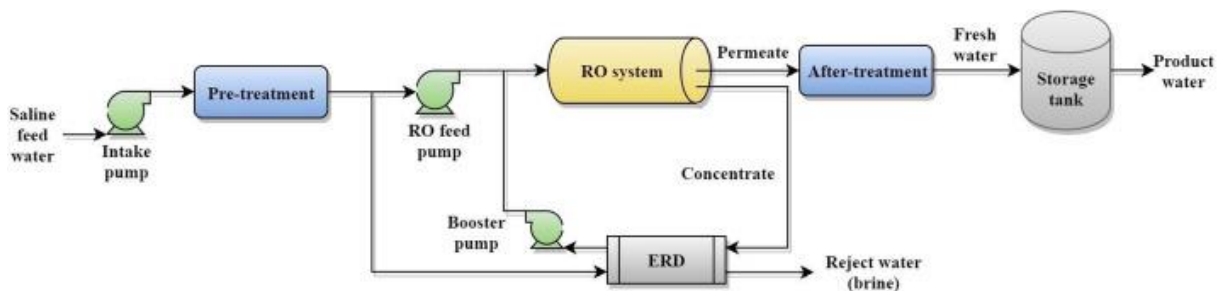
Εικόνα 2.2 Περιγραφή των φαινομένων της φυσικής και της αντίστροφης ώσμωσης (Kershner, 2023)

Η ημιπερατή μεμβράνη επιτρέπει τη διέλευση των μορίων νερού, ενώ συγκρατεί την πλειονότητα των διαλυμένων αλάτων (περίπου το 95% - 99%), βακτηρίων και οργανικών ουσιών. Οι μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης (RO) διατίθενται σε μεγέθη, τα οποία εξαρτώνται από τον ρυθμό παραγωγής νερού και την επιθυμητή ποσότητα νερού που θα χρησιμοποιηθεί ανά ώρα ή ανά ημέρα. Η ρύθμιση της πίεσης καθορίζεται από την περιεκτικότητα των αλάτων στο νερό. Στις εφαρμογές με θαλασσινό νερό, η απαραίτητη πίεση συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 60 έως 80 bar, ενώ στις εφαρμογές υφάλμυρου νερού στα επίπεδα των 15 bar (C. Fritzmann, 2006) (Puretec, 2023).



Εικόνα 2.3 Διαμόρφωση μεμβράνης μεθόδου RO (Βλυσίδης, 2021)

Η διεργασία της αντίστροφης ώσμωσης αποτελείται κυρίως από τρία στάδια: την πρό-κατεργασία, την λειτουργία της μονάδας RO και την μετά-κατεργασία. Στο πρώτο στάδιο το νερό υπόκειται σε φιλτράρισμα μέσω μηχανικής διήθησης για την απομάκρυνση μεγάλων σωματιδίων, όπως χώμα, ιζήματα, χλώριο, και οργανικές ενώσεις, τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν φθορά ή ζημιά στις μεμβράνες. Στο δεύτερο στάδιο, το νερό διοχετεύεται μέσω αντλίας υψηλής πίεσως, έτσι ώστε να υπερβεί την ωσμωτική πίεση, επιτρέποντας τη διέλευσή του μέσω της μεμβράνης. Έπειτα, το νερό περνά μέσα από την ημιπερατή μεμβράνη, η οποία επιτρέπει μόνο τη διέλευση του καθαρού νερού, ενώ συγκρατεί τα άλατα, τα βακτήρια και άλλες ακαθαρσίες. Το διαπερατό νερό (καθαρό νερό) συγκεντρώνεται και είναι έτοιμο για χρήση ενώ το συμπύκνωμα (υπολείμματα ακαθαρσιών) απορρίπτεται ή ανακυκλώνεται. Στο στάδιο αυτό εξαιτίας της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας χρησιμοποιείται το σύστημα ανάκτησης ενέργειας, το οποίο είναι αρμόδιο για τη μεταφορά της δυνητικής ενέργειας από το συμπύκνωμα στην τροφοδοσία. Στο τρίτο στάδιο, το νερό υπόκειται σε μεταλλικοποίηση, επανασκλήρυνση, απολύμανση και χλωρίωση ώστε να προσαρμοστεί στα πρότυπα πόσιμου νερού (C. Fritzmann, 2006).

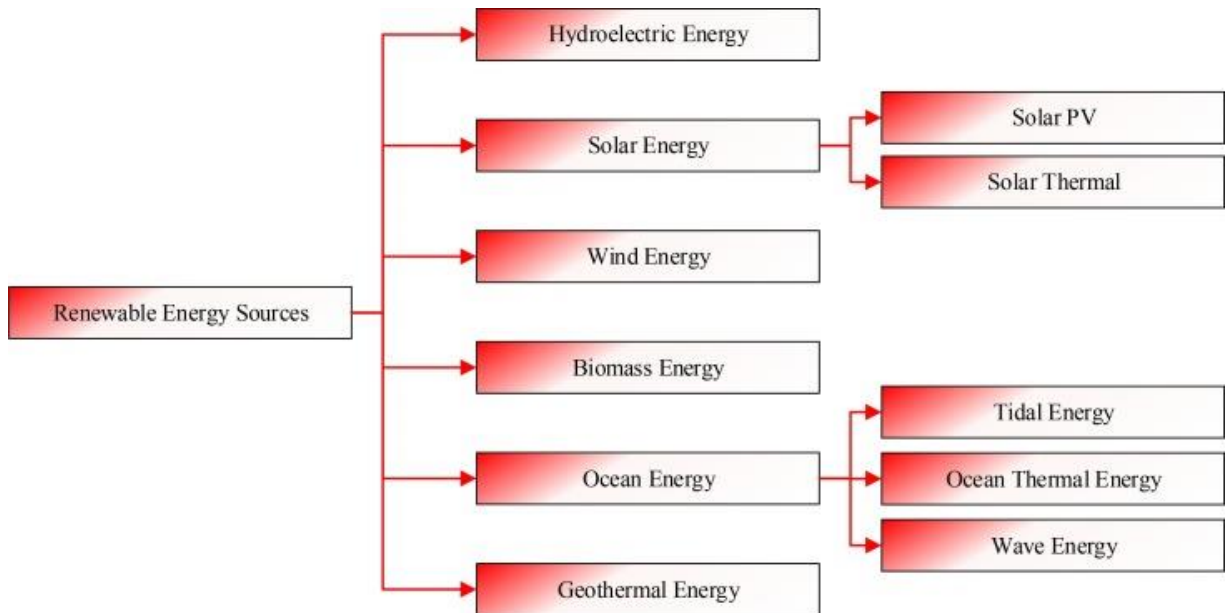


Εικόνα 2.4 Διαμόρφωση εγκατάστασης αντίστροφης ώσμωσης (Mohamed T. Mito, 2019)

Η τεχνολογία RO είναι δημοφιλής για την αποτελεσματική παραγωγή υψηλής ποιότητας νερού και την αξιόπιστη λειτουργία της, ωστόσο εμφανίζει υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις, παράγει εκπομπές CO₂ ανάλογες της πηγής ενεργειακής τροφοδοσίας, και αντιμετωπίζει προβλήματα όπως ρύπανση μεμβρανών και απόβλητα άλμης. Πρόσφατες εξελίξεις έχουν μειώσει το κόστος και την ενεργειακή κατανάλωση, ενώ η βελτίωση της αντοχής στη ρύπανση των μεμβρανών έχει επιτευχθεί μέσω λεπτότερων επιφανειών. Η τεχνολογία RO καταναλώνει το 71% της συνολικής ενέργειας αφαλάτωσης, αλλά η κατανάλωση ενέργειας έχει μειωθεί λόγω βελτιώσεων στη διαδικασία καθώς και λόγω ανάπτυξης νέων, πιο αποδοτικών μεμβρανών και συστημάτων ανάκτησης ενέργειας. Παράγοντες όπως η αλατότητα και η θερμοκρασία του νερού επηρεάζουν επίσης την κατανάλωση ενέργειας (Bourhan Tashtoush, 2023).

2.3 Αντίστροφη ώσμωση με χρήση ΑΠΕ

Μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες λύσεις για την αντιμετώπιση της έλλειψης νερού είναι η αφαλάτωση, η οποία παράγει την ιδανική ποιότητα νερού τόσο για τη βιομηχανία όσο και για οικιακούς σκοπούς. Η ραγδαία αύξηση της ζήτησης του αφαλατωμένου νερού έχει προκαλέσει διάφορα ζητήματα στη κατανάλωση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας. Για το λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια οι ανανεώσιμες πηγές έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον της επιστημονική κοινότητας. Η επιλογή της κατάλληλης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η γεωγραφική θέση, το μέγεθος της μονάδας, η ζήτηση σε νερό, η ποιότητα του νερού, η ύπαρξη ηλεκτρικού δικτύου, το κόστος λειτουργίας. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία συγκεντρώνονται σε πολλές χώρες, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι διασκορπισμένες σε όλο τον πλανήτη (Suhaib M. Alawad, 2023) (S. Rehman, 2018).



Εικόνα 2.5 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Suhaib M. Alawad, 2023)

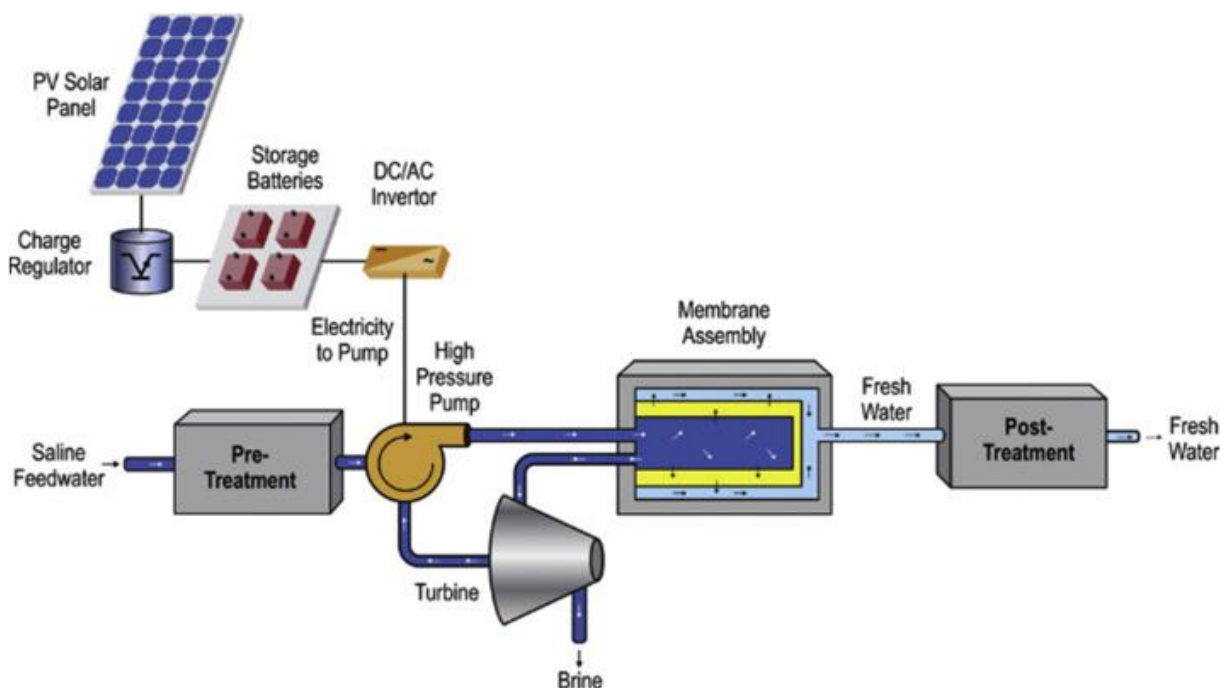
Οι ερευνητές προτείνουν ολοκληρωμένα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με αντίστροφη ώσμωση ως μια καλή εναλλακτική λύση. Από πολύ καιρό πριν, η RO τροφοδοτείται από φωτοβολταϊκά (Φ/Β), αιολικά και υβριδικά συστήματα (Φ/Β-Αιολικά) (Isnaeni Nurjanah, 2024) (Nnamdi Nwulu, 2021).

2.3.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ήλιο και αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για την αφαλάτωση του νερού. Μπορεί να αξιοποιηθεί μέσω δύο διαφορετικών τεχνολογιών (Isnaeni Nurjanah, 2024):

1. Ηλιακές θερμικές τεχνολογίες, οι οποίες μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα με ηλιακούς συλλέκτες ή τεχνολογίες συμπυκνωμένης ηλιακής ενέργειας (CSP). Χρησιμοποιείται κυρίως σε θερμικές μεθόδους αφαλάτωσης.
2. Φωτοβολταϊκά συστήματα (PV/CPV), τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.

Η φωτοβολταϊκή ενέργεια αποτελεί μία από τις πιο πολλά υποσχόμενες βιώσιμες λύσεις για περιοχές με έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Η τεχνολογία αυτή είναι φιλική προς το περιβάλλον, δεν παράγει θόρυβο ή εκπομπές ρύπων, και απαιτεί ελάχιστη συντήρηση, με διάρκεια παραγωγής ενέργειας για πολλά χρόνια. Ωστόσο, το μεγαλύτερο εμπόδιο παραμένει το υπολογίσιμο κόστος εγκατάστασης και η μεταβλητή διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας. Λόγω της της μεταβλητής παραγωγής, χρησιμοποιούνται και άλλες τεχνολογίες, όπως συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, για να περιορίσουν τις αρνητικές επιπτώσεις της εν λόγω ασυνέχειας. Τα συστήματα αφαλάτωσης με φωτοβολταϊκά περιλαμβάνουν φωτοβολταϊκές συστοιχίες, μπαταρίες, μετατροπείς και είτε θερμικές μεθόδους αφαλάτωσης, είτε τεχνικές αφαλάτωσης με μεμβράνη. Στα συστήματα φωτοβολταϊκών – αντίστροφης ώσμωσης (PV-RO), η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά τροφοδοτεί την αντλία υψηλής πίεσης, η οποία διοχετεύει το νερό στις μεμβράνες RO (Isnaeni Nurjanah, 2024).



Εικόνα 2.6 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος αφαλάτωσης PV-RO (Ewaoche John Okampo, 2021)

Τα περισσότερα έργα ηλιακής αφαλάτωσης είναι μικρής έως μεσαίας κλίμακας. Η μεγαλύτερη φωτοβολταϊκή μονάδα βρίσκεται στη Σαουδική Αραβία και συνδυάζει την ηλιακή ενέργεια με την αφαλάτωση αντίστροφης ώσμωσης. Το Al Khafji τέθηκε σε λειτουργία το 2017 και έχει δυνατότητα παραγωγής 60.000m³ πόσιμου νερού την ημέρα, με τη χρήση ηλιακών φωτοβολταϊκών πάνελ (Jameel, 2020).



