



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**Ο αναρρυθμιστικός ρόλος της αφάλατωσης στο
ισοζύγιο νερού – ενέργειας: Εφαρμογή στο
υβριδικό σύστημα της Μήλου.**

Σπανού Μαργαρίτα-Χριστίνα

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»**

**Επιβλέπων: Ευστρατιάδης Ανδρέας, Επίκουρος
Καθηγητής ΕΜΠ**

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Ο αναρρυθμιστικός ρόλος της αφαλάτωσης στο ισοζύγιο νερού – ενέργειας:

Εφαρμογή στο υβριδικό σύστημα της Μήλου.

Σπανού Μαργαρίτα-Χριστίνα

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

Επιβλέπων: Ευστρατιάδης Ανδρέας, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Ο αναρρυθμιστικός ρόλος της αφαλάτωσης στο ισοζύγιο νερού-ενέργειας. Εφαρμογή στο υβριδικό σύστημα της Μήλου» εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον επιβλέποντα μου κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη για την ευκαιρία που μου έδωσε να μελετήσω ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, όπως είναι αυτό της αφαλάτωσης και της ενέργειας. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω, όμως, και για την προθυμία που έδειχνε κάθε φορά για να λύσει τυχόν απορίες που προέκυπταν κατά τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας, αλλά και για την καθοδήγηση και τις συμβουλές που μου προσέφερε στο διάστημα αυτό.

Στη συνέχεια, δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω για αυτή την προσπάθεια την οικογένεια μου, η οποία με στηρίζει και μου συμπαραστέκεται σε κάθε επιλογή μου. Η συνεχή και ανιδιοτελή βοήθεια που μου προσφέρουν μου δίνει δύναμη για να συνεχίσω τα βήματα μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ και τους φίλους μου, Αντώνη, Βάσω και Σοφία για τη βοήθεια τους και κυρίως για το κουράγιο και τη δύναμη που μου έδιναν ώστε να καταφέρω να ολοκληρώσω αυτή την εργασία.

Σπανού Μαργαρίτα-Χριστίνα

Οκτώβριος, 2020

Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η λειτουργία συστημάτων συνδυασμένης διαχείρισης νερού και ενέργειας, που έχουν ως διεπιφάνεια μονάδες αφαλάτωσης. Οι μονάδες αυτές εξυπηρετούν υδατικές ανάγκες, καταναλώνοντας ενέργεια για την επεξεργασία και μεταφορά του νερού μέσω άντλησης. Με βάση το πρόσφατα κατασκευασμένο σύστημα του αιολικού πάρκου και της μονάδας αφαλάτωσης στο νησί της Μήλου, αναπτύσσεται ένα μοντέλο προσομοίωσης του υδατικού ισοζυγίου του νησιού σε συνδυασμό με την αξιοποίηση της πλεονάζουσας αιολικής ενέργειας που παράγεται από το αιολικό πάρκο για την ενεργειακή κάλυψη της μονάδας αφαλάτωσης.

Το μοντέλο λειτουργεί σε χρονικό βήμα μιας ώρας, με δεδομένα εισόδου χρονοσειρές ταχύτητας ανέμου, προσαρμοσμένες στα δεδομένα της Μήλου, και χρονοσειρές υδατικών αναγκών του νησιού, για τον εκτιμώμενο πληθυσμό του έτους αναφοράς 2020. Το συνολικό μήκος της προσομοίωσης είναι 10 έτη και αφορά στη λειτουργία του συστήματος, χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα καθώς και τα πραγματικά τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος αφαλάτωσης-ανεμογεννητριών. Το μοντέλο ωριαίας προσομοίωσης εφαρμόστηκε για τρεις διαχειριστικές λύσεις, οι οποίες βασίζονται σε διαφορετικές λογικές λειτουργίας του.

Η πρώτη αποτελεί το μηδενικό σενάριο αναφοράς, σύμφωνα με το οποίο η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί χωρίς ενεργειακή κάλυψη από τις ανεμογεννήτριες, καταναλώνοντας ενέργεια μόνο από το δίκτυο της ΔΕΗ και αφαλατώνοντας σταθερή ωριαία ποσότητα νερού που εξαρτάται από την συνολική ημερήσια ζήτηση. Κατά τη δεύτερη λύση, η προσομοίωση βασίζεται στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας που παράγεται και της αντίστοιχης μέγιστης δυνατής ωριαίας ποσότητας νερού που δύναται να αφαλατωθεί καταναλώνοντας την ενέργεια αυτή. Σε αυτή την περίπτωση, το νερό που αφαλατώνεται εξαρτάται από την παραγόμενη αιολική ενέργεια, η οποία μεταβάλλεται τυχαία σε κάθε χρονικό βήμα, ενώ σε περίπτωση μη κάλυψης της ζήτησης νερού καταναλώνεται επιπλέον ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ. Τέλος, στην τρίτη διαχειριστική λύση θεωρείται μια απαιτούμενη ωριαία ποσότητα νερού για αφαλάτωση, η οποία είναι ισοκατανομημένη και σταθερή μέσα στην ημέρα και εξαρτάται από την συνολική ημερήσια ζήτηση. Για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της αφαλάτωσης χρησιμοποιείται κατά προτεραιότητα η διαθέσιμη παραγόμενη ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες, και εφόσον δεν επαρκεί καταναλώνεται

πρόσθετη ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ. Σημειώνεται ότι για τις δύο λύσεις που έχει θεωρηθεί η λειτουργία των ανεμογεννητριών, η πλεονάζουσα αιολική ενέργεια που δεν καταναλώνεται από τη μονάδα της αφαλάτωσης διατίθενται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Με βάση τα αποτελέσματα των τριών διαχειριστικών λύσεων, αξιολογήθηκε η επίδοση της λειτουργίας του συστήματος, με βάση ένα πλήθος δεικτών. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε παραμετρική ανάλυση, από την οποία προέκυψαν γενικά συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση βασικών τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος (παροχετευτικότητα αντλιών, χωρητικότητα δεξαμενής πόσιμου νερού, πλήθος ανεμογεννητριών) του συστήματος, σύμφωνα με τους δείκτες αξιολόγησης που θεωρήθηκαν. Τέλος, με βάση την πιο αξιόπιστη λύση πραγματοποιήθηκε μια βελτιστοποίηση του συστήματος ως προς συγκεκριμένους τεχνοοικονομικούς δείκτες αξιολόγησης, όπως το ποσοστό ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό και το συνολικό κόστος των έργων.

ABSTRACT

The subject of this thesis is the operation of combined management of water and energy systems, which have as interface desalination units. These units serve water needs, consuming energy for water treatment and pumping. Based on the recently constructed system of the wind farm and desalination plant on the island of Milos, a simulation model of the island's water balance is developed, in combination with the utilization of the wind energy produced by the wind farm to cover the energy of the unit.

The model runs in hourly time step. It gets as input data wind time series adapted to the data of Milos, the estimated population and the water needs of the island for the year 2020. The total length of simulation is 10 years, and concerns the operation of the system, using the above data as well as the real technical characteristics of the desalination unit, the pumping system, the water supply tank and the wind turbines. The simulation model was applied for three management cases, each one based on a different operating rationale. The first is a zero-reference scenario, according to which the desalination plant operates without using energy from the wind turbines, thus consuming energy only from the PPC network, and desalinating a fixed hourly amount of water that depends on the total daily demand. According to the second management case, the simulation is based on the utilization of the energy produced by the wind park and the corresponding maximum hourly amount of water that can be desalinated by consuming this energy. In this scenario, the water to be produced is by definition not constant, as it depends on the production of wind energy, which is randomly varying. In case of water demand deficits, it consumes additional energy from the PPC network. Finally, in the third management scenario, we consider a required hourly amount of water for desalination which is constant during the day and depends on the total daily demand. In order to cover the energy needs of the desalination unit, the available energy produced by the wind turbines is used by priority, and whenever this is not enough, additional energy of the PPC network is consumed. It should be noted that for the two scenarios that account for the operation of wind turbines, the surplus wind energy that is not consumed by the desalination plant, is available to the electricity network.

The results of the three management scenarios concern the way the system operates and its performance according to specific evaluation indices. Then, from the parametric analysis performed, general conclusions emerge regarding the effect of the technical

characteristics of the system (i.e., pumping capacity, drinking water tank capacity, and number of wind turbines) both in its operation and in its performance, according to the evaluation indices. Finally, based on the most reliable solution, the system is optimized in terms of specific techno-economic evaluation metrics, such as the reliability of providing drinking water and the total cost of the system.

EXTENDED ABSTRACT

In the context of this thesis we investigate the operation of combined water and energy systems, which have desalination units as interface. These units serve water needs, by consuming energy for water treatment and its conveyance via pumping.

The simultaneous need for drinking water production but also for decoupling from energy production with exploitation of fossil fuels is a motivation to study systems that meet both requirements. Thus, in the context of the continuously increasing integration of Renewable Energy Sources (RES) in electricity systems, desalination units can play a defining role, utilising generated surplus energy. From time to time, several systems that are based on this logic have been studied. A characteristic example is the recently constructed wind farm and desalination plant on the island of Milos.

This project is a methodical approach to the issue of desalination with the use of RES at the island of Milos. In this vein, we develop a simulation model of the island's water balance combined with the utilisation of wind energy produced by the wind farm for the energy coverage of the desalination plant. The model runs on hourly resolution, and gets as input data wind time series adapted to the data of Milos, the estimated population and water needs of the island for a total period of ten years. The simulation concerns the operation of the system, using the above data as well as the real technical data of the desalination unit, the pumping system, the water supply tank and the wind farm. The model is employed for three total management scenarios, of the system with each scenario based on a different operating policy.

The first scenario is a zero-reference one, according to which the desalination plant operates without energy coverage from the wind turbines (as it could have been in the past before the creation of the wind farm), consuming energy only from the PPC network and desalinating a constant hourly amount of water, depending on the corresponding total daily demand.

In the second management scenario, the simulation is based on the utilization of the wind energy and the corresponding maximum possible hourly amount of water that can be desalinated by consuming this energy. In this scenario, the amount of water that is desalinated each time is not constant, as it depends on the production of wind energy, which is randomly varying. Thus, there are time steps when the availability of wind energy is high and therefore the maximum amount that can be desalinated by the system is the drainage capacity of the pumps. However, whenever the wind energy production

is zero, the unit does not desalinate and thus transfer water to the storage tanks. In the case when it is not possible to cover the demand from the existing stock in the tanks, the unit desalinates water that depends on price of the deficit and the remaining of the flow capacity of the pumps, provided that a given quantity has already been desalinated. The additional amount of water to fulfil the total demand is produced by consuming additional energy from the PPC network.

In the third management scenario, the simulation is based on an optimized utilization of wind energy by the desalination plant. In this scenario, a required hourly amount of desalination water is considered at each time step, which is constant during the day and depends on the total daily demand. In order to cover the energy needs, the available energy produced by the wind turbines is used by priority and, if essential, additional energy of the PPC network is consumed. Even when there is any wind energy available, the required water is desalinated and transported to the tanks, by consuming energy from the electricity grid. When the wind energy generated by the wind turbines is high enough, the water is desalinated and transported by consuming as much energy as needed by the wind turbines. The amount that is desalinated at each time step depends on the required amount of water calculated from the flow capacity of the pumps and the available capacity of the water tanks. Under this assumption, the desalinated water is not affected by the variability of wind and, consequently, the availability of wind energy. It should also be noted that if the system cannot meet the water demand (e.g., during the summer months) the unit desalinates additional water which depends on the value of the deficit that has occurred and the residual drainage of the pumps and the capacity of the tanks as a quantity has already been desalinated and transported. For this additional amount of water, the available energy produced by the wind turbines is consumed again by priority and then when there is not enough energy, the unit consumes additional energy from the PPC network.

It is pointed out that for the two scenarios that have been considered the operation of wind turbines, the surplus wind energy which is not consumed by the desalination plant is sold and delivered to the electricity network.

The results obtained from the three management scenarios concern the way the system operates and its performance, according to specific evaluation indices. Initially, for each scenario, the diagrams are presented separately, in which the evolution of the most characteristic variables is presented for the simulation period of 10 years. In order to form a clearer and clearer understanding of the operation of the system, we also

provide time series plots for the last year of the simulation. Also, for each scenario are present the values of the cumulative quantities as well as the values of the techno-economic evaluation indices (e.g., reliability, mean annual cost, sharing of mean annual water quantity desalinated by wind energy and PPC system, etc.). We also compare the three management scenarios in terms of evaluation indices and some of the most characteristic quantities of the system's operation (Figures 1, 2, 3).

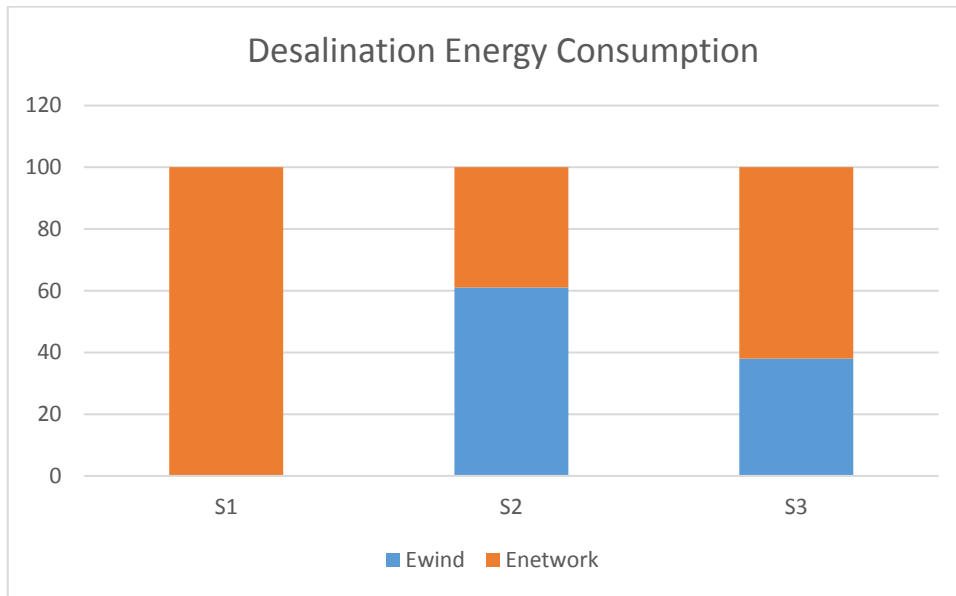


Figure 1 Desalination energy consumption for three operating scenarios.