Εικόνα 2.7 Εγκαταστάσεις Solar Desalination Plant Al Khafji (Savener, 2023)

Κεφάλαιο 3. Καταναλώσεις ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων στην Ελλάδα

3.1 Ξενοδοχειακός τομέας στην Ελλάδα

Ο τουρισμός στην Ελλάδα αποτελεί τον πιο σημαντικό τομέα της εθνικής οικονομίας. Με βάση τα στοιχεία του Ξενοδοχειακού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΞΕΕ), σήμερα λειτουργούν 10.047 ξενοδοχεία σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια, συνολικής δυναμικότητας 887.748 κλινών (ΞΕΕ, 2023). Αναφορικά με τη γεωγραφική κατανομή, το μεγαλύτερο ποσοστό διανυκτερεύσεων συναντάται στη περιφέρεια της Κρήτης με ποσοστό 28% επί του συνόλου και έπειτα ακολουθεί η περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου με ποσοστό 25%. (Πειραιάς, 2018)

Οι ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες με βάση διαφορετικά κριτήρια, όπως το επίπεδο των παροχών και υπηρεσιών που προσφέρουν, τον τύπο ιδιοκτησίας (εγχώρια ή ξένα συμφέροντα, αλυσίδες, όμιλοι κ.ά.), και την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται. Μία διαδεδομένη μέθοδος κατηγοριοποίησης ξενοδοχείων τα τελευταία χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο είναι η κατάταξη με βάση τα αστέρια. Η κλίμακα κυμαίνεται από 1 έως 5 αστέρια, λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τα χαρακτηριστικά της κατασκευής, αλλά και την ποικιλία των σύγχρονων υπηρεσιών που παρέχονται από το κάθε ξενοδοχείο, ώστε να αποδοθεί η αντίστοιχη βαθμολογία. Το ανώτατο όριο βαθμολογίας που μπορεί να συγκεντρώσει μία ξενοδοχειακή εγκατάσταση είναι 940. Τα ελάχιστα κριτήρια για κάθε κατηγορία αστερών είναι τα εξής:

- 1 Αστέρι: Ελάχιστος αριθμός κριτηρίων – 45.
- 2 Αστέρια: Ελάχιστος αριθμός κριτηρίων – 56.
- 3 Αστέρια: Ελάχιστος αριθμός κριτηρίων – 80.
- 4 Αστέρια: Ελάχιστος αριθμός κριτηρίων – 101.
- 5 Αστέρια: Ελάχιστος αριθμός κριτηρίων – 121.

Ο συνολικός αριθμός των κριτηρίων ανέρχεται σε 270. Μερικά ενδεικτικά παραδείγματα περιλαμβάνουν τον ανελκυστήρα, τον αριθμό των σουιτών, τη δυνατότητα πρωινού στο δωμάτιο, τη διαθεσιμότητα χώρου στάθμευσης και την παροχή υπηρεσιών περιποίησης.

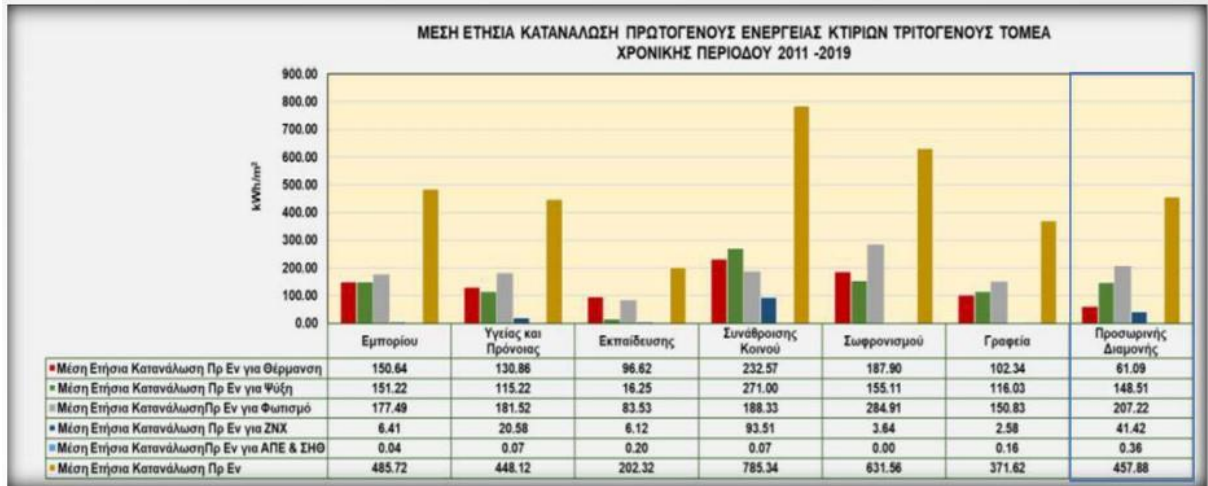
| Κατάταξη βάση αστεριών | Αριθμός ξενοδοχείων |
|------------------------|---------------------|
| 1 - αστέρι | 792 |
| 2 - αστέρια | 1846 |
| 3 - αστέρια | 2919 |
| 4 - αστέρια | 3313 |
| 5 - αστέρια | 1177 |

Πίνακας 3.1 Κατάταξη ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων στην Ελλάδα βάση αστεριών (ΞΕΕ, 2023)

Ένας ακόμη τρόπος διαχωρισμού των ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων είναι με βάση τη διάρκεια λειτουργίας τους. Υπάρχουν ξενοδοχεία τα οποία λειτουργούν όλο το χρόνο, κυρίως μεγάλες μονάδες σε αστικές περιοχές, και ξενοδοχεία περιορισμένης λειτουργίας, συνήθως παραθαλάσσια, τα οποία λειτουργούν μόνο κατά τη θερινή περίοδο.

3.2 Ενεργειακές καταναλώσεις ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων

Κατά την περίοδο 2011-2019, η ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στα ξενοδοχεία ήταν κατά μέσο όρο περίπου 460 kWh/m².



Διάγραμμα 3.1 Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (ΦΙΛΙΠΠΟΥ, 2021)

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας (45%) καταναλώνεται για ψύξη και θέρμανση, ενώ ακολουθεί η ενέργεια που χρησιμοποιείται στα μαγειρεία (30%) και στο ζεστό νερό (11%).



Διάγραμμα 3.2 Κατανομή ενέργειας (ΦΙΛΙΠΠΟΥ, 2021)

Τα μεγέθη αυτά μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή και την πληρότητα της εκάστοτε ξενοδοχειακής εγκατάστασης. Οι απαιτήσεις για ηλεκτρική ενέργεια καλύπτουν περίπου το 88% της συνολικής κατανάλωσης. (ΦΙΛΙΠΠΟΥ, 2021)



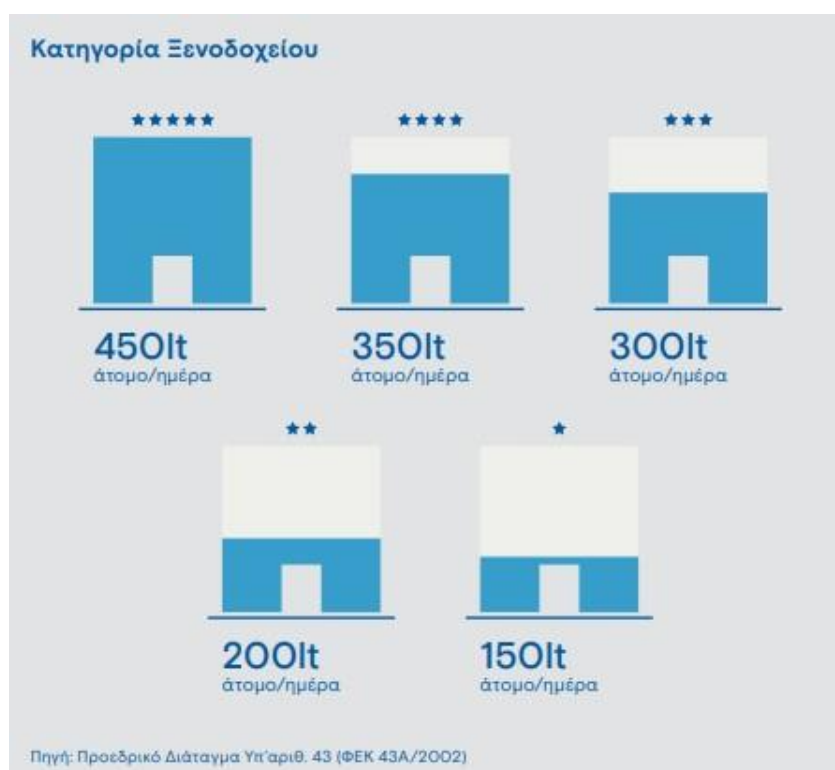
Διάγραμμα 3.3 Συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας (ΦΙΛΙΠΠΟΥ, 2021)

3.3 Καταναλώσεις νερού ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων

Τα τουριστικά καταλύματα καταναλώνουν σημαντικές ποσότητες νερού τόσο άμεσα όσο και έμμεσα μέσω των παρεχόμενων υπηρεσιών τους. Συγκεκριμένα, κατά μέσο όρο παγκοσμίως:

- Η άμεση κατανάλωση νερού ανά άτομο την ημέρα κυμαίνεται από 350 έως 450 λίτρα, αλλά σε ορισμένα καταλύματα μπορεί να ξεπεράσει και τα 1000 λίτρα. Αυτή περιλαμβάνει την κατανάλωση νερού για τα δωμάτια, τις πισίνες, τις κουζίνες, τους κήπους, κ.ά.
- Η έμμεση κατανάλωση, δηλαδή το νερό που απαιτείται για την παραγωγή ενέργειας και τροφίμων που καταναλώνονται στο κατάλυμα, είναι πολύ μεγαλύτερη, φτάνοντας τα 6.200 λίτρα ανά άτομο την ημέρα.

Σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα Υπ'αριθ. 43 (ΦΕΚ 43Α/2002 - Κατάταξη των κύριων ξενοδοχειακών καταλυμάτων σε κατηγορίες με σύστημα αστερών και τεχνικές προδιαγραφές αυτών), το εκάστοτε ξενοδοχειακό συγκρότημα, πρέπει να έχει τη δυνατότητα ελάχιστης παροχής νερού όλο το 24ωρο, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα 3.1.



Εικόνα 3.1 Ελάχιστη παροχή νερού ανά κατηγορία (GWP-Med, 2022)

Η άμεση κατανάλωση του νερού περιλαμβάνει τις ανάγκες σε νερό για τα δωμάτια, τους πράσινους χώρους, τις κουζίνες, τις πισίνες, τα πλυντήρια κ.λπ. Στο παρακάτω διάγραμμα 3.2 παρουσιάζονται οι ενδεικτικές καταναλώσεις νερού ανά τομέα σε ένα τουριστικό κατάλυμα. (GWP-Med, 2022)



Εικόνα 3.2 Ενδεικτική ανάλυση κατανάλωσης νερού ανά τομέα σε ένα τουριστικό κατάλυμα (GWP-Med, 2022)

Κεφάλαιο 4. Μελέτη Περίπτωσης (Το νησί της Ρόδου)

4.1 Διοικητικά - Δημογραφικά Στοιχεία

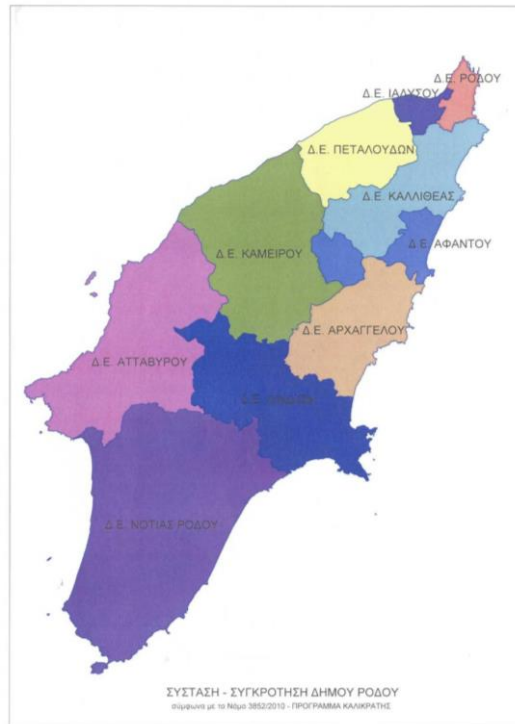
Η Ρόδος είναι ένα νησί το οποίο βρίσκεται στα νοτιοανατολικό Αιγαίο και ανήκει στα Δωδεκάνησα. Ο πληθυσμός του νησιού με βάση την απογραφή του 2022 ανέρχεται σε 124.851 κατοίκους, γεγονός που το καθιστά το τρίτο πολυπληθέστερο ελληνικό νησί.



Εικόνα 4.1 Γεωγραφική θέση νησιού (maps, 2024)

Ο δήμος Ρόδου ανήκει στην Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου και περιλαμβάνει το νησί της Ρόδου και τις γειτονικές νησίδες. Δημιουργήθηκε με το πρόγραμμα Καλλικράτης με συνένωση των δήμων Ροδίων, Αρχαγγέλου, Ατταβύρου, Αφάντου, Ιαλυσού, Καλλιθέας, Καμείρου, Λινδίων, Νότιας Ρόδου και Πεταλούδων. Ο δήμος Ρόδου αποτελείται από 10 δημοτικές κοινότητες:

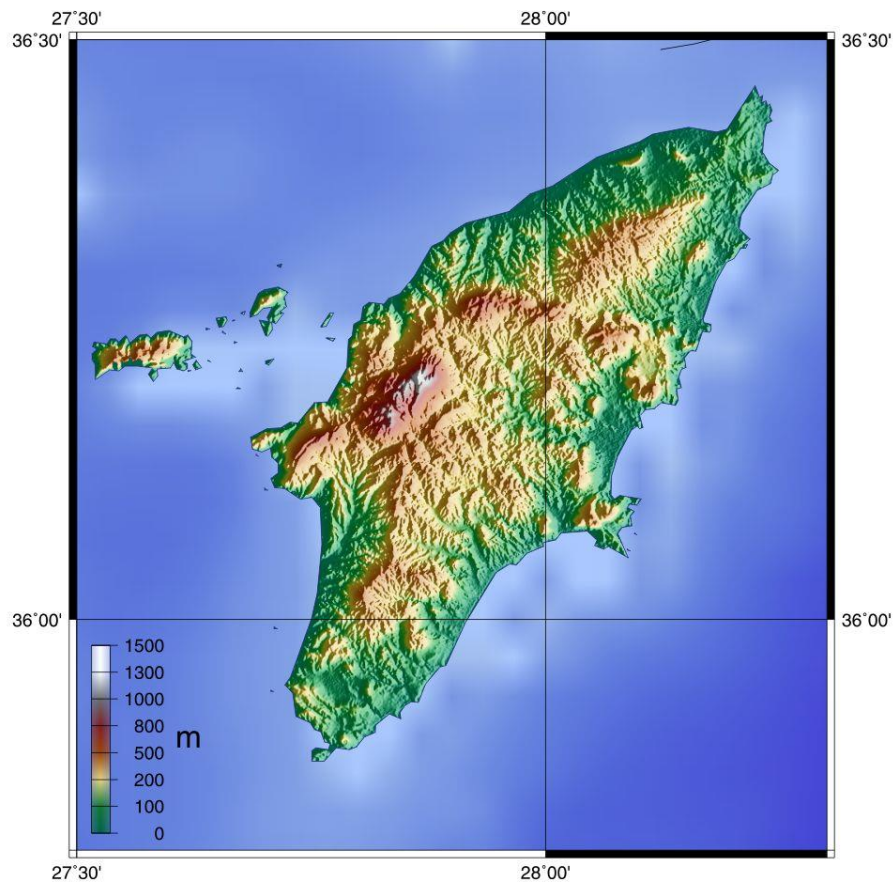
1. Δημοτική Ενότητα Ρόδου
2. Δημοτική Ενότητα Ατταβύρου
3. Δημοτική Ενότητα Ιαλυσού
4. Δημοτική Ενότητα Πεταλούδων
5. Δημοτική Ενότητα Καλλιθέας
6. Δημοτική Ενότητα Καμείρου
7. Δημοτική Ενότητα Αφάντου
8. Δημοτική Ενότητα Αρχαγγέλου
9. Δημοτική Ενότητα Λινδίων
10. Δημοτική Ενότητα Νότιας Ρόδου



Εικόνα 4.2 Διοικητική διαίρεση νήσου Ρόδου

4.2 Γεωμορφολογικά Στοιχεία

Η Ρόδος αποτελεί το μεγαλύτερο νησί των Δωδεκανήσων κατέχοντας έκταση 1.401 km². Το νησί της Ρόδου χαρακτηρίζεται από ημιορεινό – λοφώδες ανάγλυφο με ορεινές και ασβεστολιθικές, μάζες. Η υψηλότερη κορυφή βρίσκεται στη δημοτική κοινότητα Ατταβύρου με ύψος 1216 m, ενώ ακολουθούν τα όρη Αρταμύτης με 825 m, Προφήτης Ηλίας με 798 m, Αρχάγγελος με 512 m και Λίνδος με 458 m.



Εικόνα 4.3 Γεωμορφολογικός χάρτης

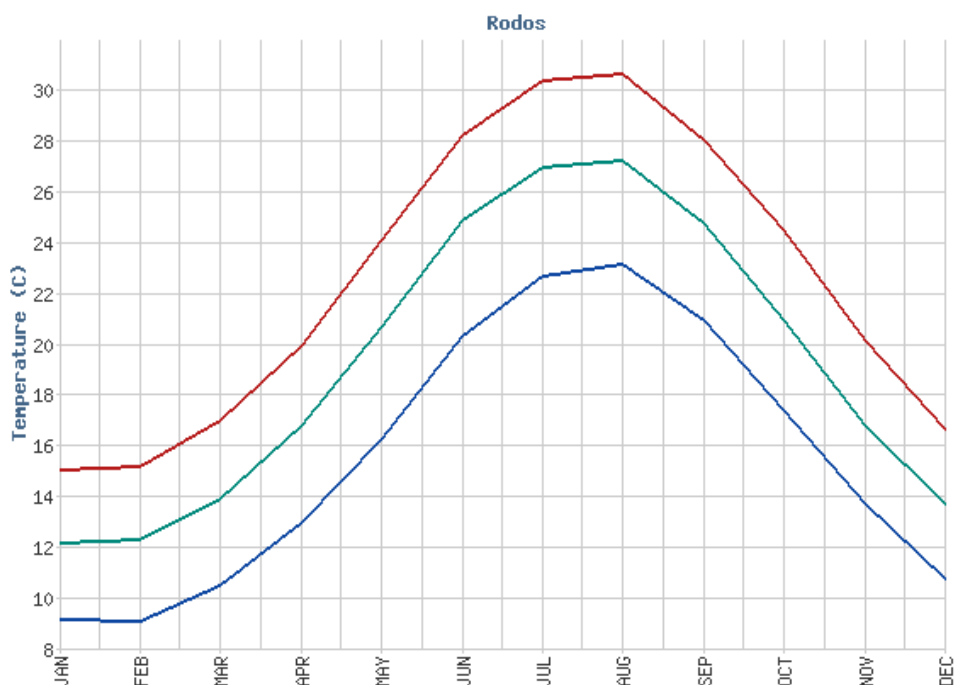
4.3 Κλιματικά χαρακτηριστικά

Το κλίμα της Ρόδου είναι μεσογειακό και συγκεκριμένα εύκρατο θαλάσσιο κλίμα που επικρατεί κυρίως στα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη. Χαρακτηρίζεται από ανοιξιάτικες και φθινοπωρινές βροχοπτώσεις και από μεγάλης διάρκειας ξηρά περίοδο.

Τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται έντονη ηλιοφάνεια ενώ τους χειμερινούς μήνες ήπια καιρικά φαινόμενα. Στην περιοχή μελέτης (δημοτική Ενότητα Λινδίων), το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι 712 mm, με το μέγιστο και το ελάχιστο ύψος να είναι αντίστοιχα 497,1 mm και 0,1 mm.

Η μέση μηνιαία θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κατά τη θερινή περίοδο παρατηρείται στους 25°C, με την μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία να καταγράφεται τον μήνα Ιούλιο και να είναι της τάξης των 29°C.

Το κλίμα στο νησί της Ρόδου επηρεάζεται από τη χερσαία μάζα της Μικράς Ασίας, από την περιβάλλουσα θαλάσσια μάζα και από την ημι-ορεινή γεωμορφολογία. Ο τύπος του κλίματος είναι τυπικό μεσογειακό με δύο αντίθετες περιόδους. Η ήπια ψυχρή και βροχερή περίοδος διαρκεί από τον Νοέμβριο μέχρι τον Μάρτιο, ενώ η θερμή και ξηρή περίοδος από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο. Χαρακτηριστικά της περιόδου αποτελούν οι βορειοδυτικοί και δυτικοί άνεμοι, όπου παρατηρείται χαμηλή υγρασία και μεγάλη ηλιοφάνεια. Στο διάγραμμα 4.1 παρουσιάζονται οι ελάχιστες, μέσες και μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες για το νησί της Ρόδου (EMY, 2024).



Διάγραμμα 4.1 Ελάχιστες, μέσες και μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες (EMY, 2024)

4.4 Υδάτινα αποθέματα

Στο νησί της Ρόδου υπάρχουν δύο φράγματα, το φράγμα του Γαδουρά που προορίζεται για υδρευτικούς σκοπούς και το φράγμα Απολακκιάς που χρησιμοποιείται μόνο για αρδευτικές ανάγκες. Συγκεκριμένα,

1. Φράγμα Γαδουρά, με χωρητικότητα $60,0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
2. Φράγμα Απολακκιάς, με χωρητικότητα $7,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$



Εικόνα 4.4 Φράγμα Γαδουρά (Ροδιακή, 2024)



Εικόνα 4.5 Φράγμα Απολακκιάς (Χατζηπέτρος, 2023)

4.5 Ξενοδοχειακή μονάδα

Η υπό εξέταση ξενοδοχειακή μονάδα είναι η TUI BLUE Lindos Bay, ανήκει στη δημοτική κοινότητα Λινδίων και απέχει περίπου 100 m από την παραλία του κόλπου Βλυγά. (Bay, 2024)



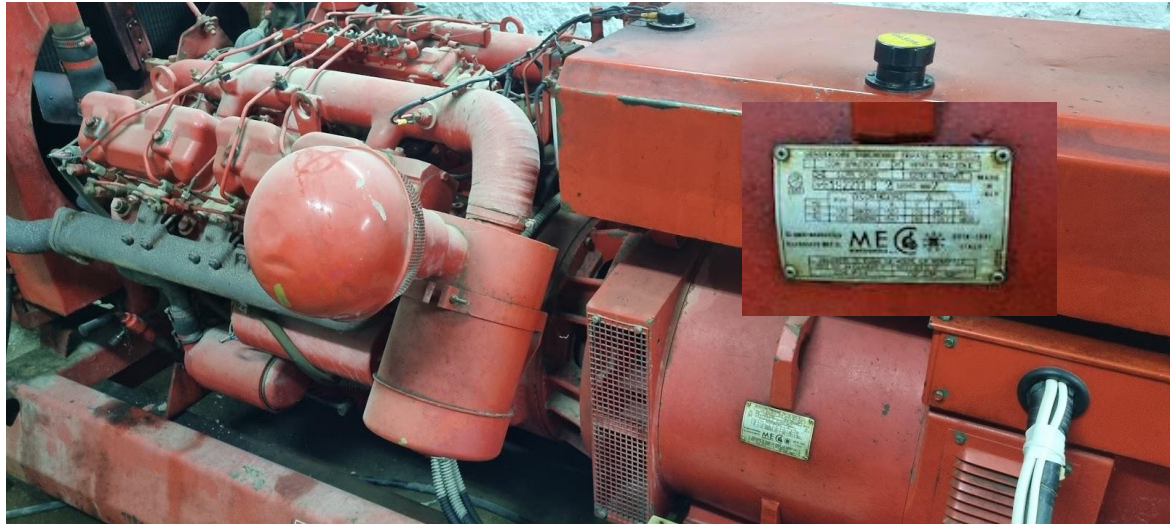
Εικόνα 4.6 Απόσταση μονάδας από τη παραλία Βλυγά (maps, 2024)

Το κατάλυμα ανήκει στη κατηγορία των 5-άστερων ξενοδοχειακών συγκροτημάτων και λειτουργεί κατά τους θερινούς μήνες, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Διαθέτει 205 δωμάτια και μπορεί να φιλοξενήσει έως και 410 επισκέπτες.



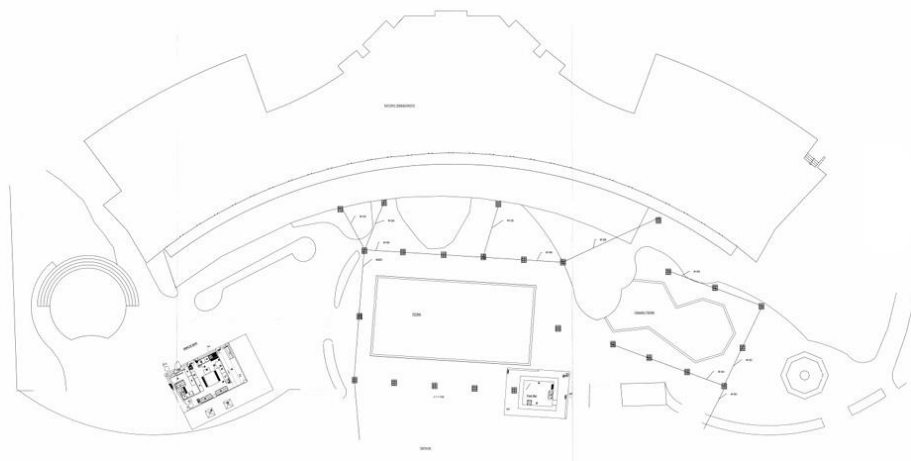
Εικόνα 4.7 Ξενοδοχειακή εγκατάσταση (Bay, 2024)

Η ξενοδοχειακή εγκατάσταση διαθέτει μία εφεδρική μονάδα παραγωγής ενέργειας (ηλεκτρογεννήτρια), η οποία τίθεται σε λειτουργία σε περίπτωση κάποιας ενδεχόμενης βλάβης στο δίκτυο ενέργειας του νησιού. Κατά τη λειτουργία της, τροφοδοτεί τις κύριες ηλεκτρικές συσκευές της εγκατάστασης (ψυγεία, ηλεκτρικούς φούρνους κ.λπ.), ενώ καλύπτει και ένα μέρος του φωτισμού τόσο σε διαδρόμους όσο και σε ορισμένους εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους (χώρος εστίασης, ρεσεψιόν, εξωτερικός χώρος εστίασης).

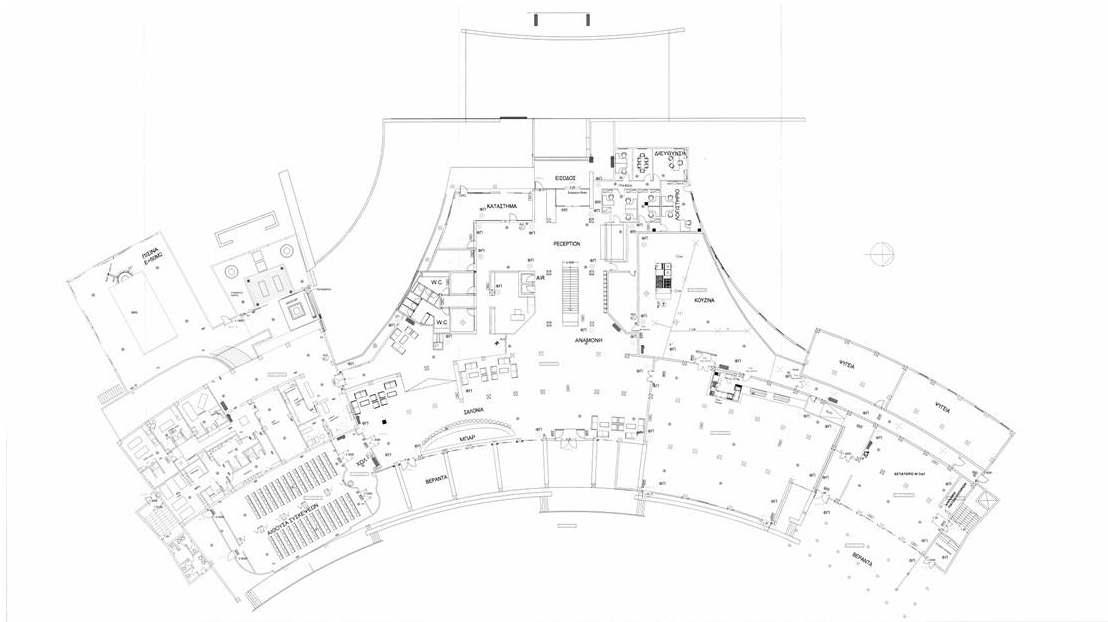


Εικόνα 4.8 Εφεδρική μονάδα παραγωγής ενέργειας

Η μονάδα παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρογεννήτρια) έχει ηλεκτρική ισχύ 100 kVA, παρέχει τη δυνατότητα συνδεσμολογίας αστέρα, με τριφασική έξοδο 380V και 152,1 A και μονοφασική έξοδο 220 V και 152,1 A και συνδεσμολογία σε τρίγωνο με μονοφασικό μόνο ρεύμα με 220 V και 262,7 A. Οι παραπάνω τιμές δίνονται όταν το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος λειτουργεί με 1500 rpm. Η ξενοδοχειακή μονάδα διαθέτει ένα ξεχωριστό χώρο στο κάτω μέρος της (υπόγειο) περίπου 22×12m² όπου είναι εγκατεστημένο το μηχανοστάσιο, το οποίο περιλαμβάνει όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό της μονάδας (σωληνώσεις τροφοδοσίας νερού, δεξαμενή αποθήκευσης νερού όγκου 120m³, την ηλεκτρογεννήτρια, το μηχανισμό πυρασφάλειας και όλες της ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις).