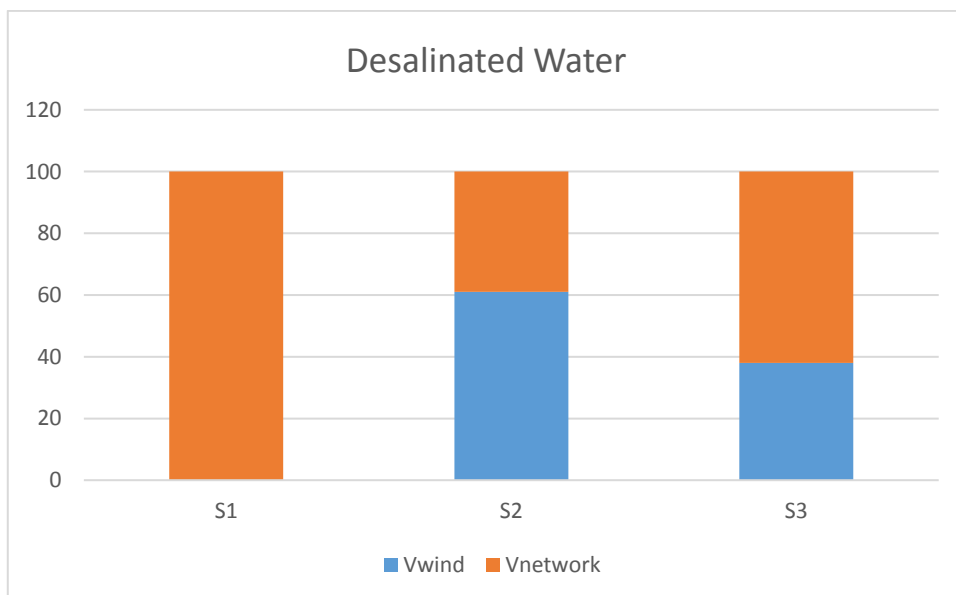


Figure 2 Desalinated water for three operating scenarios.

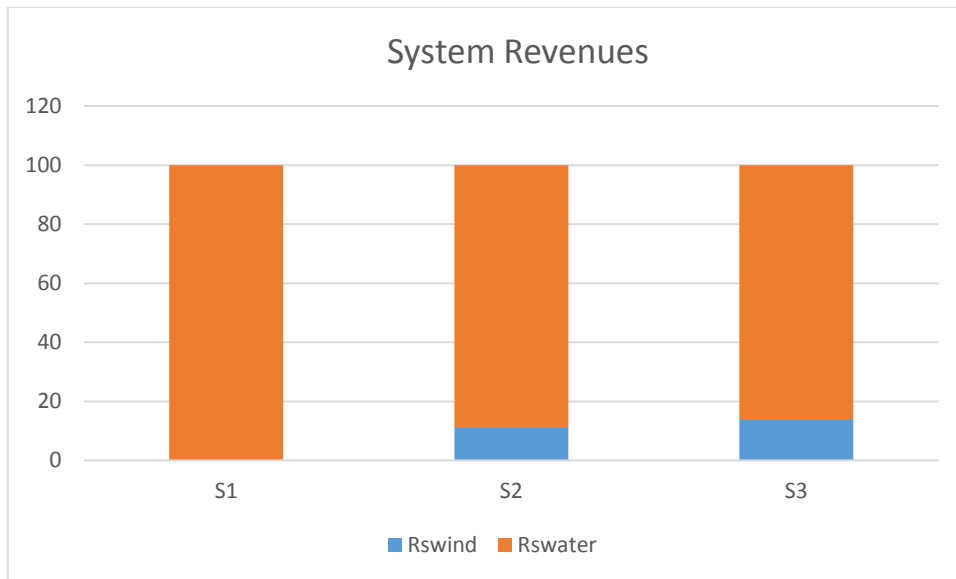


Figure 3 System Revenues for three operating scenarios.

Then, a parametric analysis is performed for the two management scenarios that use energy from the wind turbines. Keeping the other inputs constant, we change the value of the parameter under study, and monitor the change of the most important evaluation indices. Thus, general conclusions are drawn about the effect of change of specific technical characteristics (e.g., pumping capacity, drinking water tank capacity, number of wind turbines) of the system both in its operation and in its performance according to the evaluation indicators considered (Figures 4 and 5). This analysis also allows for detecting the parameter that mostly affects the operation and reliability of the system, and also assessing the management policy that can better ensure the fulfilment of water demand. Finally, for the most promising management scenario, we optimized the key system properties against technical and economic metrics, namely the reliability and the total cost of the system.

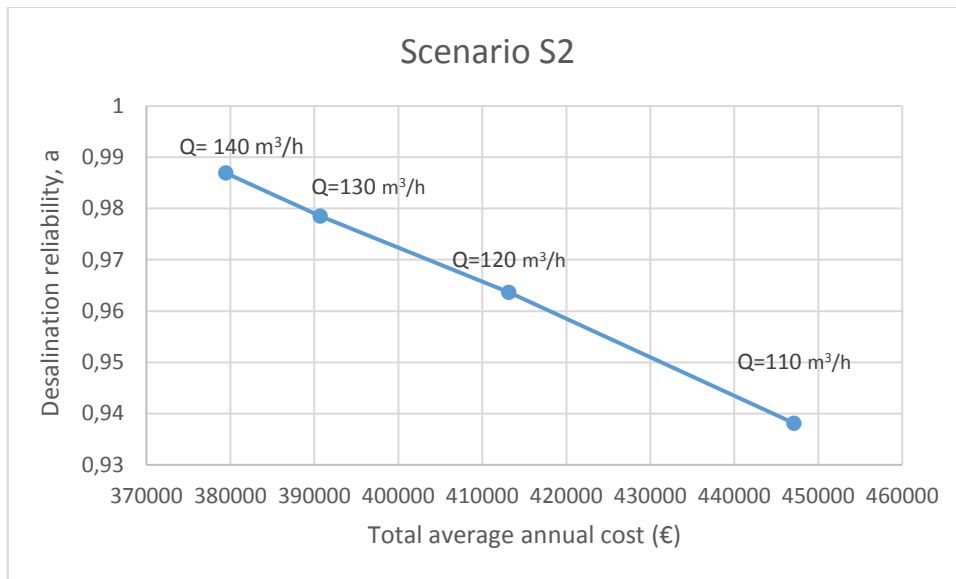


Figure 4 Cost change depending on reliability for different prices of Q_{Pumps} for 2nd scenario.

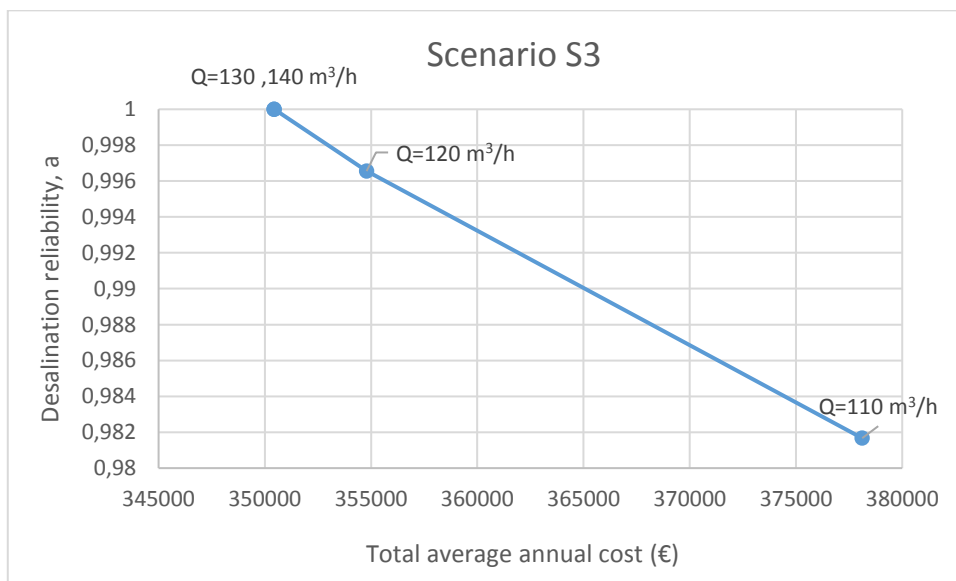


Figure 5 Cost change depending on reliability for different prices of Q_{Pumps} for 3rd scenario.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ABSTRACT	iv
EXTENDED ABSTRACT.....	vi
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	1
1.2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	3
1.3. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	3
2. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ	5
2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	5
2.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	7
2.2.1. Θερμικές Διεργασίες ή Αλλαγής Φάσης (Thermal or Phase-change processes) 10	
2.2.1.1. Άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (Multiple Stage Flashing, MSF) 10	
2.2.1.2. Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (Multiple Effect Distillation, MED) 12	
2.2.1.3. Απόσταξη με συμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC)..... 14	
2.2.1.4. Ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation)..... 16	
2.2.2. Διεργασίες Μembranών (Membrane based desalination technologies) 17	
2.2.2.1. Αντίστροφη Ωσμωση (Reverse Osmosis, RO)..... 17	
2.2.2.2. Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED)..... 20	
2.3. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ..... 22	
2.4. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 23	
2.4.1. Αφαλάτωση με χρήση ηλιακής ενέργειας..... 26	

2.4.2.	Αφαλάτωση με χρήση αιολικής ενέργειας.....	28
2.4.3.	Αφαλάτωση με υβριδικά συστήματα ΑΠΕ.....	29
2.4.4.	Αφαλάτωση με χρήση γεωθερμίας.....	31
2.4.5.	Αφαλάτωση με χρήση βιομάζας.....	32
2.4.6.	Αφαλάτωση με χρήση ενέργειας ωκεανών.....	32
2.5.	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΠΕ	33
2.6.	Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	40
3.	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΜΗΛΟΣ.....	45
3.1.	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ-ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	45
3.2.	ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ-ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗ.....	46
3.3.	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	48
3.4.	ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ.....	49
3.5.	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	51
3.6.	ΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	52
3.7.	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	57
3.8.	ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	59
3.9.	ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ.....	60
3.10.	ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ.....	65
3.10.1.	Μονάδα Αφαλάτωσης.....	67
4.	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ.....	77
4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	77
4.2.	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	77
5.	ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	90
5.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	90
5.2.	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	91
5.2.1.	1 ^η Διαχειριστική Λύση.....	91
5.2.2.	2 ^η Διαχειριστική Λύση.....	96

5.2.3.	3 ^η Διαχειριστική Λύση	101
5.3.	ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	109
6.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	113
6.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	113
6.2.	1 ^η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΛΥΣΗ	114
6.3.	2 ^η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΛΥΣΗ	120
6.4.	3 ^η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΛΥΣΗ	130
6.5.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΛΥΣΕΩΝ	139
6.6.	ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	143
6.6.1.	2 ^η Διαχειριστική λύση	145
6.6.2.	3 ^η Διαχειριστική λύση	149
6.6.3.	Συμπεράσματα	154
6.7.	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	156
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	159
7.1.	ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	159
7.2.	ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	162
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	164
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	167
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	169
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	172

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Μονάδα αφαλάτωσης με τη μέθοδο MSF στο Ντουμπάι (https://commons.wikimedia.org/).....	11
Εικόνα 2.2 Μονάδα αφαλάτωσης με τη μέθοδο MED στην Κίνα (Semiat, 2010).	14
Εικόνα 2.3 Μονάδα Αφαλάτωσης με τη μέθοδο VC στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (http://www.sasakura.co.jp/).....	16
Εικόνα 2.4 Μονάδα αφαλάτωσης με τη μέθοδο RO στο Ισραήλ (Cohen-Tanugi, 2015).....	20
Εικόνα 2.5 Μονάδα Αφαλάτωσης με ED στις ΗΠΑ (https://www.snyder-associates.com).....	21
Εικόνα 2.6 Φωτοβολταϊκά πάνελ (energypress.gr).....	27
Εικόνα 2.7 Αιολικό πάρκο στη Σύρο (https://ita-sa.gr/).....	29
Εικόνα 2.8 Αφαλάτωση με υβριδικό σύστημα στην Ηρακλεία (kathimerini.gr)....	30
Εικόνα 3.1 Μήλος (Google Earth).....	45
Εικόνα 3.2 Χάρτης υψομετρικών ζωνών της Μήλου (Τσιούγκου, 2015).....	48
Εικόνα 3.3 Χρήσεις Γης Μήλου (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).....	50
Εικόνα 3.4 Λατομείο εξόρυξης μπετονίτη στη Μήλο (orykta.gr).....	51
Εικόνα 3.5 Ηφαιστειακό τόξο νοτίου Αιγαίου (Γκάγκα, 2006).....	53
Εικόνα 3.6 Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Μήλου (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).....	55
Εικόνα 3.7 Νέος Χάρτης Σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδας 2004 (Γκάγκα, 2006).....	56
Εικόνα 3.8 Χάρτης περατότητας της Μήλου (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).....	58
Εικόνα 3.9 Λεκάνες απορροής και υδρογραφικό δίκτυο Μήλου (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).....	60
Εικόνα 3.10 Αιολικό Πάρκο Μήλου (https://ita-sa.gr/).....	62
Εικόνα 3.11 Μονάδα αφαλάτωσης στη Μήλο (Ομίλος ΙΤΑ, 2010).....	68
Εικόνα 3.12 Οι δύο συστοιχίες κάθε υπομονάδας αφαλάτωσης (Ομίλος ΙΤΑ, 2010).....	69
Εικόνα 3.13 Η μετεπεξεργασία του αφαλατωμένου νερού (Ομίλος ΙΤΑ, 2010)....	71
Εικόνα 3.14 Η συνολική άποψη από το εσωτερικό μιας υπομονάδας αφαλάτωσης (Ομίλος ΙΤΑ, 2010).....	72

Εικόνα 3.15 Δεξαμενές αποθήκευσης νερού (Όμιλος ΙΓΑ, 2010). 73

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Σύγκριση μεθόδων αφαλάτωσης (Τζεν, 2001).	22
Πίνακας 2.2 Συνδυασμοί μεθόδων αφαλάτωσης – ΑΠΕ (Tzen & Morris, 2003). ..25	
Πίνακας 2.3 Γενικά στοιχεία της μονάδας αφαλάτωσης στην Kwinana (El Saliby <i>et al.</i> , 2009).	34
Πίνακας 2.4 Στοιχεία μονάδας αφαλάτωσης στο Kurnell του Σίδνεϋ (El Saliby <i>et al.</i> , 2009).	36
Πίνακας 2.5 Παράμετροι προϋπολογισμού και προσομοίωσης (Giudici <i>et al.</i> , 2019).	39
Πίνακας 2.6 Σύγκριση πέντε λύσεων που ελαχιστοποιούν το έλλειμμα νερού (Giudici <i>et al.</i> , 2019).	40
Πίνακας 2.7 Ποσότητες και κόστη μεταφοράς νερού στα νησιά του Αιγαίου (Τζεν, 2015)	41
Πίνακας 2.8 Εγκαταστημένες μονάδες αφαλάτωσης RO στην Ελλάδα (Zotalis <i>et al.</i> , 2014).	42
Πίνακας 3.1 Δημοτικά Διαμερίσματα Δήμου Μήλου (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2006).	46
Πίνακας 3.2 Μόνιμος Πληθυσμός Δ.Μήλου (Ελληνική Στατιστική Αρχή).	46
Πίνακας 3.3 Μετεωρολογικά στοιχεία για τη Μήλο (ΕΜΥ).	52
Πίνακας 3.4 Εγκατεστημένη ισχύς και ετήσια παραγωγή από ΑΠΕ στη Μήλο (Δ.Μήλου, 2016).	62
Πίνακας 3.5 Μεταφερόμενες ποσότητες νερού στη Μήλο (m ³) (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).	66
Πίνακας 3.6 Κόστος της μονάδας αφαλάτωσης της Μήλου (Ομίλος ΙΤΑ, 2010)..75	
Πίνακας 4.1 Πληθυσμός Μήλου κατά τις τελευταίες απογραφές (ΕΣΥΕ).	77
Πίνακας 4.2 Μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής μόνιμου πληθυσμού Μήλου.	78
Πίνακας 4.3 Εκτίμηση μέσου ετήσιου ρυθμού μεταβολής για το πληθυσμό της Μήλου.	78
Πίνακας 4.4 Εκτίμηση πληθυσμού της Μήλου για το έτος 2020.	79
Πίνακας 4.5 Μέση ημερήσια κατανάλωση νερού πληθυσμού.	80
Πίνακας 4.6 Εκτίμηση ημερήσιας ζήτησης νερού ανά μήνα βάσει των συντ/τών μηνιαίας διακύμανσης.	82

Πίνακας 4.7 Εκτίμηση ωριαίας ζήτησης βάσει των συντ/τών ωριαίας διακύμανσης για την ημέρα 01/01.	84
Πίνακας 4.8 Χαρακτηριστικά μεγέθη και κόστη μονάδας αφαλάτωσης.....	89
Πίνακας 6.1 Τιμές Δεικτών Αξιολόγησης 1 ^{ης} Λύσης.	114
Πίνακας 6.2 Τιμές Δεικτών Αξιολόγησης 2 ^{ης} Λύσης.	120
Πίνακας 6.3 Τιμές Δεικτών Αξιολόγησης 3 ^{ης} Λύσης.	130
Πίνακας 6.4 Συγκεντρωτικός Πίνακας Τιμών Αξιολόγησης των λύσεων.....	139
Πίνακας 6.5 Παράμετροι ανάλυσης.....	144
Πίνακας 6.6 Τιμές συνδυασμού παραμέτρων για τις βέλτιστες λύσεις της 3 ^{ης} διαχειριστικής λύσης.....	157

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 Κατανομή της συνολικής εγκατεστημένης χωρητικότητας αφαλάτωσης ανά τύπο νερού τροφοδοσίας (Burn <i>et al.</i> , 2015).	6
Σχήμα 2.2 Βασική αρχή αφαλάτωσης νερού (Tzen, 2010).....	7
Σχήμα 2.3 Τυπικό διάγραμμα ροής μονάδας αφαλάτωσης (Ξενάριος, 2017).	8
Σχήμα 2.4 Τεχνολογίες Αφαλάτωσης (Tzen, 2010).....	9
Σχήμα 2.5 Παγκόσμια κατανομή τεχνολογιών αφαλάτωσης (Eshoul <i>et al.</i> , 2015).	10
Σχήμα 2.6 Διάγραμμα λειτουργίας της μεθόδου MSF (Clayton, 2015).	11
Σχήμα 2.7 Διάγραμμα λειτουργίας της μεθόδου MED (Clayton, 2015).	13
Σχήμα 2.8 Διάγραμμα λειτουργίας της μεθόδου VC (Clayton, 2015).....	15
Σχήμα 2.9 Διάγραμμα λειτουργίας της μεθόδου SD (Clayton, 2015).	16
Σχήμα 2.10 Το φαινόμενο της ώσμωσης αριστερά και της αντίστροφης ώσμωσης δεξιά (Clayton, 2015).....	18
Σχήμα 2.11 Διαδικασίες που πραγματοποιούνται σε ένα σύστημα αφαλάτωσης RO (Miller, 2003).....	19
Σχήμα 2.12 Η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης (ED) (Clayton, 2015).	21
Σχήμα 2.13 Συμμετοχή ΑΠΕ στην αφαλάτωση (Tzen & Morris, 2003).	25
Σχήμα 2.14 Μέθοδοι αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ΑΠΕ (Tzen & Morris, 2003).....	25
Σχήμα 2.15 Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου για το σύστημα νερού-ενέργειας στην Ustica (Giudici <i>et al.</i> , 2019).	38
Σχήμα 2.16 Παραγωγή αφαλατωμένου νερού σύμφωνα με: α) νερό τροφοδοσίας, β) τις χρήσεις του και (γ) την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, στην Ελλάδα (Zotalis <i>et al.</i> , 2014).	43
Σχήμα 3.1 Μέση ημερήσια ζήτηση νερού κατά μήνα το 2005 για ελάχιστη και κανονική ζήτηση για τη Μήλο (Γκάγκα, 2006).....	67
Σχήμα 4.1 Μηνιαία διακύμανση πληθυσμού.	80
Σχήμα 4.2 Διακύμανση ημερήσιας ζήτησης νερού ανά μήνα.....	82
Σχήμα 4.3 Διακύμανση ωριαίας ζήτησης νερού ενός έτους.	85
Σχήμα 4.4 Καμπύλη ισχύος Α/Γ Vestas V52 ονομαστικής ισχύος 850 kW (wind-turbine-modules.com).	87

Σχήμα 4.5 Καμπύλη ισχύος για την Α/Γ Vestas V42 ονομαστικής ισχύος 600 kW (wind-turbine-modules.com).	87
Σχήμα 5.1 Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου προσομοίωσης.	91
Σχήμα 6.1 Χρονοσειρά αποθέματος/ζήτησης νερού 10 ετών 1 ^{ης} λύσης.....	115
Σχήμα 6.2 Χρονοσειρά καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ 10 ετών 1 ^{ης} λύσης. ..	116
Σχήμα 6.3 Χρονοσειρά συνολικού αφαλατωμένου νερού 10 ετών 1 ^{ης} λύσης.....	116
Σχήμα 6.4 Χρονοσειρά ελλείμματος νερού 10 ετών 1 ^{ης} λύσης.	117
Σχήμα 6.5 Χρονοσειρά μεταβολής αποθέματος/ζήτησης νερού 1 ^{ης} λύσης.	118
Σχήμα 6.6 Χρονοσειρά μεταβολής καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ 1 ^{ης} λύσης.	118
Σχήμα 6.7 Χρονοσειρά μεταβολής συνολικού αφαλατωμένου νερού 1 ^{ης} λύσης.	119
Σχήμα 6.8 Χρονοσειρά μεταβολής ελλείμματος νερού 1 ^{ης} λύσης.....	119
Σχήμα 6.9 Χρονοσειρά αποθέματος/ζήτησης νερού 10 ετών 2 ^{ης} λύσης.....	121
Σχήμα 6.10 Χρονοσειρά καταναλισκόμενης αιολικής ενέργειας 10 ετών 2 ^{ης} λύσης.	122
Σχήμα 6.11 Χρονοσειρά καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ 10 ετών 2 ^{ης} λύσης.	122
Σχήμα 6.12 Χρονοσειρά αιολικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο 10 ετών 2 ^{ης} λύσης.....	123
Σχήμα 6.13 Χρονοσειρά συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερού που αφαλατώνεται με ΔΕΗ 10 ετών 2 ^{ης} λύσης.	124
Σχήμα 6.14 Χρονοσειρά συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερού που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια 10 ετών 2 ^{ης} λύσης.....	124
Σχήμα 6.15 Χρονοσειρά ελλείμματος νερού 10 ετών 2 ^{ης} λύσης.	125
Σχήμα 6.16 Χρονοσειρά μεταβολής αποθέματος/ζήτησης νερού 2 ^{ης} λύσης.	126
Σχήμα 6.17 Χρονοσειρά μεταβολής καταναλισκόμενης αιολικής ενέργειας 2 ^{ης} λύσης.....	126
Σχήμα 6.18 Χρονοσειρά μεταβολής καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ 2 ^{ης} λύσης.	127
Σχήμα 6.19 Χρονοσειρά μεταβολής αιολικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο 2 ^{ης} λύσης.	127
Σχήμα 6.20 Χρονοσειρά μεταβολής συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερού που αφαλατώνεται με ΔΕΗ 2 ^{ης} λύσης.....	128
Σχήμα 6.21 Χρονοσειρά μεταβολής συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερού που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια 2 ^{ης} λύσης.	128

Σχήμα 6.22 Χρονοσειρά μεταβολής ελλείμματος νερού 2 ^{ης} λύσης.....	129
Σχήμα 6.23 Χρονοσειρά αποθέματος/ζήτησης νερού 10 ετών 3 ^{ης} λύσης.....	131
Σχήμα 6.24 Χρονοσειρά καταναλισκόμενης αιολικής ενέργειας 10 ετών 3 ^{ης} λύσης.	132
Σχήμα 6.25 Χρονοσειρά καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ 10 ετών 3 ^{ης} λύσης.	132
Σχήμα 6.26 Χρονοσειρά αιολικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο 10 ετών 3 ^{ης} λύσης.....	133
Σχήμα 6.27 Χρονοσειρά συνολικού νερού/νερού που αφαλατώνεται με ΔΕΗ 10 ετών 3 ^{ης} λύσης.....	133
Σχήμα 6.28 Χρονοσειρά συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερού που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια 10 ετών 3 ^{ης} λύσης.....	134
Σχήμα 6.29 Χρονοσειρά ελλείμματος νερού 10 ετών 3 ^{ης} λύσης.	134
Σχήμα 6.30 Χρονοσειρά μεταβολής αποθέματος/ζήτησης νερού 3 ^{ης} λύσης.	135
Σχήμα 6.31 Χρονοσειρά μεταβολής καταναλισκόμενης αιολικής ενέργειας 3 ^{ης} λύσης.....	136
Σχήμα 6.32 Χρονοσειρά μεταβολής καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ3 ^{ης} λύσης.	136
Σχήμα 6.33 Χρονοσειρά μεταβολής αιολικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο 3 ^{ης} λύσης.	137
Σχήμα 6.34 Χρονοσειρά μεταβολής συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερού που αφαλατώνεται με ΔΕΗ 3 ^{ης} λύσης.....	137
Σχήμα 6.35 Χρονοσειρά μεταβολής συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερού που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια 3 ^{ης} λύσης.	138
Σχήμα 6.36 Χρονοσειρά μεταβολής ελλείμματος νερού 3 ^{ης} λύσης.....	138
Σχήμα 6.37 Διάγραμμα καταναλισκόμενης ενέργειας αφαλάτωσης τριών λύσεων.	142
Σχήμα 6.38 Διάγραμμα ποσότητας νερού που αφαλατώνεται τριών λύσεων.	142
Σχήμα 6.39 Διάγραμμα εσόδων συστήματος τριών λύσεων.	143
Σχήμα 6.40 Διάγραμμα κόστους συστήματος τριών λύσεων.	143
Σχήμα 6.41 Επίδραση χωρητικότητας δεξαμενής αποθήκευσης νερού για 2 ^η λύση.	145
Σχήμα 6.42 Επίδραση παροχτετευτικότητας αντλιών για 2 ^η λύση.....	146
Σχήμα 6.43 Επίδραση αριθμού ανεμογεννητριών για 2 ^η λύση.	147

Σχήμα 6.44 Επίδραση χωρητικότητας δεξαμενής αποθήκευσης νερού για 3 ^η λύση.	150
Σχήμα 6.45 Επίδραση παροχτευτικότητας αντλιών για 3 ^η λύση.....	151
Σχήμα 6.46 Επίδραση αριθμού ανεμογεννητριών για 3 ^η λύση.	152
Σχήμα 6.47 Μεταβολή του κόστους συναρτήσει της αξιοπιστίας για 2 ^η λύση. ...	154
Σχήμα 6.48 Μεταβολή των εσόδων συναρτήσει της αξιοπιστίας για 2 ^η λύση.	155
Σχήμα 6.49 Μεταβολή του κόστους συναρτήσει της αξιοπιστίας για 3 ^η λύση. ...	155
Σχήμα 6.50 Μεταβολή των εσόδων συναρτήσει της αξιοπιστίας για 3 ^η λύση.	156

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Αναμφίβολα, το νερό αποτελεί το πιο βασικό συστατικό αλλά και την κινητήρια δύναμη για τη ζωή στον πλανήτη. Όμως, το γλυκό νερό αποτελεί μόλις το 3% των συνολικών υδάτινων αποθεμάτων, από το οποίο το 30.1% αποτελούν τα υπόγεια ύδατα και μόνο το 0.3% αποτελούν τα επιφανειακά. Τα υπόγεια και τα επιφανειακά ύδατα αποτελούν την πρώτη επιλογή για παροχή πόσιμου νερού. Τις τελευταίες δεκαετίες, όμως, παρατηρείται μια διαρκής μείωση των αποθεμάτων αυτών, η οποία έχει σοβαρό αντίκτυπο στην ζωή των ανθρώπων.

Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γης, η κατάχρηση των φυσικών πόρων αλλά και η μόλυνση του νερού έχουν ως αποτέλεσμα η διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού διαρκώς να μειώνεται και να μην επαρκεί έτσι ώστε να καλύψει τις ανάγκες της σύγχρονης εποχής. Σε περιοχές με ξηρό κλίμα το πρόβλημα εντείνεται, και συχνά, μάλιστα, εντοπίζεται και το φαινόμενο της λειψυδρίας.

Η αύξηση ασθενειών και θανάτων, η μείωση παραγωγής αγαθών, η μείωση της βιοποικιλότητας, η διατάραξη της λειτουργίας των οικοσυστημάτων, η μετανάστευση πληθυσμών, η ερημοποίηση περιοχών καθώς και η φτώχεια αποτελούν κάποιες από τις επιπτώσεις που παρατηρούνται εξαιτίας της έντονης λειψυδρίας.

Όπως είναι αντιληπτό, το νερό αποτελεί το σημαντικότερο αγαθό για τη ζωή του πλανήτη και επομένως η διαχείριση του προβλήματος σχετικά με το φαινόμενο της λειψυδρίας και η εύρεση μιας βιώσιμης λύσης αποτελούν πολύ υψηλής σημασίας θέματα έτσι ώστε να αποφευχθούν μη αντιστρεπτές καταστάσεις.