Εικόνα 4.9 Κάτοψη ξενοδοχειακής μονάδας (Bay, 2024)



Εικόνα 4.10 Κάτοψη ισογείου ξενοδοχειακής μονάδας (Bay, 2024)

Στο χώρο του μηχανοστασίου υπάρχει ένας μικρός ελεύθερος χώρος περίπου 20m^2 , ο οποίος χρησιμοποιείται για αποθηκευτικούς σκοπούς. Σε περίπτωση εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης είναι δυνατή η αξιοποίησή του. Επίσης, υπάρχει πέρα από το περιβάλλοντα χώρο της ξενοδοχειακής μονάδας ένας μικρός ελεύθερος χώρος εντός του οικήματος περίπου 5000m^2 , ο οποίος μπορεί να αξιοποιηθεί για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών για τη διαδικασία αφαλάτωσης.



Εικόνα 4.11 Κάτοψη ελεύθερου χώρου εντός οικήματος

Πέρα από το χώρο του οικοπέδου, υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης φωτοβολταϊκών και στο δώμα (105×24) m² της ξενοδοχειακής μονάδας. Εκτός από τους παραπάνω διαθέσιμους χώρους μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί ένα οικόπεδο σε κοντινή απόσταση από τη ξενοδοχειακή μονάδα περίπου 26.000 m².



Εικόνα 4.12 Κάτοψη ελεύθερου οικοπέδου

4.5.1 Καταναλώσεις ξενοδοχειακής εγκατάστασης

Οι μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις της ξενοδοχειακής εγκατάστασης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 4.5.1 για τα έτη 2019 – 2022.

| MONTHS | 2019 | | 2020 | | 2021 | | 2022 | |
|-----------|-----------|---------------------|-----------|------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|
| | Total kWh | ELECTRICITY COST(€) | Total kWh | ELECTRICITY COST | Total kWh | ELECTRICITY COST(€) | Total kWh | ELECTRICITY COST(€) |
| JANUARY | 9595,61 | 1.884,04 € | 9037,44 | 1.237,31 € | 8694,63 | 1.295,71 € | 0 | - € |
| FEBRUARY | 10258,71 | 1.538,34 € | 8700,3 | 1.168,32 € | 7884,78 | 1.074,15 € | 0 | - € |
| MARCH | 11158,08 | 575,27 € | 9665,55 | 1.332,44 € | 9343,02 | 1.209,13 € | 0 | - € |
| APRIL | 25155,99 | 4.013,82 € | 8178,87 | 1.086,06 € | 7700,7 | 1.083,29 € | 0 | - € |
| MAY | 184308,39 | 23.344,08 € | 8176,89 | 1.136,62 € | 10086,21 | 2.399,27 € | 186678 | 38.742,85 € |
| JUNE | 253771,17 | 31.848,01 € | 8247,3 | 1.166,98 € | 160106,55 | 22.491,01 € | 233696 | 56.470,50 € |
| JULY | 281598,33 | 35.560,67 € | 8742,96 | 1.271,79 € | 258527,46 | 34.070,71 € | 281931 | 85.148,00 € |
| AUGUST | 288408,33 | 36.008,50 € | 11474,76 | 1.607,96 € | 277847,61 | 37.612,20 € | 276106,42 | 63.439,66 € |
| SEPTEMBER | 240646,14 | 30.396,86 € | 10904,01 | 1.590,72 € | 217546,32 | 31.268,21 € | 234686,28 | 107.441,50 € |
| OCTOBER | 183142,05 | 24.744,17 € | 8971,02 | 1.130,74 € | 176575,59 | 25.174,85 € | 180294,63 | 70.067,85 € |
| NOVEMBER | 11738,79 | 1.487,71 € | 7336,44 | 936,21 € | 12966,39 | 5.653,23 € | 0 | - € |
| DECEMBER | 7597,61 | 1.008,14 € | 10066,5 | 1.313,04 € | 0 | 233,07 € | 0 | - € |
| ALL YEAR | 1507379,2 | 192.409,61 € | 109502,04 | 14.978,19 € | 1147279,3 | 163.564,83 € | 701765 | 421.310,36 € |

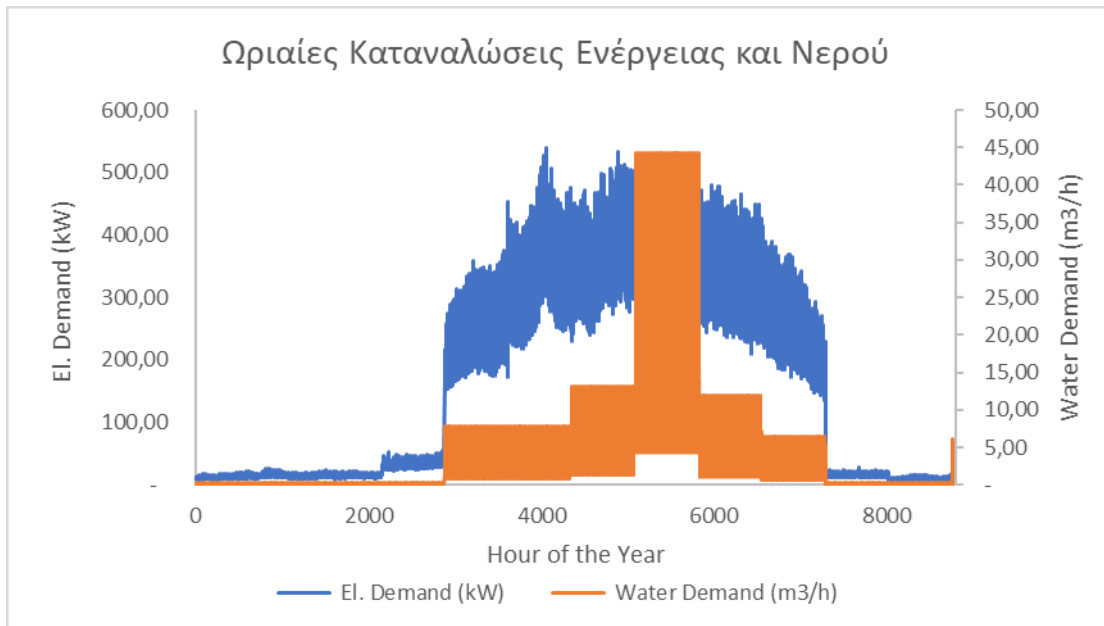
Πίνακας 4.1 Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις

Οι μηνιαίες καταναλώσεις νερού του ξενοδοχειακού συγκροτήματος παρουσιάζονται στο πίνακα 4.5.2 για τα έτη 2019, 2021, 2022.

| MONTHS | 2019 | | 2021 | | 2022 | |
|-----------|-------------------------|---------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| | Water (m ³) | COST(€) | Water (m ³) | COST(€) | Water (m ³) | COST(€) |
| JANUARY | 1 | 1,00 € | 1 | 1,00 € | 0 | - € |
| FEBRUARY | 1 | 1,00 € | 1 | 1,00 € | 0 | - € |
| MARCH | 1 | 1,00 € | 1 | 1,00 € | 0 | - € |
| APRIL | 1 | 1,00 € | 1 | 1,00 € | 0 | - € |
| MAY | 2970 | 1,00 € | 1 | 1,00 € | 2500 | 4.650,00 € |
| JUNE | 2880 | 1,00 € | 2800 | 2.041,44 € | 6707 | 14.778,00 € |
| JULY | 4977 | 1,00 € | 6022 | 5.022,48 € | 5929 | 12.575,00 € |
| AUGUST | 16745 | 1,00 € | 1259 | 1.021,56 € | 0 | - € |
| SEPTEMBER | 4338 | 1,00 € | 17279 | 14.478,36 € | 0 | - € |
| OCTOBER | 2428 | 1,00 € | 4884 | 4.066,56 € | 0 | - € |
| NOVEMBER | 1 | 1,00 € | 1 | 1,00 € | 0 | - € |
| DECEMBER | 1 | 1,00 € | 1 | 1,00 € | 0 | - € |
| ALL YEAR | 34338 | 12,00 € | 32244 | 26.637,40 € | 15136 | 32.003,00 € |

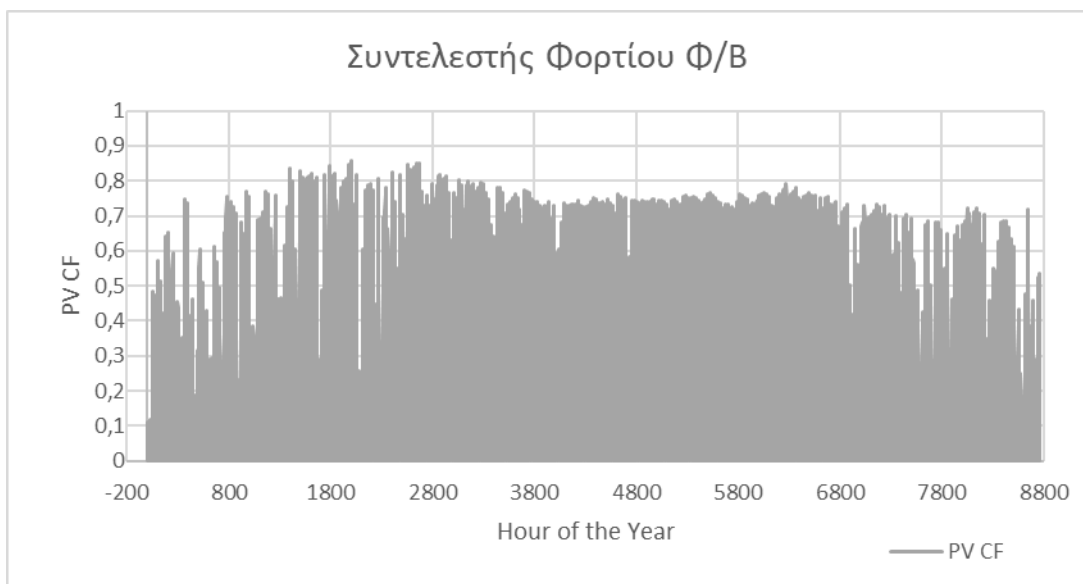
Πίνακας 4.2 Μηνιαίες καταναλώσεις νερού

Με βάση τις παραπάνω καταναλώσεις δημιουργούνται ωριαίες χρονοσειρές κατανάλωσης, υιοθετώντας τυπικά προφίλ καταναλώσεων σε επίπεδο νησιού, με το αποτέλεσμα της επεξεργασίας να οδηγεί στο διάγραμμα 4.2.



Διάγραμμα 4.2 Ωριαίες καταναλώσεις ενέργειας και νερού

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται η αυξημένη ζήτηση τόσο της ενέργειας όσο και του νερού κατά τους θερινούς μήνες. Στο διάγραμμα 4.3 παρουσιάζεται ο ωριαίος συντελεστής φορτίου της φωτοβολταϊκής παραγωγής για ένα έτος. Όπως διακρίνεται, και με βάση την επιλεγείσα γωνία κλίσης των 30° , παρουσιάζει ικανοποιητικές τιμές καθόλη τη διάρκεια του έτους.



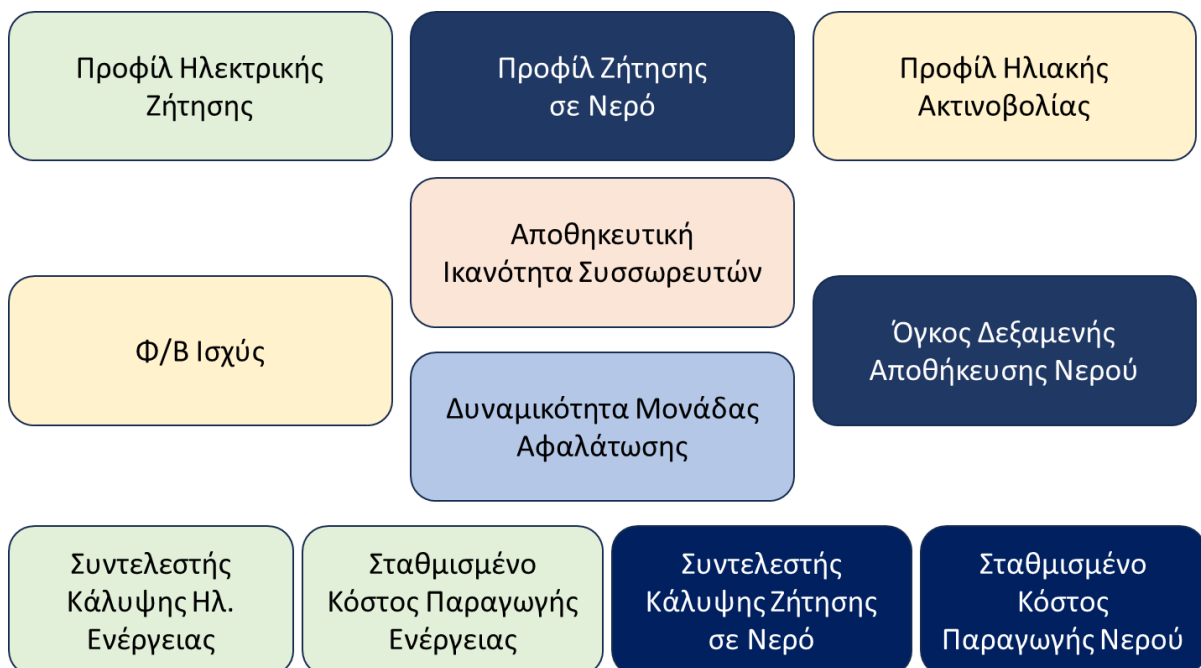
Διάγραμμα 4.3 Συντελεστής φορτίου φωτοβολταϊκής παραγωγής

Κεφάλαιο 5. Μεθοδολογική Προσέγγιση

5.1 Υπολογιστικό πλαίσιο

Για την επίλυση του υπό εξέταση προβλήματος διαμορφώθηκε ολοκληρωμένο υπολογιστικό πλαίσιο για τη διαστασιολόγηση συνδυασμένων συστημάτων Φ/Β-Συσσωρευτών-Αφαλάτωσης. Στο ακόλουθο μπλοκ διάγραμμα παρατίθενται αφενός τα βασικά δεδομένα εισόδου, τα οποία περιλαμβάνουν τα προφίλ ηλεκτρικής ζήτησης, της ζήτησης σε νερό, και της ηλιακής ακτινοβολίας, αφετέρου οι βασικές μεταβλητές του προβλήματος οι οποίες αναφέρονται στην εγκατεστημένη Φ/Β ισχύ, την αποθηκευτική χωρητικότητα των συσσωρευτών, και τέλος, το διαθέσιμο όγκο για την αποθήκευση του αφαλατωμένου νερού, οδηγώντας ταυτόχρονα στον ενδιάμεσο υπολογισμό της απαιτούμενης δυναμικότητας της μονάδας αφαλάτωσης.

Ολοκληρώνοντας την περιγραφή του μπλοκ διαγράμματος, η αξιολόγηση έκαστης λύσης πραγματοποιείται μέσω απολογιστικών δεικτών ενεργειακού και οικονομικού χαρακτήρα, οι οποίοι απαντούν στους ετήσιους συντελεστές κάλυψης της ζήτησης σε ενέργεια και νερό, και, στο σταθμισμένο (μακροχρόνιο) κόστος παραγωγής ενέργειας και νερού. Στο πλαίσιο αυτό, το πρόβλημα διαμορφώνεται ως πρόβλημα παραμετρικής ανάλυσης / βελτιστοποίησης, έχοντας ως στόχο τόσο την αξιολόγηση τάσεων αναφορικά με την μεταβολή των βασικών παραμέτρων του προβλήματος εντός προβλεπόμενου εύρους, όσο και την ανάδειξη βέλτιστων λύσεων υπό την εφαρμογή συγκεκριμένης αντικειμενικής συνάρτησης και δέσμης σχετικών περιορισμών.



Διάγραμμα 5.1 Υπολογιστικό πλαίσιο διαστασιολόγησης συστήματος Φ/Β-Αφαλάτωση

5.2 Μεθοδολογικά βήματα

Αναλυτικότερα, τα μεθοδολογικά βήματα τα οποία ακολουθούνται για την επίλυση του προβλήματος ισοζυγίου ενέργειας και νερού συνοψίζονται στα εξής:

- Υπολογισμός Φ/Β παραγωγής σε ωριαία βάση για ένα ολόκληρο έτος, αξιοποιώντας τις τιμές ηλιακής ακτινοβολίας και τη διαθέσιμη Φ/Β ισχύ υπό εξέταση.
- Σύγκριση Φ/Β παραγωγής και φορτίου ηλεκτρικής ζήτησης για τον υπολογισμό πλεονασμάτων και ελλειμμάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε ωριαία βάση.
- Αξιοποίηση πλεονασμάτων ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση μονάδας αποθήκευσης με συσσωρευτές προκαθορισμένης αποθηκευτικής ικανότητας, λαμβάνοντας επίσης υπόψη τις απώλειες του κλάδου φόρτισης καθώς και τα όρια λειτουργίας των συσσωρευτών (ελάχιστη – μέγιστη στάθμη φόρτισης).
- Αντιμετώπιση ελλειμμάτων ηλεκτρικής ενέργειας μέσω εκφόρτισης της μονάδας αποθήκευσης με συσσωρευτές προκαθορισμένης αποθηκευτικής ικανότητας, λαμβάνοντας επίσης υπόψη τις απώλειες του κλάδου εκφόρτισης καθώς και τα όρια λειτουργίας των συσσωρευτών (ελάχιστη – μέγιστη στάθμη φόρτισης).
- Υπολογισμός δευτερογενών πλεονασμάτων ηλεκτρικής ενέργειας, κατόπιν του κύκλου φόρτισης των συσσωρευτών, διαθέσιμα για την τροφοδότηση μονάδας αφαλάτωσης, υπό την παραδοχή σταθερού ειδικού συντελεστή κατανάλωσης $\sim 5\text{kWh}_e/\text{m}^3$.
- Σύγκριση παραγωγής αφαλατωμένου νερού και ζήτησης σε νερό για τον υπολογισμό πλεονασμάτων και ελλειμμάτων νερού σε ωριαία βάση.
- Αξιοποίηση πλεονασμάτων παραγωγής νερού για την πλήρωση της δεξαμενής νερού, προκαθορισμένου αποθηκευτικού όγκου, μη λαμβάνοντας υπόψη περιορισμούς αναφορικά με τον μέγιστο χρόνο παραμονής του αφαλατωμένου νερού εντός δεξαμενής για λόγους αποφυγής της υποβάθμισης της ποιότητας του τελευταίου.
- Αντιμετώπιση ελλειμμάτων σε νερό μέσω αξιοποίησης των αποθεμάτων νερού εντός της δεξαμενής προκαθορισμένου αποθηκευτικού όγκου.
- Υπολογισμός δευτερογενών ελλειμμάτων ηλεκτρικής ενέργειας, κατόπιν του κύκλου εκφόρτισης των συσσωρευτών, τα οποία δύνανται να ικανοποιηθούν μέσω του τοπικού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.
- Υπολογισμός δευτερογενών ελλειμμάτων σε νερό, κατόπιν της αξιοποίησης των διαθέσιμων αποθεμάτων εντός της δεξαμενής νερού, τα οποία δύνανται να ικανοποιηθούν μέσω του τοπικού δικτύου υδροδότησης.
- Υπολογισμός των συντελεστών κάλυψης της ζήτησης σε ενέργεια και νερό σε ετήσια βάση, μέσω της αξιοποίησης του συνδυασμένου συστήματος Φ/Β–Συσσωρευτών–Αφαλάτωσης.
- Υπολογισμός του σταθμισμένου κόστους παραγωγής ενέργειας και νερού σε ετήσια βάση, μέσω της αξιοποίησης του συνδυασμένου συστήματος Φ/Β–Συσσωρευτών–Αφαλάτωσης.

5.3 Απολογιστικοί Δείκτες Αξιολόγησης & Οικονομικά Μεγέθη

Για την αξιολόγηση διαφορετικών λύσεων Φ/Β-Συσσωρευτών-Αφαλάτωσης ορίζονται οι ακόλουθοι δείκτες αξιολόγησης:

- Ετήσιος συντελεστής κάλυψης ηλεκτρικής ζήτησης (%):

$\Sigma.K.E. = \frac{E_{pv} + E_{bat}}{E_{el}}$, όπου E_{pv} η απευθείας απορροφούμενη από την ηλεκτρική κατανάλωση Φ/Β παραγωγή, E_{bat} η αντίστοιχη συμβολή της μονάδας συσσωρευτών και E_{el} η συνολική ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση.

- Ετήσιος συντελεστής κάλυψης ζήτησης σε νερό (%):

$\Sigma.K.N. = \frac{V_{des} + V_{wt}}{V_w}$, όπου V_{des} η απευθείας απορροφούμενη από την κατανάλωση παραγωγή αφαλατωμένου νερού, V_{wt} η αντίστοιχη συμβολή της δεξαμενής νερού και V_w η συνολική ετήσια κατανάλωση σε νερό.

- Σταθμισμένο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (€/MWh):

$LCOE = \frac{I_{tot-el} + \sum_{t=1}^n \frac{M_{el-t} + E_{g-t}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_{el}}{(1+r)^t}}$, όπου I_{tot-el} το συνολικό κόστος επένδυσης αναφορικά

με τις ενεργειακές συνιστώσες-υποδομές (Φ/Β εγκατάσταση, μονάδα συσσωρευτών, περιφερειακά συστήματα), M_{el-t} και E_{g-t} το ετήσιο κόστος συντήρησης και προμήθειας ενέργειας από το δίκτυο, E_{el} η συνολική κατανάλωση ενέργειας και r το επιτόκιο αναγωγής.

- Σταθμισμένο κόστος παραγωγής νερού (€/m³):

$LCOW = \frac{I_{tot-w} + \sum_{t=1}^n \frac{M_{w-t} + W_{g-t}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{V_w}{(1+r)^t}}$, όπου I_{tot-w} το συνολικό κόστος επένδυσης αναφορικά

με τις συνιστώσες-υποδομές αφαλάτωσης και νερού (μονάδα αφαλάτωσης, δεξαμενή νερού, περιφερειακά συστήματα), M_{w-t} και W_{g-t} το ετήσιο κόστος συντήρησης και προμήθειας νερού από το δίκτυο, V_w η συνολική κατανάλωση νερού και r το επιτόκιο αναγωγής.

Στο πλαίσιο αυτό, και για τον υπολογισμό του κόστους επένδυσης αλλά και του σταθμισμένου κόστους παραγωγής του ολοκληρωμένου συστήματος Φ/Β-Συσσωρευτών-Αφαλάτωσης λαμβάνονται υπόψη οι συντελεστές κόστους του ακόλουθου πίνακα:

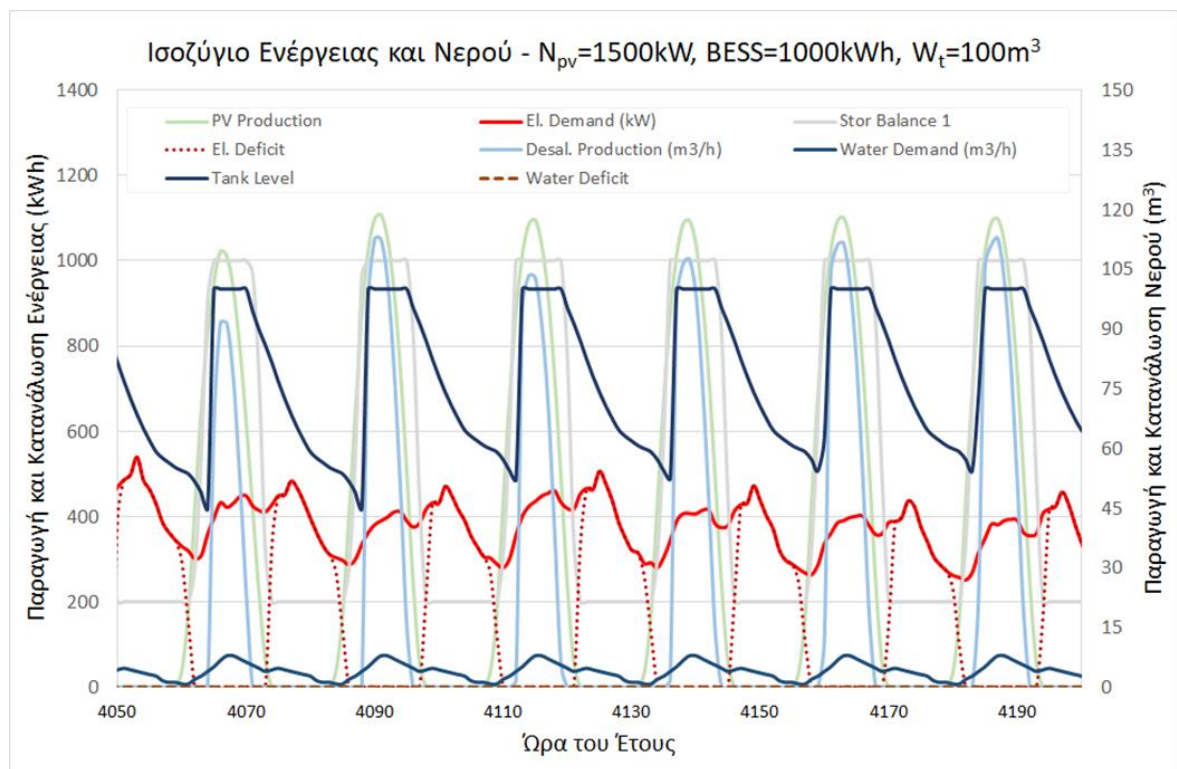
| Συντελεστής | Μονάδες | Επιλεγθείσα Τιμή |
|---|---------------------|------------------|
| Ειδικό κόστος Φ/Β c_{pv} | €/kW | 750.00 |
| Ειδικό κόστος αφαλάτωσης c_{des} | €/m ³ /d | 500.00 |
| Ειδικό κόστος συσσωρευτών c_{ess} | €/kWh | 500.00 |
| Κόστος περιφερειακών συστημάτων c_{bos} | % κόστους επένδυσης | 10.00 |
| Κόστος ενέργειας δικτύου c_{el} | €/MWh | 200.00 |
| Κόστος νερού δικτύου c_w | €/m ³ | 2.00 |
| Ειδικό κόστος δεξαμενής νερού c_{wt} | €/m ³ | 100.00 |
| Ετήσιος συντελεστής συντήρησης m | % κόστους επένδυσης | 3.00 |
| Επιτόκιο αναγωγής r | % | 5.00 |
| Ορίζοντας επένδυσης n | έτη | 20.00 |

Πίνακας 5.1 Θεωρούμενοι συντελεστές κόστους – οικονομικής αξιολόγησης

Κεφάλαιο 6. Αποτελέσματα προσομοίωσης της λειτουργίας του συστήματος

6.1 Ισοζύγιο ενέργειας και νερού

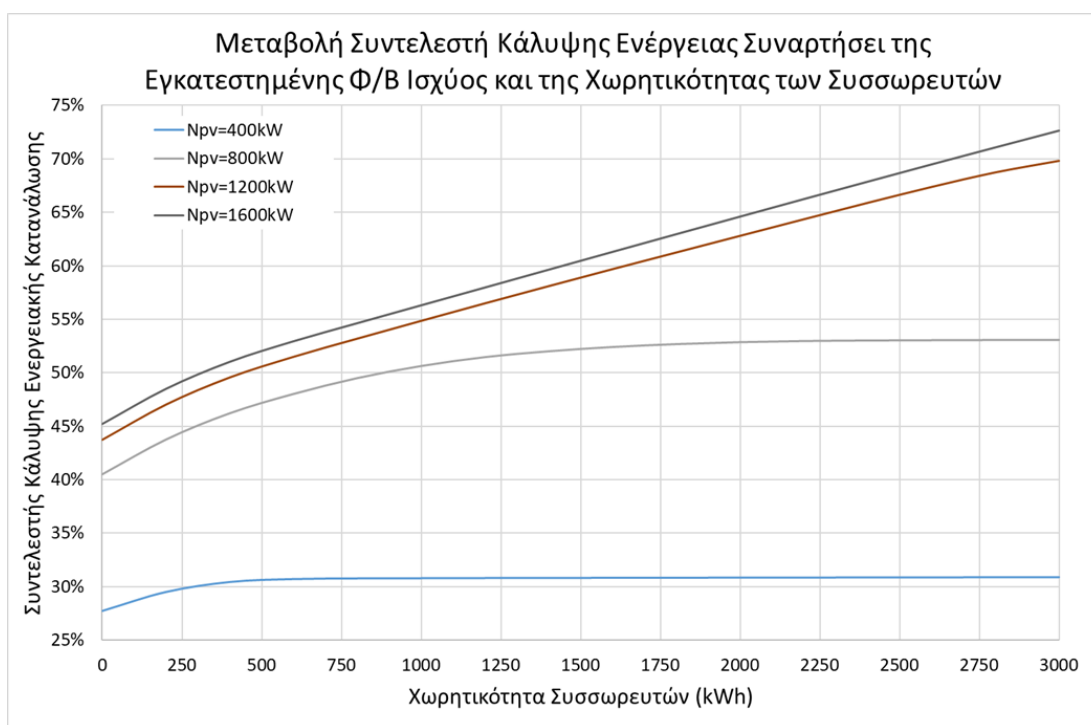
Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται διαδοχικά η φωτοβολταϊκή παραγωγή, η οποία ανά 24ώρο σχεδόν επαναλαμβάνεται σε διάστημα περίπου μιας εβδομάδας, η ηλεκτρική κατανάλωση, η στάθμη της αποθήκευσης των συσσωρευτών, οι οποίοι φορτίζουν κατά τη διάρκεια περιόδων ηλιοφάνειας και εκ φορτίζουν, δίνοντας ένα διάστημα κάλυψης φορτίου εκτός της φωτοβολταϊκής παραγωγής. Στη συνέχεια καταγράφονται τα ελλείματα που δεν καλύφθηκαν από τη φωτοβολταϊκή παραγωγή και τα αποθέματα ενέργειας των συσσωρευτών, τα οποία και λαμβάνονται από το δίκτυο. Έπειτα, παρουσιάζεται η παραγωγή της αφαλάτωσης, η οποία συμπίπτει χρονικά με τη φωτοβολταϊκή παραγωγή, η ζήτηση του νερού, η οποία αναφέρεται στο άξονα Παραγωγή και Κατανάλωση νερού, το επίπεδο δεξαμενής νερού, το οποίο ακολουθεί ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο και τέλος το αντίστοιχο έλλειμμα νερού το οποίο είναι μηδενικό. Από το διάγραμμα παρατηρείται επίσης ότι σε συνθήκες χαμηλού όγκου δεξαμενής, το νερό δεν παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσα στη δεξαμενή και ανανεώνεται σχετικά γρήγορα, καθιστώντας τις δεξαμενές μικρότερου όγκου καταλληλότερες για χρήση.