Στην Ελλάδα, αν και ακόμα το πρόβλημα δεν είναι ίδιου μεγέθους σε σχέση με άλλες περιοχές του πλανήτη, οι ενδείξεις δείχνουν ότι είναι πολύ πιθανό στο άμεσο μέλλον να υπάρξει σοβαρό πρόβλημα λειψυδρίας σε τοπικό επίπεδο. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο την κακή διαχείριση στη χρήση του νερού, τις κακές πρακτικές άρδευσης, και τις μεγάλες απώλειες στα δίκτυα διανομής.

Βέβαια, ήδη, πολλά νησιά της χώρας (Κυκλάδες και Δωδεκάνησα) ή είναι άνυδρα ή αντιμετωπίζουν περιόδους λειψυδρίας, ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο που υπάρχει ραγδαία αύξηση της ζήτησης νερού εξαιτίας του τουρισμού. Τόσο το κλίμα αυτών των νησιών όσο και το γεγονός ότι δεν υπάρχουν κατάλληλες υποδομές δυσχεραίνουν την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών των κατοίκων. Αρκετά νησιά της

χώρας καλύπτουν ακόμα τις ανάγκες του σε νερό με μεταφερόμενες ποσότητες ύδατος με δεξαμενόπλοια είτε από την ηπειρωτική Ελλάδα είτε από γειτονικά νησιά που έχουν αποθέματα. Η λύση αυτή, όμως, δεν είναι καθόλου συμφέρουσα αφού το κόστος της μεταφοράς είναι αρκετά υψηλό και μάλιστα το νερό είναι κακής ποιότητας, και προφανώς δε χρησιμοποιείται ως πόσιμο. Επίσης, το μόνο που κατορθώνεται είναι να καλυφθεί η ζήτηση μόνο για μια συγκεκριμένη περίοδο, και όχι με οικονομικό τρόπο αφού δαπανώνται υπέρογκα ποσά. Έτσι, δεν δημιουργούνται κατάλληλες υποδομές για την ουσιαστική επίλυση του προβλήματος σε βάθος χρόνου. Η εύρεση, λοιπόν, μιας οικονομικά συμφέρουσας και βιώσιμης λύσης αποτελεί επιτακτική ανάγκη έτσι ώστε η μεταφορά νερού με υδροφόρες να είναι μια επιλογή ανάγκης και όχι η επικρατούσα λύση του προβλήματος.

Η κατασκευή μονάδων αφαλάτωσης αποτελεί μια τέτοια λύση προκειμένου να εξοικονομηθεί νερό και να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της λειψυδρίας σε βάθος χρόνου. Στα νησιά, μάλιστα, αποτελεί μία εφικτή λύση καθώς μπορούν να εκμεταλλευτούν το θαλασσινό νερό αλλά και να αξιοποιήσουν το δυναμικό σε ΑΠΕ (άνεμος, ηλιακή ακτινοβολία) που υπάρχει. Είναι προφανές ότι για την εγκατάσταση μια μονάδας αφαλάτωσης μεγάλο ρόλο παίζει η πηγή ενέργειας που θα την τροφοδοτεί, καθώς αυτή η συνιστώσα θα επηρεάσει ουσιαστικά και το κόστος παραγωγής νερού. Η πλειονότητα των νησιών στην Ελλάδα που αντιμετωπίζουν πρόβλημα λειψυδρίας δεν είναι διασυνδεδεμένα με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο ή έχουν εγκατεστημένες γεννήτριες ντίζελ, οι οποίες έχουν ιδιαίτερα υψηλές εκπομπές ρύπων στο περιβάλλον και υψηλό κόστος λειτουργίας. Τις τελευταίες δεκαετίες σε παγκόσμιο επίπεδο, κρίνεται επιτακτική η ανεξάρτηση της ηλεκτροπαραγωγής από το πετρέλαιο και τον άνθρακα καθώς τα αποθέματα των πηγών αυτών έχουν αρχίσει να εξαντλούνται και επιβαρύνουν και το περιβάλλον. Η στροφή προς την επιλογή των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας μπορεί πραγματικά να αποτελέσει λύση στο πρόβλημα καθώς είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές, φιλικές προς το περιβάλλον και έχουν και χαμηλό λειτουργικό κόστος. Η μονάδα αφαλάτωσης μπορεί να αξιοποιήσει την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται από τις ΑΠΕ και με αυτό τον τρόπο να μην επιβαρύνει το ηλεκτρικό δίκτυο αλλά και να μειώσει το κόστος παραγωγής του πόσιμου νερού.

Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία της αφαλάτωσης έχει ωριμάσει αρκετά. Ήδη έχουν εγκατασταθεί σε αρκετά νησιά μονάδες αφαλάτωσης και υπάρχουν κάποια καλά παραδείγματα εφαρμογών. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί η μονάδα

αφαλάτωσης της Μήλου, η οποία λειτουργεί αντλώντας την ενέργεια που χρειάζεται από αιολικό πάρκο, το οποίο είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο.

1.2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αντικείμενο της μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η μελέτη συστημάτων συνδυασμένης διαχείρισης νερού και ενέργειας, που έχουν ως διεπιφάνεια μονάδες αφαλάτωσης, οι οποίες καταναλώνουν ενέργεια κατά την επεξεργασία και μεταφορά του νερού. Με βάση το πρόσφατα κατασκευασμένο σύστημα αιολικού πάρκου και μονάδας αφαλάτωσης στο νησί της Μήλου, αναπτύσσεται ένα μοντέλο προσομοίωσης του υδατικού ισοζυγίου του νησιού, για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας που παράγεται από το αιολικό πάρκο για την ενεργειακή κάλυψη της μονάδας. Το μοντέλο βασίζεται στα πραγματικά τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος και σε προσεγγιστικά ανεμολογικά δεδομένα και δεδομένα υδατικών αναγκών για το νησί, με έτος αναφοράς το 2020. Η προσομοίωση γίνεται με ωριαίο χρονικό βήμα, για συνολικό μήκος 10 έτη. Το μοντέλο εφαρμόστηκε για τρεις διαχειριστικές λύσεις που η κάθε μια αφορά σε διαφορετική λειτουργία του συστήματος. Σκοπός είναι η αξιολόγηση της λειτουργίας του συστήματος με βάση διάφορους τεχνοοικονομικούς δείκτες, καθώς και η βελτιστοποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών των κύριων υποδομών του.

1.3. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια.

Το παρόν **πρώτο κεφάλαιο** αποτελεί μια εισαγωγή όσον αφορά το παγκόσμιο πρόβλημα της λειψυδρίας και το αντικείμενο μελέτης, ενώ παρουσιάζεται η δομή καθώς και το περιεχόμενο των κεφαλαίων της παρούσας εργασίας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** της εργασίας γίνεται αναφορά στην αφαλάτωση και στις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι τρόποι σύνδεσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με μονάδες αφαλάτωσης έτσι ώστε να καλύπτονται οι ενεργειακές καταναλώσεις της μονάδας από ανάλογες τεχνολογίες. Αναλύεται, επίσης, η κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα όσον αφορά τις εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης που υπάρχουν στα διάφορα νησιά.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται αναλυτική παρουσίαση της περιοχής μελέτης, της νήσου Μήλου όσον αφορά τα γεωγραφικά, γεωλογικά και μετεωρολογικά της

χαρακτηριστικά. Επίσης, περιγράφεται το σύστημα ηλεκτροδότησης του νησιού καθώς και όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας αφαλάτωσης που έχει εγκατασταθεί.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν για το μοντέλο προσομοίωσης και αναλύεται ο τρόπος επεξεργασίας τους.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για τη δημιουργία του μοντέλου ωριαίας προσομοίωσης σχετικά με το υδατικό ισοζύγιο του νησιού και την ενεργειακή κάλυψη της μονάδας από ΑΠΕ (αιολική ενέργεια). Για την κάθε λύση ξεχωριστά περιγράφονται τα βήματα της προσομοίωσης καθώς και τα μεγέθη που υπολογίστηκαν. Παρουσιάζονται, επίσης, οι δείκτες αξιολόγησης.

Στο **έκτο κεφάλαιο** παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση σχετικά με την λειτουργία της μονάδας για την κάθε διαχειριστική λύση. Με βάση τα αποτελέσματα των δεικτών αξιολόγησης που προέκυψαν γίνεται μια σύγκριση των λύσεων και έπειτα μια παραμετρική ανάλυση. Επίσης, πραγματοποιείται βελτιστοποίηση του συστήματος βάσει της αξιοπιστίας, του κόστους και των εσόδων για την πιο αξιόπιστη διαχειριστική λύση που βρέθηκε.

Τέλος, στο **έβδομο κεφάλαιο** γίνεται ανακεφαλαίωση της εργασίας, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτή και ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

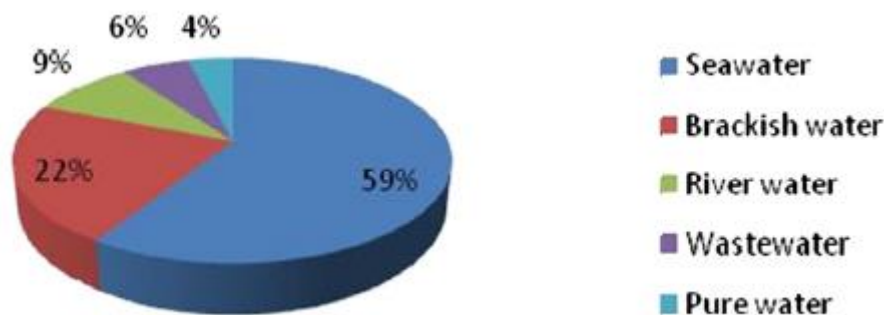
2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το έντονο πρόβλημα της λειψυδρίας κάνει όλο και πιο επιτακτική την ανάγκη για την ουσιαστική αντιμετώπιση του και την εύρεση μιας βιώσιμης λύσης. Η αφαλάτωση αποτελεί μια τάση προς αυτή την κατεύθυνση και αποτελεί ίσως την πιο αξιόπιστη λύση για την εξασφάλιση πόσιμου νερού σε περιοχές που εντοπίζεται το πρόβλημα.

Παρόλο που οι άμεσα εκμεταλλεύσιμοι υδάτινοι πόροι ολοένα και λιγοστεύουν, υπάρχουν πηγές οι οποίες βρίσκονται σε αφθονία αλλά πρέπει πρώτα το νερό τους να υποστεί επεξεργασία πριν δοθεί προς κατανάλωση. Μια τέτοια πηγή είναι το θαλασσίνο νερό των ωκεανών, το οποίο αποτελεί περίπου το 97% των υδάτινων πόρων του πλανήτη αλλά δεν δύναται να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο λόγω της υφάλμυρης σύστασης του. Σε αυτό, λοιπόν, βασίζεται η ιδέα της αφαλάτωσης.

Ως «αφαλάτωση» χαρακτηρίζεται οποιαδήποτε διεργασία διαχωρισμού των αλάτων και μετάλλων από αλατούχα υδατικά διαλύματα. Κατ' επέκταση, η αφαλάτωση αποτελεί μια μέθοδο ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσίνο, υφάλμυρο ή χαμηλής ποιότητας νερό. Η μέθοδος εφαρμόζεται, κυρίως, σε παράκτιες περιοχές με ξηρό κλίμα, οι οποίες αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα έλλειψης πόσιμου νερού και αποτελεί μια τεχνολογικά αλλά και οικονομικά εφικτή λύση.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1, η αφαλάτωση θαλασσινού νερού είναι η πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενη λύση για την αντιμετώπιση της έλλειψης νερού παράγοντας πόσιμο, το οποίο μπορεί άμεσα να καταναλωθεί. Στη συνέχεια, ακολουθεί το υφάλμυρο νερό και το χαμηλής ποιότητας νερό των ποταμιών κ.α. Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί ότι το νερό κατηγοριοποιείται βάσει της περιεκτικότητας του σε συνολικά διαλυμένα στερεά (TDS): σε πόσιμο ($TDS < 1000 \text{ mg/L}$), υφάλμυρο ($1000 \text{ mg/L} < TDS < 11000 \text{ mg/L}$) και θαλασσίνο ($TDS > 35000 \text{ mg/L}$) (Tzen, 2010).



Σχήμα 2.1 Κατανομή της συνολικής εγκατεστημένης χωρητικότητας αφαλάτωσης ανά τύπο νερού τροφοδοσίας (Burn *et al.*, 2015).

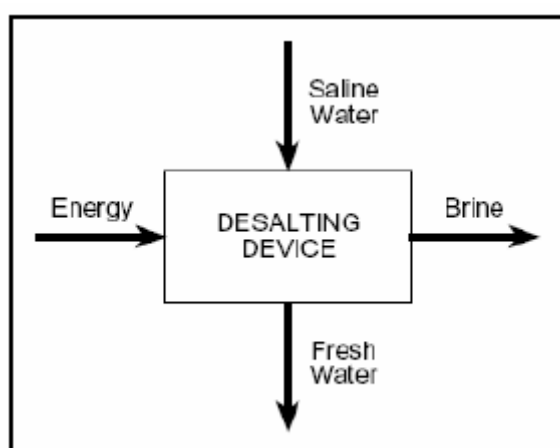
Οι πρώτες προσπάθειες για αφαλάτωση νερού πραγματοποιήθηκαν από τους αρχαίους χρόνους. Ιστορικά η ιδέα της αφαλάτωσης ανάγεται στους αρχαίους Έλληνες ναυτικούς που την εφάρμοζαν κατά τον 4ο π.Χ. αιώνα εξατμίζοντας το θαλασσίνο νερό, όπως περιγράφεται και από τον Αριστοτέλη. Τον 18ο αιώνα, με την ανάπτυξη της ατμοπλοΐας, η αναγκαιότητα μεγάλης ποσότητας ύδατος στη χρήση των ατμομηχανών κατέστησε επιτακτική την ανάγκη για αφαλάτωση του θαλασσινού νερού ώστε να μη προκαλείται ταχύτατη διάβρωση των μηχανών. Έτσι, το 1869 δόθηκε στην Αγγλία το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αφαλάτωσης νερού και μάλιστα τον ίδιο αμέσως χρόνο οι Άγγλοι εγκατέστησαν τη πρώτη μεγάλη μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος στο Άντεν για τις ανάγκες του στόλου τους. Έπειτα ο πρώτος μεγάλος σταθμός αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος εγκαταστάθηκε στην Αρούμπα (τότε Ολλανδικές Αντίλλες) το 1930 για εμπορική και βιομηχανική χρήση. Ουσιαστικά όμως, η αφαλάτωση άρχισε να αναπτύσσεται κατά τον 20ο αιώνα με την εμφάνιση λειψυδρίας σε πολλές περιοχές της Γης. Ειδικότερα, μετά το τέλος του 2ου Παγκόσμιου Πολέμου το ενδιαφέρον στράφηκε έντονα προς τη μέθοδο αυτή και έτσι ξεκίνησε έρευνα με σκοπό την ανάπτυξη της. Κατά το τέλος του 1960 η έρευνα των τεχνολογιών αφαλάτωσης είχε δείξει σημαντική πρόοδο με αύξηση αλλά και βελτίωση των τεχνικών και εφαρμογών αφαλάτωσης. Έτσι κατά την δεκαετία του 1970 άρχισαν να τίθενται σε λειτουργία μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης στη Ρωσία, στις ΗΠΑ, το Μεξικό, τη Σαουδική Αραβία, την Αίγυπτο, το Ισραήλ κ.ά., ενώ στο δυτικό κόσμο η Ισπανία ξεκίνησε μαζική χρήση αφαλάτωσης στα Κανάρια Νησιά.

Στις μέρες μας, λειτουργούν πάνω από 23000 μονάδες αφαλάτωσης παγκοσμίως σε περισσότερες από 150 χώρες. Πάνω από το 50% αυτών βρίσκονται στη Μέση Ανατολή, όπου η αφαλάτωση αποτελεί μια ιδιαίτερα διαδεδομένη μέθοδο εξαιτίας της

έλλειψης νερού που υπάρχει στις περιοχές εκεί (Clayton, 2015). Επιπλέον αρκετές χώρες της Μεσογείου, όπως για παράδειγμα είναι η Μάλτα αλλά και η Ισπανία, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιούν συστήματα αφαλάτωσης προκειμένου να καλύψουν τις υδατικές τους ανάγκες. Μάλιστα το μεγαλύτερο εργοστάσιο αφαλάτωσης της Ευρώπης βρίσκεται σήμερα στο Καρμπονέρας της Νότιας Ισπανίας. Επίσης, και άλλες χώρες παγκοσμίως, όπως η Κίνα, η Αυστραλία, η Σιγκαπούρη κ.ά. έχουν ξεκινήσει να επενδύουν σε μονάδες αφαλάτωσης για την παραγωγή καθαρού νερού, εξαιτίας της συνεχούς πληθυσμιακής τους αύξησης και της αναπτυσσόμενης βιομηχανίας τους.

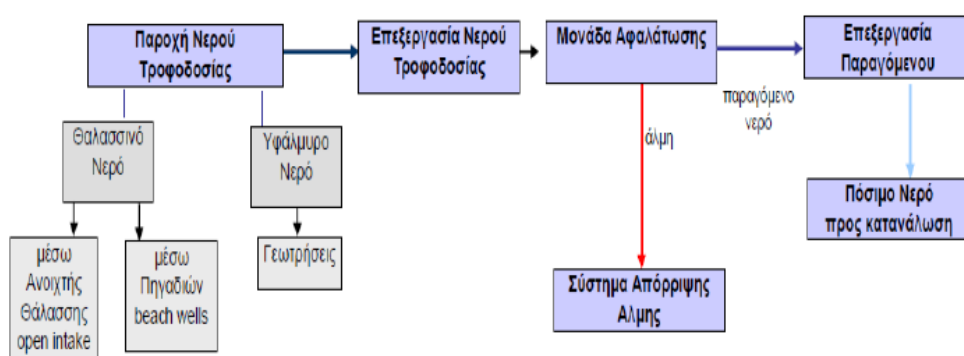
2.2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Αρκετές μέθοδοι αφαλάτωσης άρχισαν να αναπτύσσονται, καθώς η τεχνολογία αυτή ξεκίνησε να χρησιμοποιείται κατά τον 20ο αιώνα, με την εμφάνιση προβλημάτων λειψυδρίας σε πολλές περιοχές παγκοσμίως. Αν και υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από τεχνολογίες αφαλάτωσης, οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια του κεφαλαίου, η βασική διαδικασία και τα επί μέρους στάδια όλου του συστήματος παραμένουν ίδια. Συγκεκριμένα, η βασική αρχή της αφαλάτωσης στηρίζεται στον αποτελεσματικό διαχωρισμό των αλάτων από το θαλασσινό νερό χρησιμοποιώντας την απαιτούμενη ενέργεια και παράγοντας ένα ρεύμα ύδατος με χαμηλή συγκέντρωση άλατος (ρεύμα προϊόντος) και ένα άλλο με υψηλή (άλμη ή συμπύκνωμα), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2 (Tzen, 2010).



Σχήμα 2.2 Βασική αρχή αφαλάτωσης νερού (Tzen, 2010).

Πιο αναλυτικά, όσον αφορά τα επιμέρους στάδια, το θαλασσινό νερό, αρχικά, συλλέγεται μέσω σωληνώσεων, ενώ συγχρόνως αφαιρούνται σωματίδια προκειμένου να έχει καλύτερη απόδοση η διαδικασία καθώς και να βελτιωθεί η ποιότητα του νερού (Water intake). Στη συνέχεια, το ρεύμα του θαλασσινού νερού φιλτράρεται ή και επεξεργάζεται ανάλογα με τη μέθοδο αφαλάτωσης (Pretreatment). Το νερό μετά από αυτό το στάδιο εισέρχεται στο κύριο μέρος της εγκατάστασης της μονάδας αφαλάτωσης (Desalination). Στο στάδιο αυτό, το σύστημα αφαλάτωσης διαχωρίζει το ρεύμα εισόδου σε ένα ρεύμα με αφαλατωμένο νερό και σε ένα ρεύμα με συμπυκνωμένη άλμη το οποίο και απορρίπτεται. Στη συνέχεια, το παραγόμενο νερό υφίσταται εκ νέου επεξεργασία προκειμένου να είναι κατάλληλο για χρήση (Post Treatment). Τέλος, πολλές φορές, το παραγόμενο νερό εάν δεν καταναλωθεί άμεσα αποθηκεύεται σε δεξαμενές (Water Storage). Η παραπάνω γενική διαδικασία, η οποία αφορά τις αρχές λειτουργίας μιας μονάδας αφαλάτωσης, φαίνεται και στο Σχήμα 2.3.

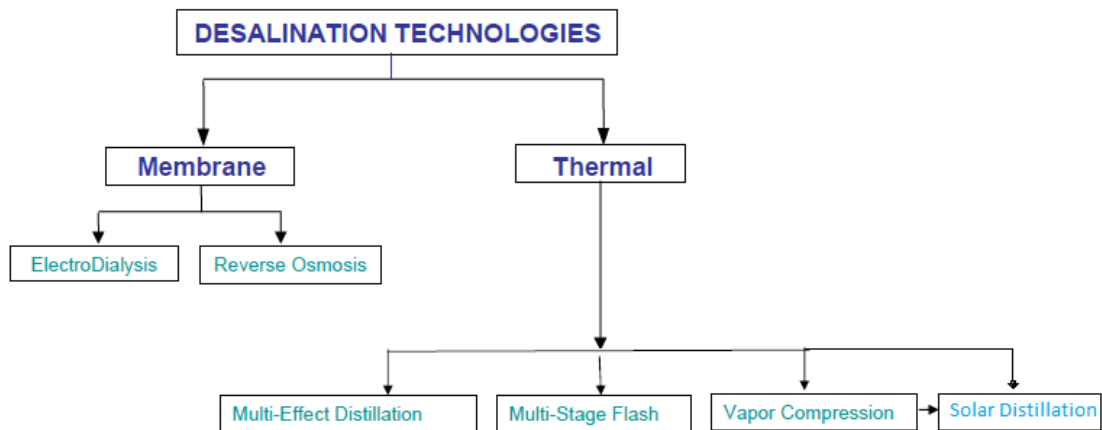


Σχήμα 2.3 Τυπικό διάγραμμα ροής μονάδας αφαλάτωσης (Ξενάριος, 2017).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι αφαλάτωσης, οι οποίες στηρίζονται στην παραπάνω διαδικασία. Οι μέθοδοι αυτές μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το μηχανισμό διαχωρισμού σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι διεργασίες αλλαγής φάσης, για τις οποίες απαιτείται θερμική ενέργεια και παρατηρείται αλλαγή της φυσικής τους κατάστασης (θερμικές διεργασίες). Αντίστοιχα, στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται οι διεργασίες που πραγματοποιούνται σε μια μόνο φάση, την υγρή, ή διεργασίες που χρησιμοποιούν μεμβράνες για τον διαχωρισμό του νερού από τα άλατα και τις προσμίξεις (Fritzmann, 2007). Συνοπτικά οι κυριότερες μέθοδοι αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

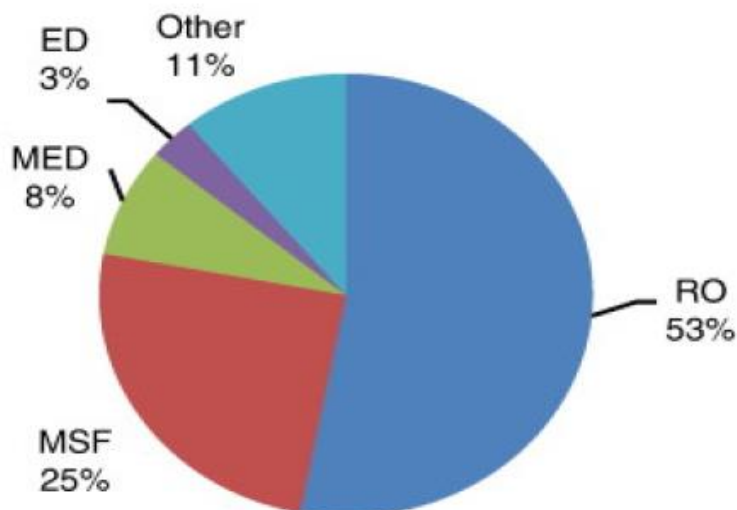
- Θερμικές Διεργασίες ή Αλλαγής Φάσης (Thermal or Phase-change processes)
 1. Άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (Multi-Stage Flash, MSF)
 2. Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (Multi-Effect Distillation, MED)
 3. Απόσταξη με συμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC)
 4. Ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation)
- Διεργασίες Μεμβρανών (Membrane based desalination technologies)
 1. Αντίστροφη Ώσμωση (Reverse Osmosis, RO)
 2. Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED)

Στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζονται οι σημαντικότερες τεχνολογίες αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως.



Σχήμα 2.4 Τεχνολογίες Αφαλάτωσης (Tzen, 2010).

Οι κυρίαρχες τεχνολογίες αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται σήμερα βασίζονται στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης (RO) και στην άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (MSF), οι οποίες συνιστούν το 53% και 25% της παγκόσμιας χωρητικότητας, αντίστοιχα (Σχήμα 2.5).



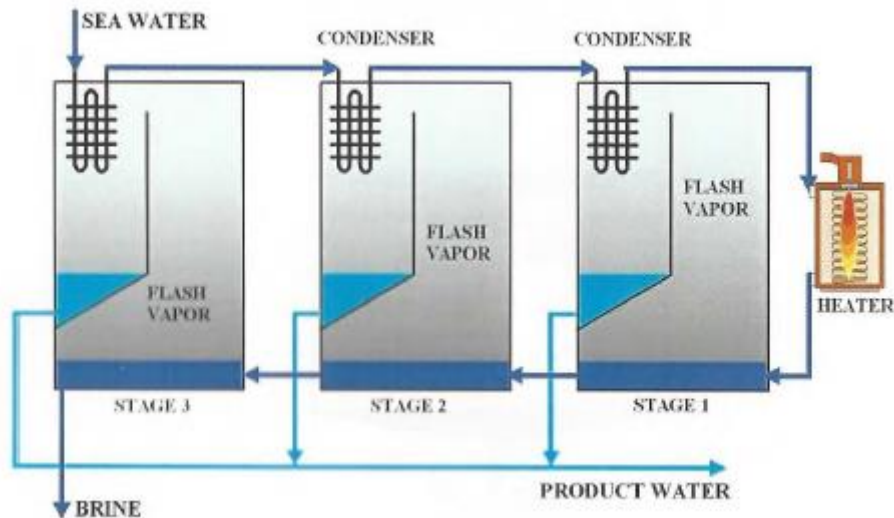
Σχήμα 2.5 Παγκόσμια κατανομή τεχνολογιών αφαλάτωσης (Eshoul *et al.*, 2015).

2.2.1. Θερμικές Διεργασίες ή Αλλαγής Φάσης (Thermal or Phase-change processes)

2.2.1.1. Άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (Multiple Stage Flashing, MSF)

Η άμεση απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (MSF) βασίζεται στη δημιουργία ατμού από το θαλασσινό νερό, η οποία οφείλεται σε απότομη μείωση της πίεσης όταν το ρεύμα του θαλασσινού νερού εισέρχεται σε έναν θάλαμο κενού (Kalogirou, 2005).

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου είναι η εξής: το αλμυρό και προς αφαλάτωση νερό θερμαίνεται υπό μια ορισμένη πίεση σε θερμοκρασία ελάχιστα χαμηλότερη του σημείου βρασμού του και στη συνέχεια εισάγεται σε ένα θάλαμο, ο οποίος βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση από αυτή του διαλύματος. Με αυτό τον τρόπο προκαλείται ακαριαίος βρασμός του διαλύματος αυτού, ο οποίος προκαλεί το σχηματισμό ατμών. Ο ατμός έρχεται σε επαφή με τους σωλήνες που μεταφέρουν το κρύο θαλασσινό νερό, υγροποιείται και συλλέγεται ως καθαρό νερό. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται στους επόμενους θαλάμους με τη πίεση διαρκώς να μειώνεται και την άλμη να προωθείται σε αυτούς μέχρι που τελικά απορρίπτεται (Clayton, 2015). Μια τυπική εγκατάσταση MSF μπορεί να περιέχει από 4 ως 40 βαθμίδες, να έχει δυναμικότητα από 4-30 εκ. L/d και να λειτουργεί σε θερμοκρασίες 90-120 °C. Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου αυτής απεικονίζεται στο Σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6 Διάγραμμα λειτουργίας της μεθόδου MSF (Clayton, 2015).

Πολλές εγκαταστάσεις της μεθόδου MSF βρίσκονται δίπλα σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας για καλύτερη αξιοποίηση του καυσίμου. Έτσι, ο ατμός υψηλής πίεσης εκτονώνεται στον ατμοστρόβιλο για παραγωγή ισχύος και στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση. Η χρήση αυτής της μεθόδου ενδείκνυται όταν υπάρχει απαίτηση για μεγάλη ημερήσια παραγωγή νερού, υψηλής ποιότητας και είναι διαθέσιμη κάποια πηγή θερμότητας.

Στην Εικόνα 2.1 απεικονίζεται μια μονάδα αφαλάτωσης της μεθόδου MSF στο Ντουμπάι.