Διάγραμμα 6.1 Ισοζύγιο ενέργειας και νερού

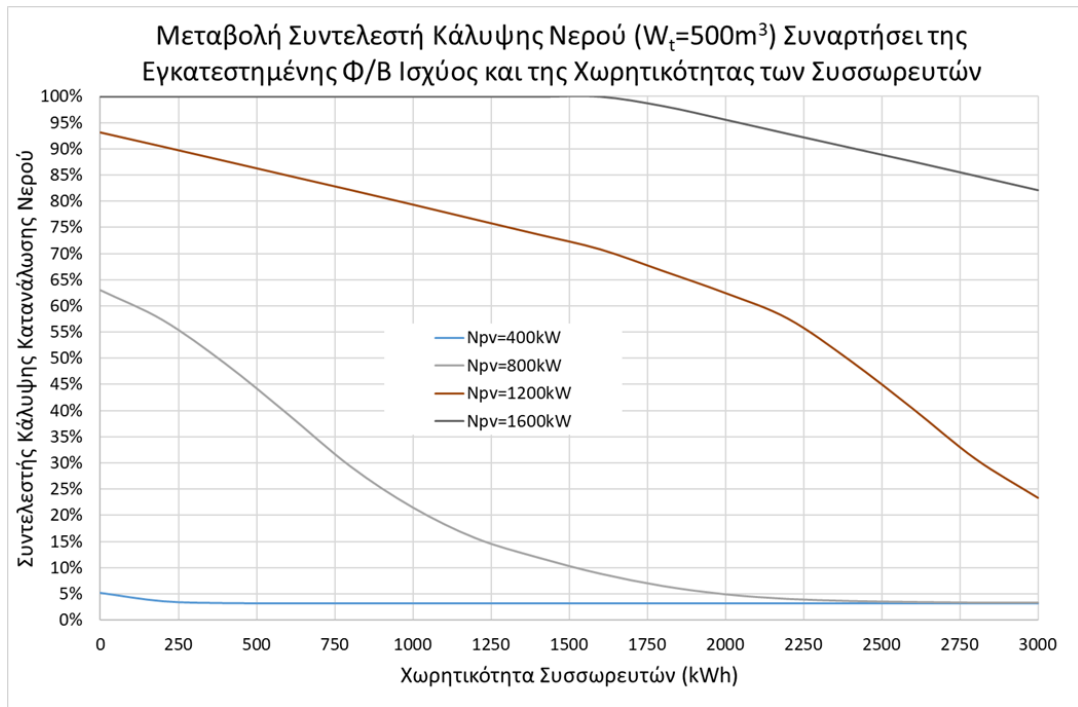
6.2 Συντελεστές κάλυψης ενέργειας και νερού

Στο διάγραμμα 6.2 απεικονίζεται η μεταβολή της αποθήκευσης των συσσωρευτών από 0 – 3000 kWh για τέσσερις διαφορετικές τιμές εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος. Όπως διακρίνεται, όσο αυξάνεται η εγκατεστημένη ισχύς αυξάνεται αντίστοιχα και ο συντελεστής κάλυψης της ενεργειακής κατανάλωσης, φτάνοντας τα όρια σχεδόν του 75%. Επίσης παρατηρείται η μεγάλη απόκλιση μεταξύ των 400 και 800 kW εγκατεστημένης ισχύος, ενώ όσο αυξάνεται η φωτοβολταϊκή ισχύς, συρρικνώνεται το όφελος του συντελεστή κάλυψης της ενεργειακής κατανάλωσης.



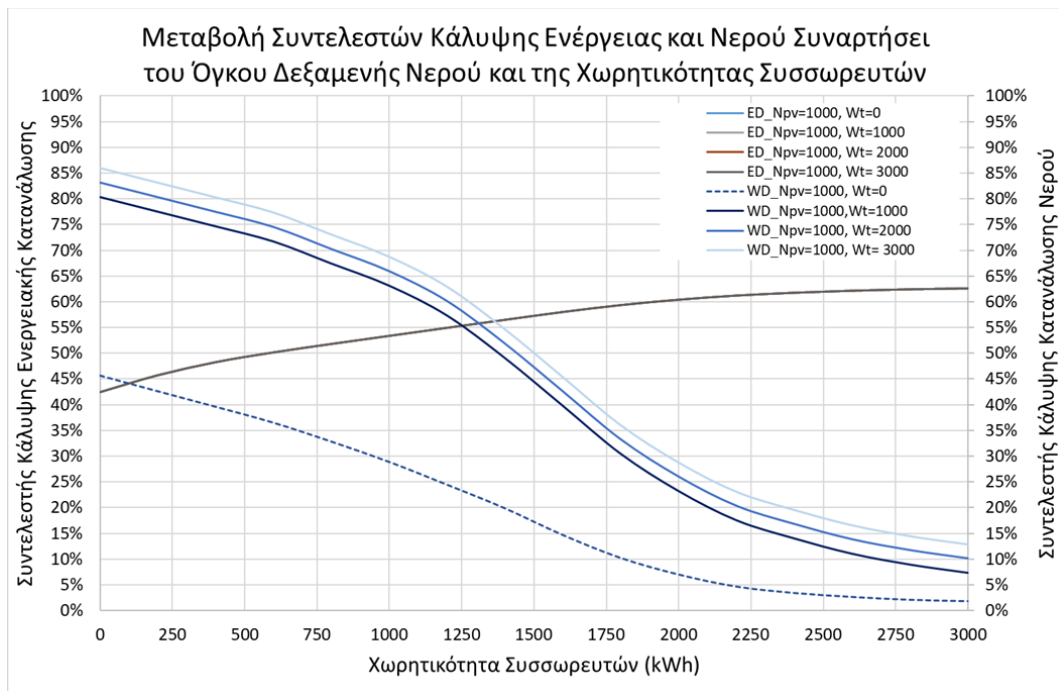
Διάγραμμα 6.2 Μεταβολή συντελεστή κάλυψης ενέργειας συναρτήσει της εγκατεστημένης φ/β ισχύος και της χωρητικότητας των συσσωρευτών

Στο διάγραμμα 6.3 παρουσιάζεται ο συντελεστής κάλυψης νερού συναρτήσει της χωρητικότητας των συσσωρευτών από 0 – 3000 kWh για τέσσερις διαφορετικές τιμές εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος. Στα 400 kW εγκατεστημένης ισχύος ο συντελεστής κάλυψης περιορίζεται στο 5%, λαμβάνοντας το υπόλοιπο 95% από το δίκτυο. Στα 800 kW, για μηδενική χωρητικότητα συσσωρευτή, ο συντελεστής κάλυψης ανέρχεται στο 65%, ενώ αυξάνοντας τη χωρητικότητα η καμπύλη ακολουθεί φθίνουσα πορεία, καθώς απορροφά ενέργεια πρώτα ο συσσωρευτής και έπειτα η αφαλάτωση. Το ίδιο παρατηρείται και στα 1200 kW, όπου για μηδενική χωρητικότητα συσσωρευτή ο συντελεστής κάλυψης ανέρχεται περίπου στο 95%. Την ίδια στιγμή, αυξάνοντας τη χωρητικότητα του συσσωρευτή μειώνεται το ποσοστό του συντελεστή κάλυψης. Τέλος, στα 1600 kW, έως ένα συγκεκριμένο όριο χωρητικότητας συσσωρευτή παρατηρείται πλήρης κάλυψη της κατανάλωσης νερού και στη συνέχεια συναντάται μία σταδιακή μείωση.



Διάγραμμα 6.3 Μεταβολή συντελεστή κάλυψης νερού συναρτήσει της εγκατεστημένης φ/β ισχύος και της χωρητικότητας των συσσωρευτών

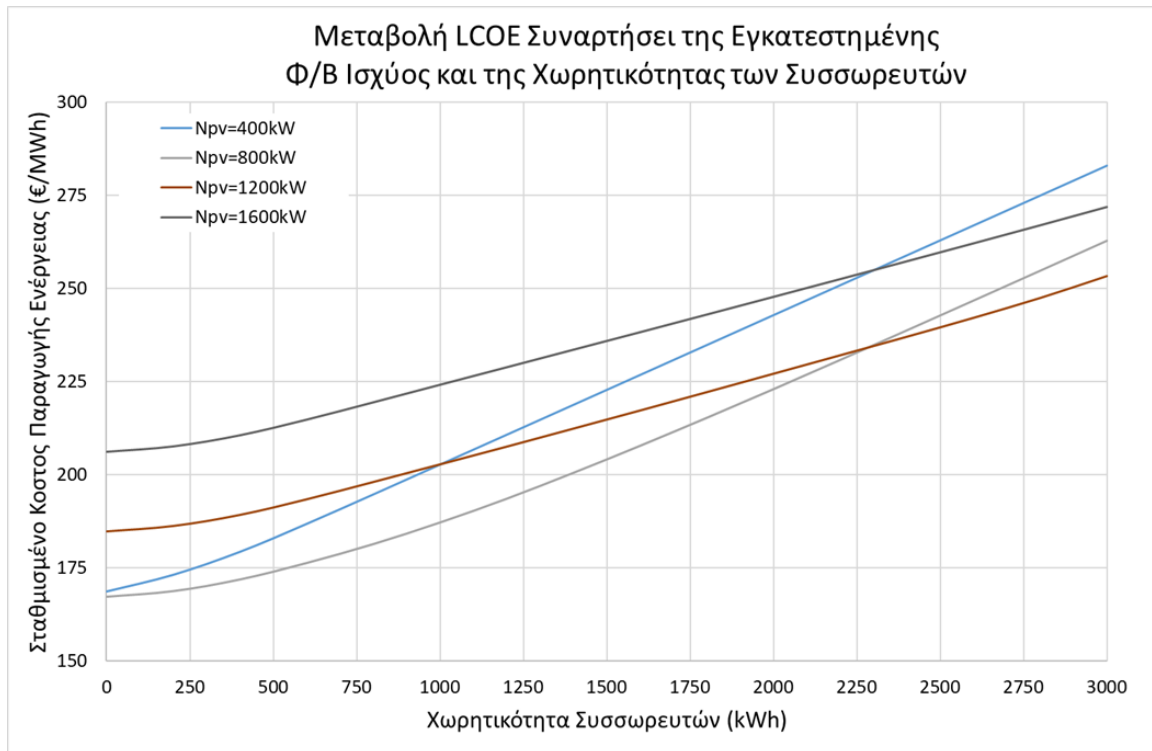
Στο διάγραμμα 6.4 απεικονίζεται η επίδραση της δεξαμενής νερού για 0, 1000, 2000, 3000m³. Ο συντελεστής κάλυψης της ενεργειακής κατανάλωσης είναι, όπως αναμενόταν, ταυτόσημος για όλες τις τιμές όγκου δεξαμενής, ενώ ο συντελεστής κάλυψης του νερού παρουσιάζει φθίνουσα συμπεριφορά με την αύξηση της χωρητικότητας των συσσωρευτών.



Διάγραμμα 6.4 Μεταβολή συντελεστών κάλυψης ενέργειας και νερού συναρτήσει του όγκου δεξαμενής νερού και της χωρητικότητας των συσσωρευτών

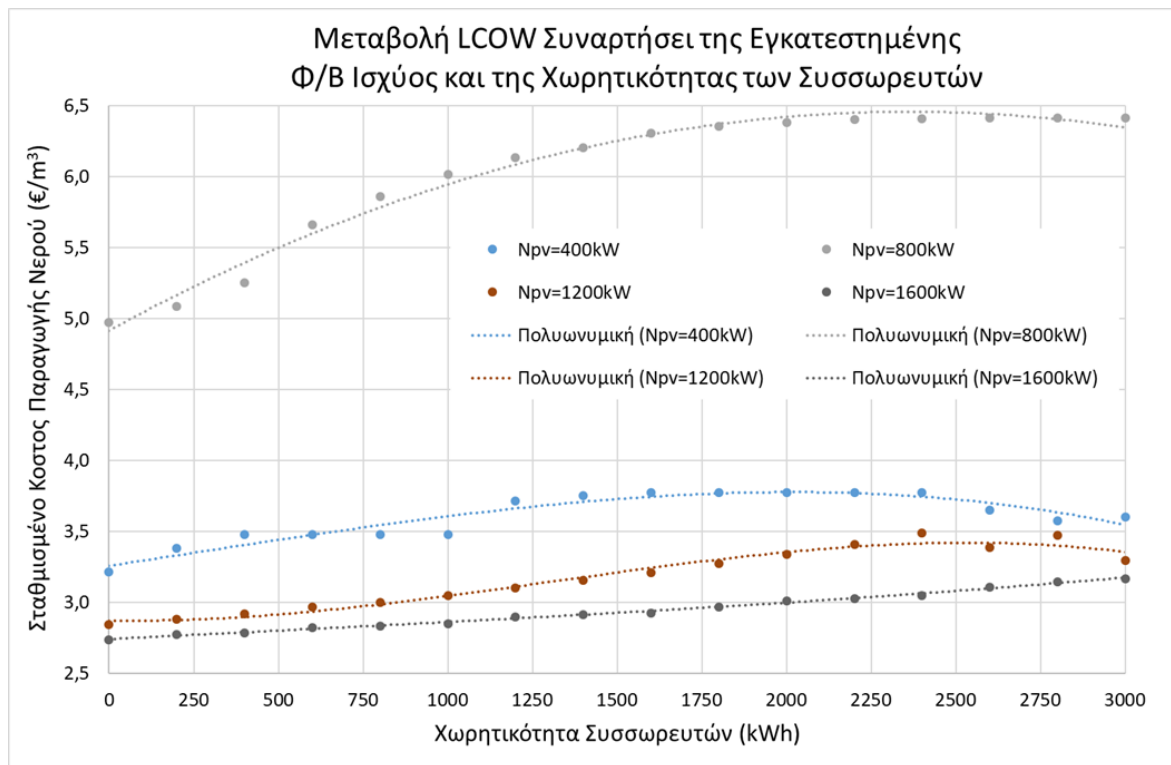
6.3 Σταθμισμένο κόστος παραγωγής ενέργειας και νερού

Στο διάγραμμα 6.5 απεικονίζεται η μεταβολή της αποθήκευσης των συσσωρευτών από 0 – 3000 kWh για τέσσερις διαφορετικές τιμές εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος συναρτήσει του κόστους παραγωγής ενέργειας. Όπως διακρίνεται, μετά από ένα όριο χωρητικότητας συσσωρευτή το σταθμισμένο κόστος παραγωγής ενέργειας αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό.