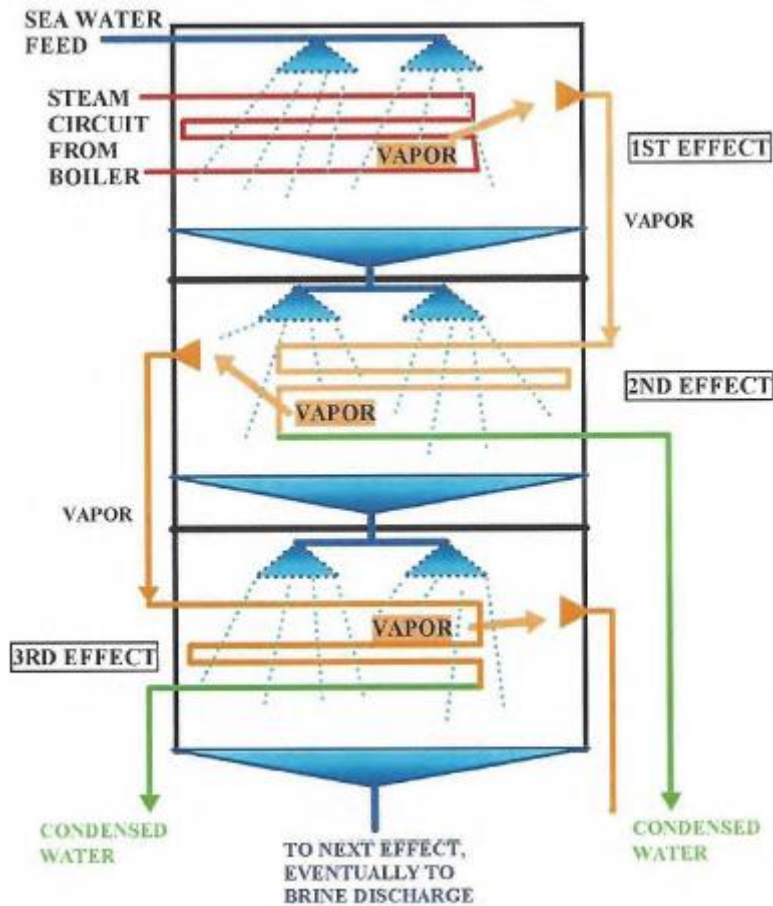
Εικόνα 2.1 Μονάδα αφαλάτωσης με τη μέθοδο MSF στο Ντουμπάι (<https://commons.wikimedia.org/>).

2.2.1.2. Απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (Multiple Effect Distillation, MED)

Η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (MED) είναι παρόμοια με αυτή των πολλαπλών βαθμίδων (MSF), αναπτύχθηκε νωρίς και υπήρχαν εγκαταστάσεις της από τη δεκαετία του '50. Αποτελεί μία από τις παλαιότερες μεθόδους αφαλάτωσης και με μεγάλο θερμικό βαθμό απόδοσης. Παρόλα αυτά, σήμερα, δεν είναι τόσο διαδεδομένη καθώς σταδιακά τη θέση της πήρε η μέθοδος πολλαπλών βαθμίδων (MSF).

Η μέθοδος MED, λοιπόν, λαμβάνει χώρα σε μια σειρά από ατμοποιητές (effects) με συνεχώς μειωμένη πίεση στους διάφορους θαλάμους (Khawaji, 2007). Με αυτό τον τρόπο, το ρεύμα τροφοδοσίας θαλασσινού νερού υποβάλλεται σε πολλαπλή ατμοποίηση. Σε πρώτο στάδιο, το θαλασσινό νερό εισέρχεται στο θάλαμο και φτάνει στο σημείο βρασμού μετά την προθέρμανση του στους σωλήνες. Ψεκάζεται, μάλιστα, στην επιφάνεια των σωλήνων του ατμοποιητή προκειμένου να εξατμιστεί αποτελεσματικότερα και γρηγορότερα. Οι σωλήνες μέσω των οποίων μεταφέρεται ο ατμός, απορροφούν θερμότητα από τον ατμό που κυκλοφορεί. Μόνο ένα μέρος του θαλασσινού νερού που ψεκάζεται στο πρώτο στάδιο ατμοποιείται. Το υπόλοιπο διοχετεύεται στο δεύτερο στάδιο και ψεκάζεται στη συστοιχία σωλήνων. Αυτοί οι σωλήνες, με τη σειρά τους, θερμαίνονται από τον ατμό που έχει δημιουργηθεί στο πρώτο στάδιο. Ο ατμός συμπυκνώνεται σε καθαρό νερό το οποίο συλλέγεται, ενώ προσδίδει θερμότητα για να ατμοποιηθεί το υπόλοιπο θαλασσινού νερού στο επόμενο στάδιο. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται από στάδιο σε στάδιο με ολοένα χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία.

Το Σχήμα 2.7 απεικονίζει τη διαδικασία της μεθόδου της απόσταξης πολλαπλής επίδρασης (MED).



Σχήμα 2.7 Διάγραμμα λειτουργίας της μεθόδου MED (Clayton, 2015).

Να σημειωθεί ότι η μέθοδος MED, όπως και η μέθοδος MSF, απαιτεί ποσότητα ατμού, κάτι το οποίο προϋποθέτει να υπάρχει κάποια κοντινή θερμοηλεκτρική μονάδα. Επίσης, έχει μικρότερη κατανάλωση ισχύος σε σχέση με την MSF και συγχρόνως υψηλότερο βαθμό απόδοσης.

Στην Εικόνα 2.2 φαίνεται μία εγκατάσταση της μεθόδου απόσταξης πολλαπλής επίδρασης (MED) στην Κίνα.



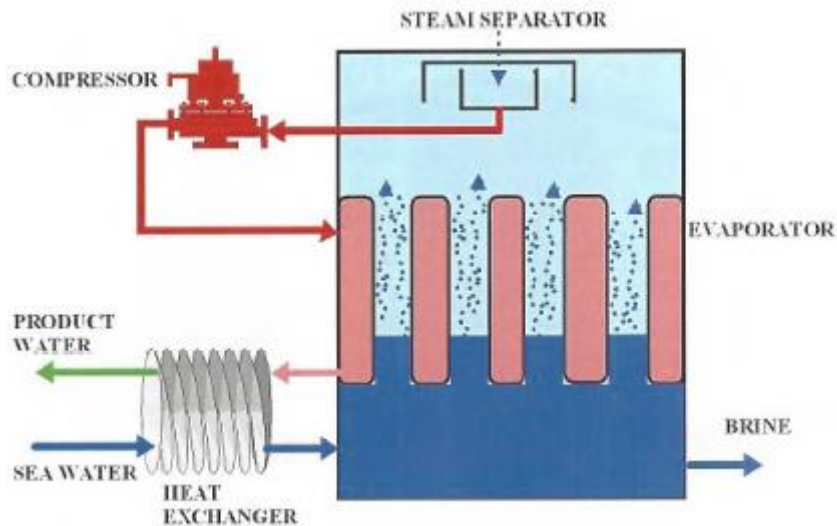
Εικόνα 2.2 Μονάδα αφαλάτωσης με τη μέθοδο MED στην Κίνα (Semiat, 2010).

2.2.1.3. Απόσταξη με συμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC)

Η μέθοδος της απόσταξης με συμπίεση ατμών (VC) αποτελεί την πιο απλή, αξιόπιστη και αποδοτική διεργασία χωρίς να έχει πολλαπλά στάδια.

Στην απόσταξη με συμπίεση ατμών η θερμική ενέργεια για την ατμοποίηση του θαλασσινού νερού προέρχεται από τη συμπίεση του ατμού. Η μέθοδος εκμεταλλεύεται την αρχή σύμφωνα με την οποία η μείωση της θερμοκρασίας του σημείου βρασμού επιτυγχάνεται με τη μείωση της πίεσης (Khawaji, 2007). Κατά τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ένας συμπιεστής, ο οποίος θα προσδώσει θερμότητα ώστε να ατμοποιηθεί το θαλασσινό νερό. Ο συμπιεστής δημιουργεί ένα κενό στον ατμοποιητή και στη συνέχεια συμπιέζει τον ατμό, προερχόμενο από τον ατμοποιητή, και τον συμπυκνώνει μέσα στη συστοιχία των σωλήνων. Το θαλασσινό νερό ψεκάζεται στην επιφάνεια των σωλήνων και ατμοποιείται μερικώς, παράγοντας περισσότερο ατμό.

Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.8.



Σχήμα 2.8 Διάγραμμα λειτουργίας της μεθόδου VC (Clayton, 2015).

Στη μέθοδο της απόσταξης με συμπίεση ατμών (VC) απουσιάζει κάποια πηγή θερμότητας, αφού η εξάτμιση ουσιαστικά προκαλείται αποκλειστικά και μόνο απ' τη χαμηλή πίεση, δηλαδή λειτουργεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτή αποτελεί και την κύρια διαφορά με τις προηγούμενες δυο μεθόδους που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Επίσης, η μέθοδος VC έχει και χαμηλότερη ειδική ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με τις προηγούμενες. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται γενικά σε μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις μονάδων αφαλάτωσης και παράγει μέχρι και 3,000 m³/d.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι συχνά ο ατμός μπορεί να συμπιεστεί χρησιμοποιώντας έναν μηχανικό συμπιεστή, ο οποίος λειτουργεί από ένα ηλεκτρικό μοτέρ ή ένα βενζινοκινητήρα. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται μηχανική συμπίεση ατμών (MVC) (Tzen, 2010).

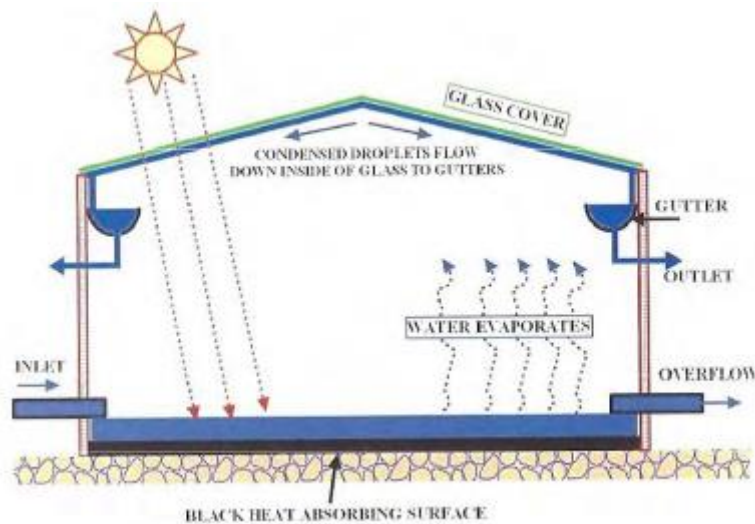
Στην Εικόνα 2.3 φαίνεται μια εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης με τη μέθοδο της συμπίεσης ατμών VC δυναμικότητας 2,000 m³/d στο Ras Al Khaimah στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα.



Εικόνα 2.3 Μονάδα Αφαλάτωσης με τη μέθοδο VC στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα (<http://www.sasakura.co.jp/>).

2.2.1.4. Ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation)

Οι μονάδες ηλιακής απόσταξης αναπαράγουν τον υδρολογικό κύκλο σε μικρή κλίμακα. Συγκεκριμένα, οι ακτίνες του ήλιου διέρχονται στο εσωτερικό ενός ηλιακού συλλέκτη και θερμαίνουν το θαλασσινό νερό, το οποίο βρίσκεται στον πάτο και έχει διοχετευτεί εκεί μέσω σωλήνων. Έτσι, αυτό εξατμίζεται, παράγεται ατμός και ανεβαίνει στην κεκλιμένη οροφή, όπου συμπυκνώνεται και εν τέλει συλλέγεται ως καθαρό νερό (Khawaji, 2007). Στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζεται η λειτουργία της μεθόδου.



Σχήμα 2.9 Διάγραμμα λειτουργίας της μεθόδου SD (Clayton, 2015).

Αξίζει να επισημανθεί ότι η ηλιακή απόσταξη εφαρμόζεται σε περιοχές με υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια του έτους. Το γεγονός, όμως, ότι οι συσκευές της συγκεκριμένης μεθόδου χρησιμοποιούν λιγότερο από το 50% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, καθιστά τη μέθοδο ενεργειακά απαιτητική με αρκετά χαμηλή απόδοση. Επομένως, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται μόνο σε μικρές εγκαταστάσεις ή για οικιακή χρήση. Οι εγκαταστάσεις έχουν ελάχιστο κόστος λειτουργίας καθώς δεν απαιτούν κάποιο είδους καύσιμο, ενώ το μοναδικό τους κόστος σχετίζεται με τα υλικά κατασκευής. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της μεθόδου, όμως, αποτελεί το γεγονός ότι απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις γης για την εγκατάσταση. Τέλος, αναφέρεται ότι το νερό που παράγεται δεν είναι απαλλαγμένο από μικροοργανισμούς και απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία, καθώς δεν βράζει σε υψηλή θερμοκρασία.

2.2.2. Διεργασίες Μεμβρανών (Membrane based desalination technologies)

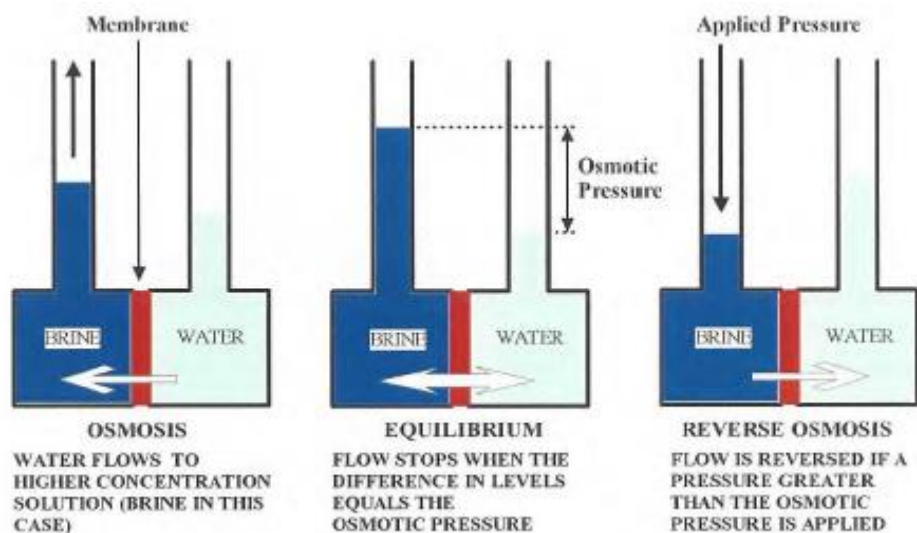
2.2.2.1. Αντίστροφη Ώσμωση (Reverse Osmosis, RO)

Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης (RO) αποτελεί την πιο διαδεδομένη διεργασία αφαλάτωσης που χρησιμοποιεί μεμβράνες. Η μέθοδος βασίζεται στο φαινόμενο της ώσμωσης, σύμφωνα με το οποίο όταν δυο διαλύματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις χωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη, η οποία δεν επιτρέπει τη διέλευση κάποιων ουσιών, τότε το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση περνάει μέσα από τη μεμβράνη προς αυτό με τη μεγαλύτερη, μέχρι να εξισωθούν οι δύο συγκεντρώσεις (Clayton, 2015). Η ελάχιστη πίεση που πρέπει να ασκηθεί εξωτερικά στην πλευρά του διαλύματος με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση, ώστε να εμποδιστεί το φαινόμενο της ώσμωσης ονομάζεται ωσμωτική πίεση.

Κατά τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης, λοιπόν, εφαρμόζεται πίεση δια μέσου της μεμβράνης στην πλευρά του πυκνότερου διαλύματος (του θαλασσινού νερού), έτσι ώστε να αντιστραφεί η ροή και να υπάρξει τελικά από την πλευρά της μεγαλύτερης συγκέντρωσης προς αυτή της μικρότερης (Clayton, 2015). Ως αποτέλεσμα, το ρεύμα εισόδου του θαλασσινού νερού διέρχεται αναγκαστικά από τη μεμβράνη. Έτσι προκύπτει ρεύμα εξόδου αμελητέας συγκέντρωσης σε σχέση με το ρεύμα εισόδου. Να επισημανθεί ότι η εφαρμοζόμενη πίεση θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη της ωσμωτικής πίεσης που δημιουργείται εκατέρωθεν της μεμβράνης, έτσι ώστε το θαλασσινό νερό να

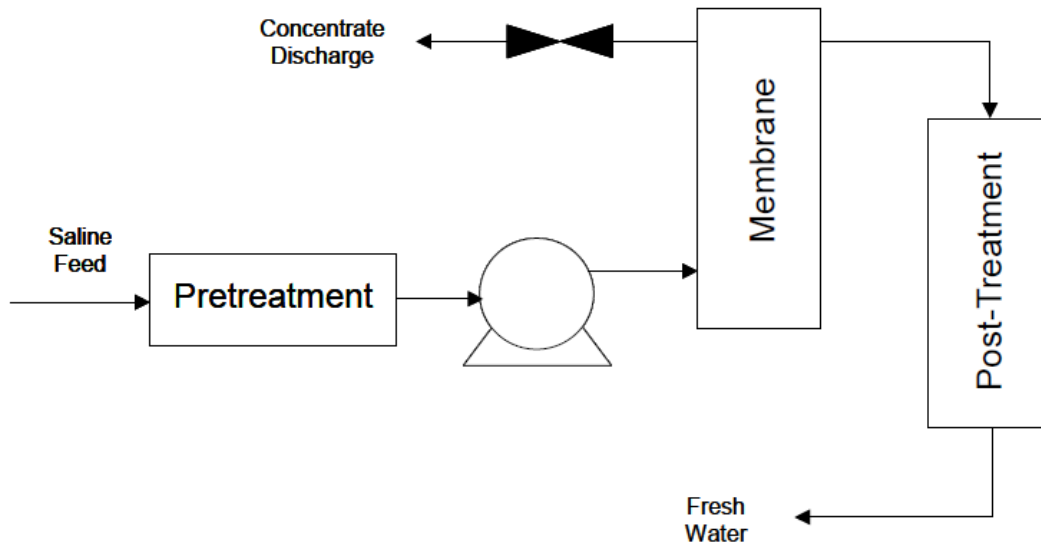
μπορέσει να διέλθει μέσα από αυτή και να παραληφθεί ως φιλτραρισμένο καθαρό νερό. Για συστήματα αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό, η απαιτούμενη πίεση συνήθως κυμαίνεται από 54 έως 80 bar, ενώ όταν χρησιμοποιείται ως νερό τροφοδοσίας υφάλμυρο νερό κυμαίνεται από 15-25 bar (Miller, 2003).

Στο Σχήμα 2.10 παρουσιάζεται το φαινόμενο της ώσμωσης, αριστερά, και της αντίστροφης ώσμωσης, δεξιά.



Σχήμα 2.10 Το φαινόμενο της ώσμωσης αριστερά και της αντίστροφης ώσμωσης δεξιά (Clayton, 2015).

Στο Σχήμα 2.11 δίνεται μια γενική απεικόνιση ενός συστήματος αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης. Πρώτα γίνεται η προεπεξεργασία του θαλασσινού νερού, ώστε να αφαιρεθούν μικροοργανισμοί και αιωρούμενα στερεά, και μετά το νερό αντλείται σε υψηλή πίεση για να είναι σε θέση να διαπεράσει την συστοιχία των μεμβρανών. Οι μονάδες συνήθως αποτελούνται από συστοιχία μεμβρανών έτσι ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή ενός ποιοτικά καλύτερου προϊόντος. Στη συνέχεια, προκύπτουν από τη διαδικασία δύο ρεύματα. Το ρεύμα της άλμης το οποίο απορρίπτεται, εάν δεν υπάρχει τρόπος να το εκμεταλλευτούμε, και το ρεύμα του πόσιμου νερού, το οποίο αφού περάσει από την τελική επεξεργασία είναι διαθέσιμο για κατανάλωση.



Σχήμα 2.11 Διαδικασίες που πραγματοποιούνται σε ένα σύστημα αφαλάτωσης RO (Miller, 2003).

Είναι φανερό ότι στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης η ενέργεια που απαιτείται καταναλώνεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στις αντλίες για τη συμπίεση του νερού, ενώ τη σημαντικότερη απώλεια ενέργειας αποτελεί η εκτόνωση της άλμης, όταν αυτή εξέρχεται με υψηλή πίεση απ' τη συσκευή. Γι' αυτό το λόγο, λοιπόν, σε μεγάλες κυρίως μονάδες, υπάρχουν συστήματα ανάκτησης της ενέργειας αυτής από την πίεση που περικλείει η άλμη να συνεισφέρει στην απαιτούμενη συνολική ενέργεια της μονάδας. Αυτό συμβαίνει για παράδειγμα, μέσω υδροστροβίλων με απόδοση μέχρι και 95% (Miller, 2003). Η μέθοδος αυτή μειώνει κατά πολύ την δαπανώμενη ενέργεια ανά m^3 αφαλατωμένου νερού, η οποία μπορεί να φτάσει ακόμα και σε εξοικονόμηση 40% της δαπανώμενης ενέργειας στην αντλία υψηλής πίεσης, λόγω μηχανικής υποβοήθησης του ηλεκτροκινητήρα από τον στρόβιλο. Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης με ανάκτηση ενέργειας (ER-RO), έχοντας την μικρότερη κατανάλωση, υπερτερεί και την καθιστά την πρώτη επιλογή για μια μονάδα αφαλάτωσης. Αυτό φαίνεται βέβαια και από την ευρεία διείσδυση της στην αγορά τα τελευταία χρόνια. Στη συνέχεια, ακολουθεί η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης χωρίς ανάκτηση ενέργειας (RO).

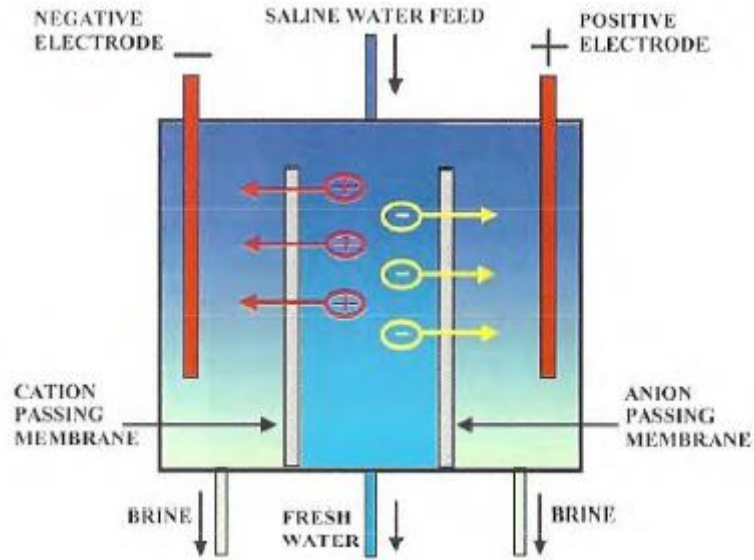
Στην Εικόνα 2.4 που ακολουθεί φαίνεται η εγκατάσταση μονάδας αφαλάτωσης με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης RO δυναμικότητας 127 εκατομμύρια m^3 /έτος στην περιοχή Hadera στο Ισραήλ.



Εικόνα 2.4 Μονάδα αφαλάτωσης με τη μέθοδο RO στο Ισραήλ (Cohen-Tanugi, 2015).

2.2.2.2. Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED)

Κατά τη μέθοδο της ηλεκτροδιάλυσης ED πραγματοποιείται μεταφορά ιόντων προκειμένου να μειωθεί η αλατότητα του νερού και τελικά να παραχθεί καθαρό νερό. Αυτό γίνεται μέσω μεμβρανών, υπό την επιρροή ηλεκτρικού πεδίου. Συγκεκριμένα, το νερό τροφοδοσίας περνάει ανάμεσα από μεμβράνες, οι οποίες έχουν φορτιστεί θετικά και αρνητικά εναλλάξ. Το αλμυρό νερό τροφοδοσίας περιέχει διαλυμένα άλατα με θετικά και αρνητικά ιόντα. Έτσι, τα ιόντα αυτά μετακινούνται προς το αντίθετο φορτισμένο ηλεκτρόδιο περνώντας μέσα από μεμβράνες, οι οποίες επιτρέπουν τη διέλευσή τους, δημιουργώντας έτσι διαμερίσματα μικρότερης και μεγαλύτερης συγκέντρωσης, τα οποία δίνουν το καθαρό αφαλατωμένο νερό και την άλμη αντίστοιχα (Σχήμα 2.12). Στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι για την αποφυγή δημιουργίας στρωμάτων επικάλυψης στις μεμβράνες και την καλύτερη λειτουργία τους, εφαρμόζεται αντιστροφή των πεδίων περίπου κάθε 20 min. Αλλάζοντας, λοιπόν, θέση στα κανάλια του προϊόντος με αυτά της άλμης, προλαμβάνεται η συσσώρευση ποσότητας άλατος στις μεμβράνες. Στο τέλος της διεργασίας πραγματοποιείται μια τελική επεξεργασία του νερού ώστε να είναι έτοιμο προς κατανάλωση (Miller, 2003).



Σχήμα 2.12 Η μέθοδος της ηλεκτροδιάλυσης (ED) (Clayton, 2015).

Η μέθοδος ED χρησιμοποιείται συνήθως σε νερά χαμηλής συγκέντρωσης αλάτων, όπως είναι τα υφάλμυρα, τα οποία περιέχουν μόνο μερικές χιλιάδες ppm διαλυμένων στερεών (Miller, 2003).

Στην Εικόνα 2.5 φαίνεται μια μονάδα αφαλάτωσης με χρήση της μεθόδου της ηλεκτροδιάλυσης ED, η οποία είναι εγκατεστημένη στην πόλη Walnut των Ηνωμένων Πολιτειών.



Εικόνα 2.5 Μονάδα Αφαλάτωσης με ED στις ΗΠΑ (<https://www.snyder-associates.com>).

2.3. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Η επιλογή και εφαρμογή της κατάλληλης τεχνολογίας κατά τη μελέτη εγκατάστασης μιας μονάδας αφαλάτωσης εξαρτάται από διάφορες κριτήρια, που είναι τα εξής (Kalogirou, 2005):

- Διαθεσιμότητα πηγών ενέργειας για την τροφοδοσία της μονάδας
- Ενεργειακές απαιτήσεις
- Ποσότητα και ποιότητα παραγόμενου νερού
- Απαιτήσεις επεξεργασίας νερού τροφοδοσίας (θαλασσινό, υφάλμυρο)
- Κόστος εξοπλισμού και εγκατάστασης γενικότερα
- Διαθεσιμότητα του χώρου που απαιτείται για την εγκατάσταση του εξοπλισμού

Τα συμπεράσματα σχετικά με τις απαιτήσεις λειτουργίας για κάθε μέθοδο αφαλάτωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 Σύγκριση μεθόδων αφαλάτωσης (Τζεν, 2001).

Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης							
Μέθοδος	Νερό Τροφοδοσίας	Μορφή Ενέργειας	Ποιότητα Προϊόντος (TDS)	Παραγωγή Προϊόντος (m ³ /ημέρα)	Τύπος Ενέργειας	Κατανάλωση Ενέργειας	Κόστος Εγκατάστασης
MSF	Θαλασσινό	Θερμική	~10	1.000 – 60.000	Θερμική Ηλεκτρική	290 kJ/kg 4 – 6 KWh/m ³	1000 – 2000 €/m ³ /ημέρα)
MED	Θαλασσινό	Θερμική	~10	500 – 20.000	Θερμική Ηλεκτρική	270 KJ/kg 2,5 – 3 KWh/m ³	850 – 1750 €/m ³ /ημέρα)
VC	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	~10	25 – 2.500	Ηλεκτρική	8 – 15 KWh/m ³	1000 – 2350 €/m ³ /ημέρα)
SWRO	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	>500	0,4 - >70.000	Ηλεκτρική	< 5 KWh/m ³ < 3 KWh/m ³ με ανάκτηση ενέργειας	650 – 4400 €/m ³ /ημέρα)
BWRO	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	~250-500	2,5 – > 50.000	Ηλεκτρική	0,5 – 3 KWh/m ³	300 – 2000 €/m ³ /ημέρα)
ED	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	~300-500	15 – 50.000	Ηλεκτρική	1,5 – 4 KWh/m ³	1000 – 5000 €/m ³ /ημέρα)

Η ενεργειακή κατανάλωση μιας μεθόδου, αποτελεί ίσως τον πιο σημαντικό παράγοντα για την επιλογή μιας μεθόδου αφαλάτωσης. Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, επικρατέστερη επιλογή από τις θερμικές διεργασίες αποτελεί η απόσταξη πολλαπλής επίδρασης (MED), με την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Όσον αφορά τις μεθόδους με μεμβράνες, η μέθοδος που υπερτερεί είναι της αντίστροφης ώσμωσης για θαλασσινό νερό (SWRO) με ανάκτηση ενέργειας, έχοντας την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Ακολουθούν στη συνέχεια, η αντίστροφη

ώσμωση για θαλασσινό νερό (SWRO) χωρίς ανάκτηση ενέργειας και η ηλεκτροδιάλυση (ED), ενώ σχετικά μικρή κατανάλωση ενέργειας παρουσιάζει και η αντίστροφη ώσμωση για υφάλμυρο νερό (BWRO).