Διάγραμμα 6.5 Μεταβολή LCOE συναρτήσει της εγκατεστημένης φ/β ισχύος και της χωρητικότητας των συσσωρευτών

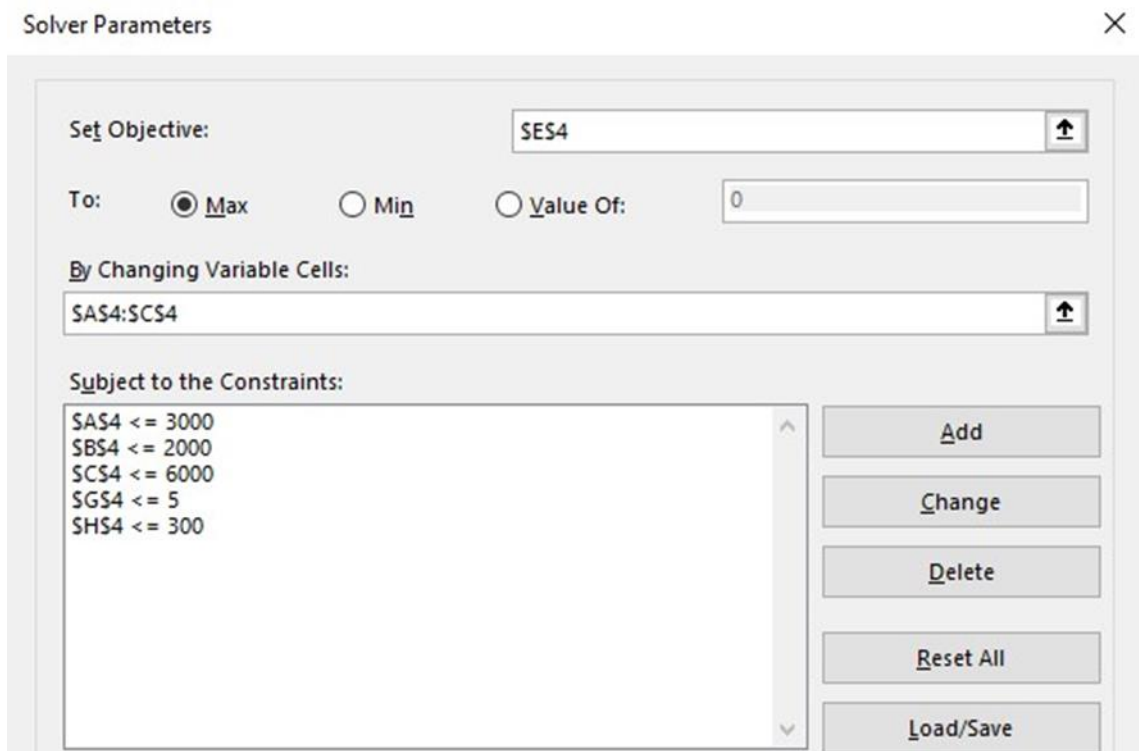
Στο διάγραμμα 6.6 παρουσιάζεται το σταθμισμένο κόστος παραγωγής νερού για τέσσερις διαφορετικές τιμές εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος. Το ακριβότερο κόστος παραγωγής συναντάται στα 800 kW εγκατεστημένης ισχύος, το οποίο ανέρχεται περίπου στα 6,5 €/m³ ενώ το οικονομικότερο κόστος συναντάται στα 1600 kW, σχεδόν στα 3 €/m³.



Διάγραμμα 6.6 Μεταβολή LCOW συναρτήσει της εγκατεστημένης φ/β ισχύος και της χωρητικότητας των συσσωρευτών

6.4 Βέλτιστοι Συνδυασμοί

Για την ανάδειξη βέλτιστων συνδυασμών, ως αντικειμενική συνάρτηση τίθεται ο συντελεστής κάλυψης ενεργειακής κατανάλωσης και ως ζητούμενο η μεγιστοποίηση αυτού υπό την εφαρμογή δέσμης περιορισμών. Οι περιορισμοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην επίλυση είναι η εγκαταστημένη Φ/Β ισχύς να είναι μικρότερη των 3000 kW, ο όγκος της δεξαμενής μικρότερος από 2000m³, η χωρητικότητα του συσσωρευτή μικρότερη από 6000kWh, η αρχική επένδυση μικρότερη από 5 Μ€ και το κόστος ενέργειας μικρότερο από 175 – 300 με αναπροσαρμογή του περιορισμού με βήμα μεταβολής 25 €/MWh στο ανώτερο διάστημα.



Εικόνα 6.1 Μεταβολή Περιορισμού Η4, από <=300 €/MWh έως <=175 €/MWh ανά 25 €/MWh

| 1 | | | | | | | | | |
|----------------|------------------|------------------|------------|------|------|---------------|-------------------|-------------|---------------|
| Npv(kW)<= 6000 | Wtank (m3)<=2000 | Batt (kWh)<=6000 | Des (m3/d) | ΣΚ-Ε | ΣΚ-Ω | Itot (M€)<= 5 | LCOE (€/MWh)<=175 | LCOW (€/m3) | LCOE (c€/kWh) |
| 848,1050864 | 1143,45112 | 331,1333404 | 1834,0824 | 46% | 62% | 2,01633496 | 172,2560192 | 4,341046663 | 17,22560192 |
| 2 | | | | | | | | | |
| Npv(kW)<= 6000 | Wtank (m3)<=2000 | Batt (kWh)<=6000 | Des (m3/d) | ΣΚ-Ε | ΣΚ-Ω | Itot (M€)<= 5 | LCOE (€/MWh)<=200 | LCOW (€/m3) | LCOE (c€/kWh) |
| 1261,776896 | 1502,638176 | 632,9288815 | 2752,826 | 52% | 92% | 3,0684213 | 197,389658 | 5,461939988 | 19,7389658 |
| 3 | | | | | | | | | |
| Npv(kW)<= 6000 | Wtank (m3)<=2000 | Batt (kWh)<=6000 | Des (m3/d) | ΣΚ-Ε | ΣΚ-Ω | Itot (M€)<= 5 | LCOE (€/MWh)<=225 | LCOW (€/m3) | LCOE (c€/kWh) |
| 1292,415809 | 969,1706659 | 1722,367522 | 2778,9096 | 61% | 77% | 3,64855425 | 224,84952 | 5,61073022 | 22,484952 |
| 4 | | | | | | | | | |
| Npv(kW)<= 6000 | Wtank (m3)<=2000 | Batt (kWh)<=6000 | Des (m3/d) | ΣΚ-Ε | ΣΚ-Ω | Itot (M€)<= 5 | LCOE (€/MWh)<=250 | LCOW (€/m3) | LCOE (c€/kWh) |
| 1227,875263 | 1107,682859 | 2486,880944 | 2677,5322 | 67% | 54% | 3,97526943 | 240,6235787 | 5,952314937 | 24,06235787 |
| 5 | | | | | | | | | |
| Npv(kW)<= 6000 | Wtank (m3)<=2000 | Batt (kWh)<=6000 | Des (m3/d) | ΣΚ-Ε | ΣΚ-Ω | Itot (M€)<= 5 | LCOE (€/MWh)<=275 | LCOW (€/m3) | LCOE (c€/kWh) |
| 1351,021871 | 1349,784994 | 3543,218296 | 3010,5651 | 75% | 37% | 4,86765024 | 273,2249803 | 6,960261063 | 27,32249803 |
| 6 | | | | | | | | | |
| Npv(kW)<= 6000 | Wtank (m3)<=2000 | Batt (kWh)<=6000 | Des (m3/d) | ΣΚ-Ε | ΣΚ-Ω | Itot (M€)<= 5 | LCOE (€/MWh)<=300 | LCOW (€/m3) | LCOE (c€/kWh) |
| 1436,41548 | 711,508341 | 4134,897359 | 2581,242 | 80% | 30% | 4,95718536 | 292,8137071 | 6,12968196 | 29,28137071 |

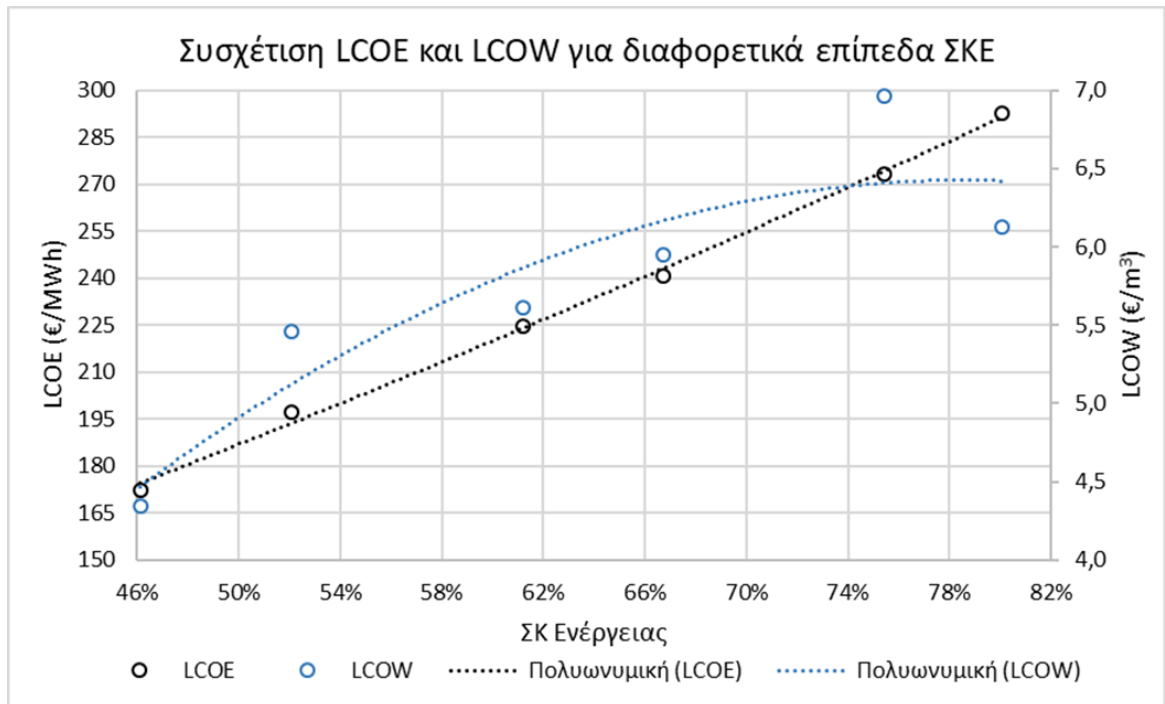
Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα επίλυσης για την ανάδειξη βέλτιστων λύσεων.

Στο διάγραμμα 6.7 απεικονίζεται η συσχέτιση των συντελεστών κάλυψης ενέργειας και νερού για τη δεξαμενή βέλτιστων λύσεων του πίνακα 6.1. Όπως παρατηρείται επιτυγχάνεται ένα μέγιστο ποσοστό συντελεστή κάλυψης νερού περίπου 90% στο αντίστοιχο διάστημα 50% - 54% του συντελεστή κάλυψης ενέργειας και έπειτα όσο αυξάνεται η δυναμικότητα του συσσωρευτή επιτυγχάνεται μεγαλύτερη κάλυψη ενέργειας και μικρή μείωση του συντελεστή κάλυψης του νερού.



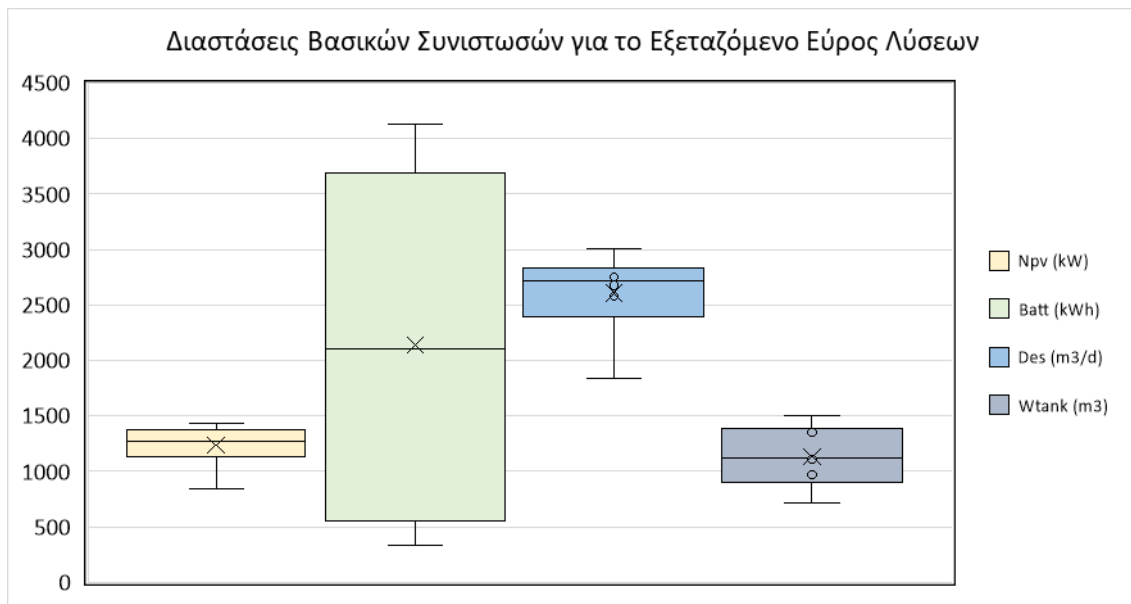
Διάγραμμα 6.7 Συσχέτιση των συντελεστών κάλυψης ενέργειας και νερού

Αντίστοιχα, στο διάγραμμα 6.8 παρουσιάζονται τα κόστη ενέργειας και νερού συναρτήσει του συντελεστή κάλυψης ενέργειας. Στο κόστος ενέργειας διακρίνεται γραμμική αύξηση, δεδομένου του ότι όσο αυξάνεται ο συντελεστής κάλυψης ενέργειας αυξάνεται και το κόστος ενέργειας. Το κόστος νερού συμπεριφέρεται ανάλογα με το κόστος ενέργειας, με τη μόνη διαφορά ότι βαίνει σχεδόν ασυμπτωτικά μετά από ένα συγκεκριμένο ποσοστό. Ειδικότερα, για ποσοστά συντελεστή κάλυψης της ενέργειας από 45% έως 80% το κόστος ενέργειας κυμαίνεται από 165-285 €/MWh, ενώ το κόστος νερού από 4-7 €/m³.



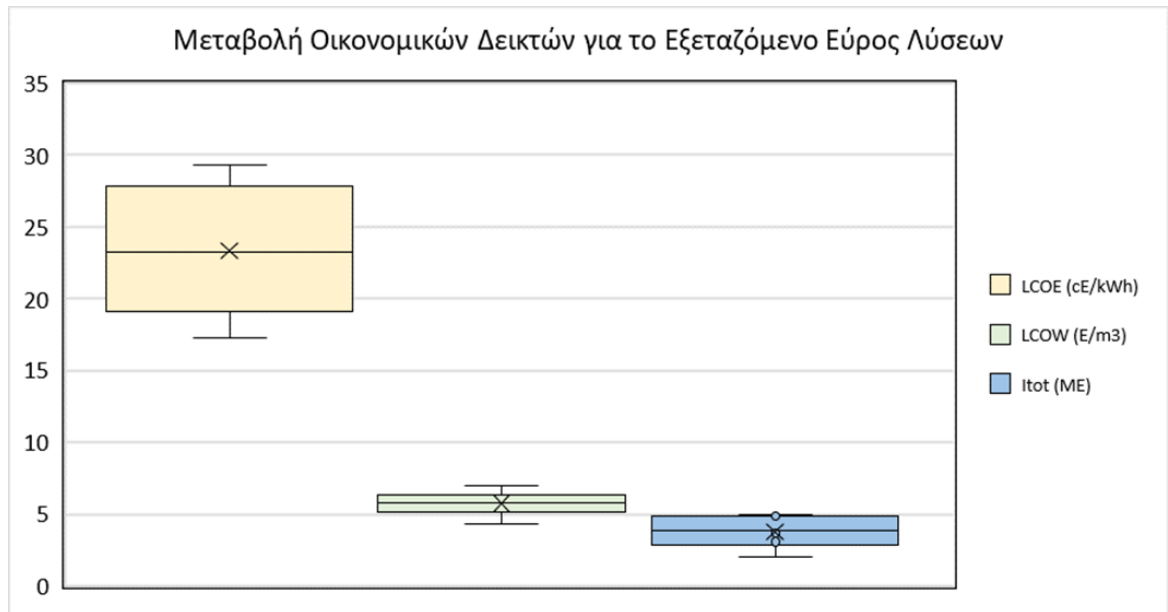
Διάγραμμα 6.8 Συσχέτιση LCOE και LCOW για διαφορετικά επίπεδα συντελεστή κάλυψης ενέργειας

Στο διάγραμμα 6.9 απεικονίζεται το αντίστοιχο εύρος λύσεων του πίνακα 6.1, με μεταβολή της εγκατεστημένης Φ/Β ισχύος από 848 - 1436 kW, του συσσωρευτή από 331 - 4135 kWh, της αφαλάτωσης από 1834 - 3011 m³/d και τέλος του όγκου της δεξαμενής από 711 - 1503 m³.



Διάγραμμα 6.9 Διαστάσεις βασικών συνιστωσών για το εξεταζόμενο εύρος λύσεων

Τέλος, στο διάγραμμα 6.10 παρουσιάζεται το εύρος των λύσεων για τα κόστη ενέργειας, από 17 - 29 c€/kWh, τα κόστη νερού, από 4 - 7 €/m³, και τέλος το κόστος αρχικής επένδυσης από 2 - 5 Μ€.



Διάγραμμα 6.10 Μεταβολή οικονομικών δεικτών για το εξεταζόμενο εύρος λύσεων

Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα

Παρά την αφθονία νερού στη Γη, μόνο ένα μικρό ποσοστό είναι πόσιμο, γεγονός που δημιουργεί σοβαρά προβλήματα, τόσο σε αναπτυσσόμενες όσο και σε ανεπτυγμένες χώρες. Η κακή διαχείριση, η λειψυδρία, η ρύπανση και η κλιματική αλλαγή επιδεινώνουν την κατάσταση.

Στην Ελλάδα, η άνιση κατανομή υδάτινων πόρων και η αυξημένη ζήτηση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, σε συνδυασμό με την τουριστική δραστηριότητα, εντείνουν το πρόβλημα της έλλειψης υδάτινων αποθεμάτων.

Ο τουρισμός στην Ελλάδα αποτελεί τον πιο κρίσιμο τομέα της εθνικής οικονομίας, με χιλιάδες ξενοδοχειακές μονάδες σε όλη τη χώρα. Ωστόσο, οι ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας και σημαντικές ποσότητες νερού, ιδιαίτερα σε νησιά που αποτελούν δημοφιλείς τουριστικούς προορισμούς, όπως στην περίπτωση της Ρόδου.

Η Ρόδος αποτελεί το τρίτο πολυπληθέστερο ελληνικό νησί και το τέταρτο σε έκταση, με 1.401 km². Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ο πληθυσμός του νησιού μπορεί και να πενταπλασιασθεί, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι ενεργειακές ανάγκες και η ζήτηση πόσιμου νερού. Το νησί διαθέτει περίπου 600 ξενοδοχειακές μονάδες, υπογραμμίζοντας την επιτακτική ανάγκη για βιώσιμες λύσεις και ορθολογική διαχείριση της ζήτησης σε ενέργεια και νερό.

Για την επίλυση του εν λόγω προβλήματος διαμορφώνεται ένα ολοκληρωμένο υπολογιστικό πλαίσιο για τη διαστασιολόγηση ενός συνδυασμένου συστήματος φωτοβολταϊκών (Φ/Β), συσσωρευτών και αφαλάτωσης, με σκοπό την κάλυψη των ενεργειακών και υδάτινων αναγκών ξενοδοχειακών μονάδων. Το πλαίσιο αυτό λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως η ζήτηση σε ενέργεια και νερό, η ηλιακή ακτινοβολία, και άλλα, με στόχο την επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου και του ισοζυγίου σε νερό. Επιπρόσθετα, δίνεται έμφαση στη βέλτιστη χρήση της παραγόμενης ενέργειας, με αξιολόγηση πλήθους λύσεων μέσω δεικτών ενεργειακής και οικονομικής απόδοσης, με στόχο την αποδοτική και βιώσιμη διαχείριση πόρων.

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν αναφορικά με την ξενοδοχειακή μονάδα η οποία μελετήθηκε, όσο αυξάνεται η εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύς, αυξάνεται και ο συντελεστής κάλυψης της ενεργειακής κατανάλωσης, αλλά το όφελος μειώνεται πέρα από ένα σημείο, ενώ η μεγάλη χωρητικότητα συσσωρευτών μπορεί να μην αποφέρει σημαντικά επιπλέον οφέλη. Σε μεγαλύτερες τιμές εγκατεστημένης ισχύος (π.χ. 1600 kW), παρατηρείται πλήρης κάλυψη της ζήτησης νερού, ενώ σε χαμηλότερες υπάρχει ανάγκη εισαγωγών από το τοπικό δίκτυο. Το σταθμισμένο κόστος παραγωγής ενέργειας αυξάνεται με μεγαλύτερη χωρητικότητα συσσωρευτών, ενώ το κόστος παραγωγής νερού είναι χαμηλότερο σε μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ, με το οικονομικότερο σημείο να είναι στα 1600 kW. Η αύξηση της φωτοβολταϊκής ισχύος και η διαχείριση των συσσωρευτών και των δεξαμενών επηρεάζουν την αποδοτικότητα και το κόστος της παραγωγής ενέργειας και νερού.

Εν συνεχεία, πραγματοποιείται επίλυση με στόχο την ανάδειξη βέλτιστων λύσεων που επιτυγχάνουν μέγιστη τιμή του συντελεστή κάλυψης ενεργειακής κατανάλωσης, με περιορισμούς στις παραμέτρους της εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β, του όγκου δεξαμενής, της χωρητικότητας του συσσωρευτή, του κόστους αρχικής επένδυσης και του ενεργειακού κόστους. Ο μέγιστος συντελεστής κάλυψης νερού κυμαίνεται περίπου στο 90% για κάλυψη

ενέργειας 50% - 54%. Η αυξανόμενη δυναμικότητα του συσσωρευτή οδηγεί σε μεγαλύτερη κάλυψη ενέργειας, με μικρή μείωση του συντελεστή κάλυψης νερού. Το κόστος ενέργειας παρουσιάζει γραμμική αύξηση με την αύξηση του συντελεστή κάλυψης, ενώ το κόστος νερού παραμένει σταθερό έως ένα συγκεκριμένο ποσοστό. Για 45% - 80% κάλυψης, το κόστος ενέργειας κυμαίνεται από 165 – 285 €/MWh, ενώ το κόστος νερού από 4-7 €/m³. Το εύρος των λύσεων για την εγκατεστημένη Φ/Β ισχύ κυμαίνεται περίπου στα 848 - 1436 kW, η χωρητικότητα του συσσωρευτή σε 331 - 4135 kWh, η αφαλάτωση από 1834 έως 3011 m³/d, ο όγκος της δεξαμενής σε 711 – 1503 m³, ενώ τα κόστη ενέργειας σε 17 – 29 c€/kWh, του νερού σε 4 – 7 €/m³ και τέλος της αρχικής επένδυσης σε 2 – 5 Μ€.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, γίνεται αντιληπτό ότι η αφαλάτωση με τη χρήση φωτοβολταϊκών, αποτελεί μια αρκετά βιώσιμη προοπτική για τη συγκεκριμένη ξενοδοχειακή εγκατάσταση, με αρκετά περιθώρια βελτίωσης. Η συγκεκριμένη προοπτική πρόκειται να αντιμετωπίσει ένα κεντρικό ζήτημα με διάσπαρτες λύσεις για τους ιδιώτες, καθώς το νησί αποτελείται από μεγάλο αριθμό ξενοδοχειακών μονάδων, με υψηλές ανάγκες σε νερό και ενέργεια, προάγοντας έτσι, τη βιώσιμη ανάπτυξη και την αποσυμφόρηση του τοπικού δικτύου του νησιού.

Βιβλιογραφία

Aldo Saavedra, H. V. M. A., 2021. *Comparative Analysis of Conventional and Emerging Technologies for Seawater Desalination: Northern Chile as A Case Study*, s.l.: s.n.

Avraam Kartalidis, D. A. G. A., 2017. *Responding to Water Challenges Through Desalination: Energy Considerations*, s.l.: s.n.

Aymer Maturana-Cordoba, R. M.-M. A. C. J. S.-V. S. V. L. M.-Z., 2023. *Unlocking synergies between seawater desalination and saline gradient energy: Assessing the environmental and economic benefits for dual water and energy production*, s.l.: s.n.

Babak Zolghadr-Asli, N. M. S. D. R. F. L. P., 2023. A closer look at the history of the desalination industry: the evolution of the practice of desalination through the course of time. *WATER SUPPLY*, 2 June.

Bay, T. B. L., 2024. <https://lindosbayhotel.gr/gallery/>. [Ηλεκτρονικό].

Bourhan Tashtoush, W. A. A. G. A.-O. M., 2023. *Renewable energy integration in water desalination: State-of-the-art review*, s.l.: s.n.

C. Fritzmann, J. L. T. W. T. M., 2006. *State-of-the-art of reverse osmosis desalination*, s.l.: s.n.

Ewaoche John Okampo, N. N., 2021. *Optimisation of renewable energy powered reverse osmosis desalination systems: A state-of-the-art review*, s.l.: s.n.

George Arampatzis, A. K. a. A., 2017. *Responding to Water Challenges Through Desalination: Energy Considerations*, s.l.: s.n.

George Kyriakarakos, G. P. C. A. K., 2022. *Renewable Energy Desalination for Island Communities: Status and Future Prospects in Greece*.

George Tchobanoglous, P. G., 2009. *Sustainable use of water in the Aegean Islands*, s.l.: s.n.

GWP-Med, 2022. Οδηγός εξοικονόμησης νερού για τουριστικά καταλύματα. *Zero Drop*.

Isnaeni Nurjanah, T.-T. C. S.-J. Y. C.-Y. H. W.-Y. S., 2024. *Reverse osmosis integrated with renewable energy as sustainable technology: A review*, s.l.: s.n.

Jameel, F., 2020. Fresh water; fresh ideas. Can renewable energy be the future of desalination?. *Abdul Latif Jameel*, 16 November.

K.A Kavadias, E. K. J. K., 2004. *Renewable energy desalination plants for the Greek islands - technical and economic considerations*, s.l.: s.n.

Kershner, K., 2023. How Reverse Osmosis Works. 12 May.

maps, G., 2024.

https://www.google.com/maps/@37.930795,23.7043712,14z?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MDkwNC4wI KXMDS0ASAFQAw%3D%3D. [Ηλεκτρονικό].

Mohamed T. Mito, X. M. A. , A. D., 2019. *Reverse osmosis (RO) membrane desalination driven by wind and solar photovoltaic (PV) energy: State of the art and challenges for large-scale implementation*, s.l.: s.n.

Nnamdi Nwulu, E. J. O., 2021. *Optimisation of renewable energy powered reverse osmosis desalination systems: A state-of-the-art review*, s.l.: s.n.

Paul Reig, A. M. F. G., 2013. *World's 36 Most Water-Stressed Countries*, s.l.: s.n.

Puretec, 2023. *What is reverse osmosis ?*, s.l.: s.n.

S. Rehman, F. A. A.-S. M. A. K., 2018. *A hybrid renewable energy system as a potential energy source for water desalination using reverse osmosis*, s.l.: s.n.

Savener, 2023. <https://www.savener.es/en/proyectos/solar-saline-water-reverse-osmosis-al-khafji/>. [Ηλεκτρονικό].

Suhaib M. Alawad, R. B. M. F. A. A.-S. S. R., 2023. *Renewable energy systems for water desalination applications: A comprehensive review*, s.l.: s.n.

Vincenzo Franzitta, A. G. D. C., 2021. «*A Review of the Water Desalination Technologies*», s.l.: s.n.

Wa'ed Alyahya, M. A. G. J. A.-o. T. M. B. T., 2023. *Renewable energy integration in water desalination : State-of-the-art review and competitive analysis*, s.l.: s.n.

Βλυσίδης, Α., 2021. *Τεχνολογία Πόσιμου Νερού*, s.l.: s.n.

ΕΜΥ, 2024.

http://www.emy.gr/emyl/climatology/climatology_city?perifereia=South%20Aegean&poli=Rodos. [Ηλεκτρονικό].

ΞΕΕ, 2023. *ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΛΛΑΔΑΣ*, s.l.:

https://www.grhotels.gr/app/uploads/2024/03/01_Hotels_2023_Total.pdf.

Πειραιάς, Κ. Σ. Ε. τ. Δ., 2018. *Στοιχεία Κλάδου Ξενοδοχειακών Επιχειρήσεων*, s.l.: s.n.

Ροδιακή, 2024. <https://www.rodiki.gr/article/470536/yperxeilise-to-fragmento-toy-gadoyra-apo-tis-brochoptwseis-toy-teleytaiou-tetraheroy>. [Ηλεκτρονικό].

ΦΙΛΙΠΠΟΥ, Θ., 2021. *Δεύτερη Ενότητα - Κτίρια και Εξοικονόμηση Ενέργειας*, s.l.: s.n.

Φωτιάδη, Ι., 2015. Σκουριάζει η «Υδριάδα» της Ηρακλείας.

Χατζηπέτρος, Ν., 2023. <https://realvoice995.gr/nea-pnoi-gia-to-fragmento-apolakkias-kai-ti-notia-rodou-i-anagnorisi-apo-to-ypourgeio-agrotikis-anaptyxis-hx/>. [Ηλεκτρονικό].