Όσον αφορά στο κόστος εξοπλισμού, οι περισσότερες μέθοδοι κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα. Φαίνεται, όμως, ότι η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης για θαλασσινό νερό (SWRO) μπορεί να φτάσει σε ιδιαίτερα υψηλό κόστος εξοπλισμού, το οποίο όμως, παρουσιάζεται για τις μικρές κυρίως μονάδες αφαλάτωσης. Γενικά, μια μονάδα αφαλάτωσης κρίνεται συμφέρουσα όσο μεγαλύτερη είναι. Μικρές μονάδες παρουσιάζουν αρκετά υψηλό κόστος. Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης είναι αρκετά ανταγωνιστική, ειδικά σε μεγάλου μεγέθους εγκαταστάσεις, σε σχέση με τις θερμικές διεργασίες.

Σχετικά με το παραγόμενο νερό, η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης, όπως φαίνεται και στον πίνακα, παρουσιάζει το μεγαλύτερο εύρος παραγωγής νερού και μπορεί ακόμη να λειτουργήσει και για πολύ μικρή παραγωγή προϊόντος.

2.4. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), που αναφέρονται και ως ήπιες μορφές ενέργειας ή πράσινη ενέργεια, είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διεργασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η ροή του νερού και άλλες. Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους.

- Αρχικά, πρόκειται για ανεξάντλητες πηγές και για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση.
- Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον που δε το ρυπαίνουν και δεν απελευθερώνουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως είναι οι συμβατικές πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα.

Οι ΑΠΕ θεωρούνται, λοιπόν, λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Μπορούν να παράγουν θερμική ενέργεια (ηλιακοί συλλέκτες, γεωθερμία), ηλεκτρική ενέργεια (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, υδροστρόβιλοι) και μηχανική ενέργεια (ανεμογεννήτριες).

Τα τελευταία χρόνια η έρευνα στο τομέα της αφαλάτωσης έχει επικεντρωθεί στο συνδυασμό των μονάδων αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ώστε να μειωθεί το ενεργειακό κόστος και συνεπώς το κόστος του παραγόμενου νερού. Η ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο και να καλύψει τις ενεργειακές καταναλώσεις της μονάδας αφαλάτωσης, η οποία είναι και αυτή συνδεδεμένη στο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Μια άλλη λύση είναι οι ΑΠΕ με την μονάδα αφαλάτωσης να αποτελούν ένα πλήρως αυτόνομο σύστημα, αλλά αυτή δεν έχει ακόμη ευρύτερη εφαρμογή για τους εξής λόγους:

- Τα συστήματα ΑΠΕ έχουν απρόβλεπτο χαρακτήρα, καθώς δεν έχουν συνεχή παροχή ενέργειας, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ανταποκριθούν ανά πάσα στιγμή στη ζήτηση ενέργειας.
- Δεν είναι εύκολο η ενέργεια που παρέχουν τα συστήματα ΑΠΕ να αποθηκευτεί για τη σωστή λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης.
- Η τεχνολογία του συνδυασμού αφαλάτωσης και ΑΠΕ δεν έχει αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να παρέχει φθηνή ενέργεια σε χαμηλό κόστος, καθώς το κόστος επένδυσης είναι αρκετά υψηλό.

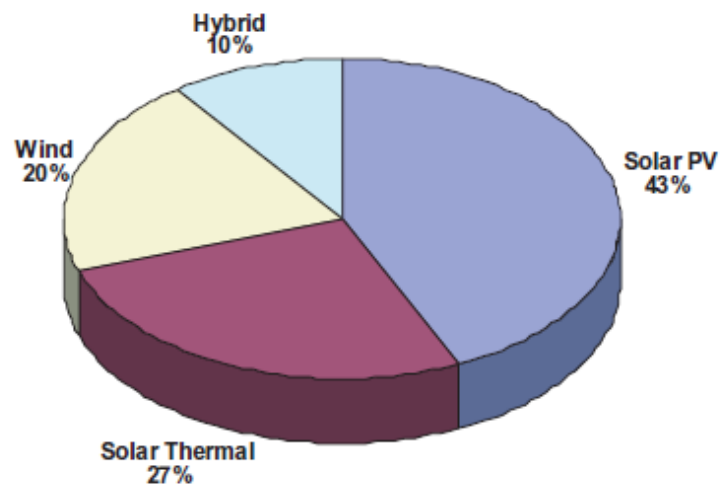
Ωστόσο, αυτά τα προβλήματα μπορούν να ξεπεραστούν αν συνδυαστούν σωστά οι ΑΠΕ με το ηλεκτρικό δίκτυο ή, για τα αυτόνομα συστήματα αφαλάτωσης, αν προστεθεί στην εγκατάσταση κάποιο μικρό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, όπως είναι οι μπαταρίες. Στις περιπτώσεις που η περιοχή είναι διασυνδεδεμένη, η μονάδα τροφοδοτείται από το κεντρικό δίκτυο και η ενέργεια από τις ΑΠΕ συμβάλλει στην κατανάλωσή της. Παρόλα αυτά, για ιδιαίτερα απομακρυσμένες και απομονωμένες περιοχές, οι οποίες δεν είναι διασυνδεδεμένες στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, η απευθείας σύνδεση της μονάδας αφαλάτωσης με τεχνολογίες των ΑΠΕ θα μπορούσε να αποτελέσει μια αρκετά αποδοτική λύση. Για παράδειγμα στα νησιά, τους καλοκαιρινούς μήνες που η ζήτηση είναι αυξημένη και η διαθεσιμότητα των ΑΠΕ είναι συνήθως υψηλή, με έντονη ηλιακή ακτινοβολία και αιολική ενέργεια, η ενεργειακή ζήτηση της μονάδας αφαλάτωσης θα μπορούσε εύκολα να καλυφθεί από τη χρήση ΑΠΕ, χωρίς να επιβαρύνει περαιτέρω το δίκτυο.

Επισημαίνεται ότι η επιλογή της ΑΠΕ που θα τροφοδοτήσει μια μονάδα αφαλάτωσης εξαρτάται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από την περιοχή εγκατάστασης (μετεωρολογικό καθεστώς, τοπογραφία κτλ.).

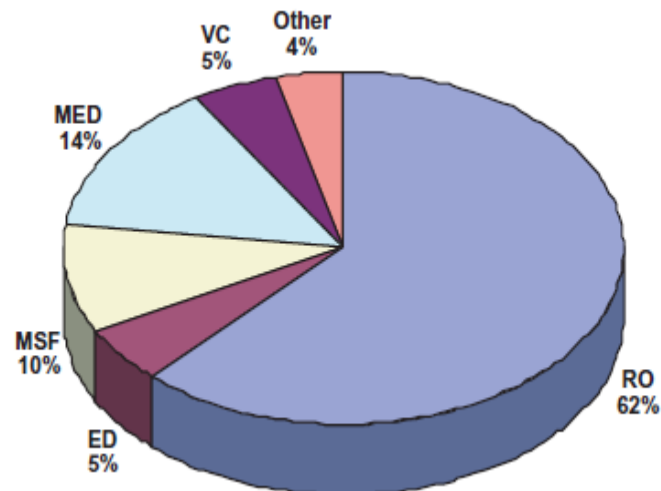
Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται οι συνδυασμοί μεθόδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ.

Πίνακας 2.2 Συνδυασμοί μεθόδων αφαλάτωσης – ΑΠΕ (Tzen & Morris, 2003).

RES technology	Feed water salinity	Desalination technology
<i>Solar energy</i>		
Solar thermal	Seawater Seawater	Multi-effect distillation (MED) Multi-stage flashing (MSF)
Photovoltaics	Seawater Brackish Brackish	Reverse osmosis (RO) Electrodialysis (ED)
Wind energy	Seawater Brackish Seawater	Reverse osmosis (RO) Mechanical vapor compression (MVC)
Geothermal	Seawater	Multi-effect distillation (MED)



Σχήμα 2.13 Συμμετοχή ΑΠΕ στην αφαλάτωση (Tzen & Morris, 2003).



Σχήμα 2.14 Μέθοδοι αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ΑΠΕ (Tzen & Morris, 2003).

Το Σχήμα 2.13 δείχνει τη συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αφαλάτωση, ενώ στο Σχήμα 2.14 παρουσιάζονται τα ποσοστά των μεθόδων της αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ΑΠΕ. Φαίνεται ότι ο πιο δημοφιλής συνδυασμός τεχνολογιών είναι η χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων (PV) με την αντίστροφη ώσμωση (RO). Γενικά, η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης (RO) επικρατεί σε εφαρμογές ΑΠΕ, καθώς απαιτεί μόνο ηλεκτρική τροφοδοσία, κάτι που καθιστά τη συνεργασία της με φωτοβολταϊκά έργα και ανεμογεννήτριες δυνατή.

2.4.1. Αφαλάτωση με χρήση ηλιακής ενέργειας

Αδιαμφισβήτητα, η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μια αστείρευτη ενεργειακή πηγή για τον πλανήτη μας καθώς εισέρχεται στην γήινη ατμόσφαιρα με ένταση 1367 W/m^2 . Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην διαδικασία της αφαλάτωσης είτε για να παράγει θερμική ενέργεια, η οποία απαιτείται ώστε να λειτουργήσουν οι μέθοδοι αλλαγής φάσης (MSF, MED, TVC) για την παροχή ατμού, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται στις μεθόδους που χρησιμοποιούν μεμβράνες (RO, ED).

Η αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια αποτελείται από ένα σύστημα αφαλάτωσης, το οποίο χρησιμοποιεί, είτε άμεσα είτε έμμεσα, ως πηγή ενέργειας για την λειτουργία του την ηλιακή ενέργεια. Άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας πραγματοποιείται στους ηλιακούς αποστακτήρες με τη μέθοδο της ηλιακής απόσταξης (solar distillation), η οποία έχει αναλυθεί παραπάνω. Η έμμεση χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας, προϋποθέτει τη μετατροπή της σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας, συνήθως σε θερμική ή ηλεκτρική, η οποία μπορεί να τροφοδοτήσει ένα σύστημα αφαλάτωσης. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ (PV) αποτελούν μια τέτοια τεχνολογία που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Στην «ηλιο-προωθούμενη» (solar assisted) ή «ηλιακά-ωθούμενη» (solar driven) αφαλάτωση περιλαμβάνονται συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμική, όπως είναι οι ηλιακές λίμνες και επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες (Νάνου, 2012).

Η αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια εφαρμόζεται συνήθως σε (Tzen & Morris, 2003):

- Μονάδες με μικρή παροχή
- Απόμακρες ή άγονες περιοχές, που διαθέτουν άφθονο θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό, στερούνται σε καύσιμα, ηλεκτρική ενέργεια ή κάποιο θερμοηλεκτρικό σταθμό, αλλά χαρακτηρίζονται από έντονη ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 2.6 Φωτοβολταϊκά πάνελ (energypress.gr).

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ (Εικόνα 2.6) αποτελούν από τις πιο ώριμες και προχωρημένες τεχνολογίες στο χώρο των ΑΠΕ. Στις μέρες μας, η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων συνδυάζεται ευρέως με συστήματα αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της ηλεκτροδιάλυσης (ED) για αφαλάτωση υφάλμυρου νερού, αλλά και με συστήματα που χρησιμοποιούν τη τεχνολογία της αντίστροφης ώσμωσης (RO) για αφαλάτωση θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού. Μπορούν, βέβαια, να συνδυαστούν και με τη μέθοδο της μηχανικής συμπίεσης ατμών (MVC).

Συνήθως, για απομακρυσμένες περιοχές, στα αυτόνομα υβριδικά συστήματα, τα φωτοβολταϊκά πάνελ συνεργάζονται με ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πετρελαίου ή/και με ανεμογεννήτριες για τη βέλτιστη κάλυψη της απαιτούμενης ενέργειας ανά πάσα στιγμή. Σε περιπτώσεις που η μονάδα αφαλάτωσης συνδέεται απευθείας με τα φωτοβολταϊκά έργα, απαιτείται κάποιο σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας. Για διασυνδεδεμένες περιοχές, τα φωτοβολταϊκά πάνελ παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια στο κεντρικό δίκτυο, η οποία είναι δυνατή να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της μονάδας αφαλάτωσης. Σε αυτή την περίπτωση, ακόμα και αν η παραγόμενη ενέργεια δεν επαρκεί, η μονάδα μπορεί να λειτουργήσει κανονικά με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο να της παρέχει ενέργεια.

Να επισημανθεί, όμως, ότι η απόδοση των φωτοβολταϊκών πάνελ είναι αρκετά χαμηλή, της τάξης του 15%. Επίσης, το υψηλό κόστος των φωτοβολταϊκών κυψελών, καθώς και οι υψηλές απαιτήσεις για διαθεσιμότητα χώρου, καθιστούν τη μέθοδο σχετικά ακριβή. Επομένως, η κυριότερη κατεύθυνση στην έρευνα στο χώρο των φωτοβολταϊκών αποτελούν τόσο η αύξηση της απόδοσης των κυψελών όσο και η μείωση του κόστους κατασκευής τους (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2011).

2.4.2. Αφαλάτωση με χρήση αιολικής ενέργειας

Η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει λύση για την κάλυψη της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας για την αφαλάτωση και να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές στις οποίες το αιολικό δυναμικό είναι αυξημένο. Κάτι τέτοιο μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ανεμογεννητριών. Η κινητική ενέργεια του ανέμου αξιοποιείται από τις ανεμογεννήτριες, μέσω των οποίων μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και έπειτα τροφοδοτείται στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο ή σε κάποιο τοπικό.

Η σύνδεση ανεμογεννητριών με συστήματα αφαλάτωσης αποτελεί μια τεχνολογικά εφικτή λύση και συνήθως εφαρμόζεται για τις μεθόδους της αντίστροφης ώσμωσης (RO), της ηλεκτροδιάλυσης (ED) και της μηχανικής συμπίεσης ατμών (MVC). Με δεδομένο, βέβαια, ότι η αντίστροφη ώσμωση έχει την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας από τις υπόλοιπες τεχνολογίες αφαλάτωσης, ο συνδυασμός της με την αιολική ενέργεια για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού, σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό, καθίσταται ιδιαίτερα δελεαστικός. Σε περιπτώσεις, όμως, μη διασυνδεδεμένης περιοχής, απαιτείται σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες) και ηλεκτρονικό σύστημα για να αντιμετωπίσει την χρονική μεταβλητότητα της αιολικής ενέργειας, προκειμένου να εξασφαλίζεται η λειτουργία της μονάδας ακόμα και όταν δεν επαρκεί η παραγόμενη ενέργεια. Επίσης, η μέθοδος MVC είναι μια αρκετά κατάλληλη μέθοδος αφαλάτωσης καθώς αντέχει περισσότερο σε μεταβολές των παραμέτρων λειτουργίας της μονάδας.

Συνήθως οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται σε νησιωτικές ή παράκτιες περιοχές με κατάλληλο αιολικό δυναμικό, δηλαδή με τη μέση ταχύτητα ανέμου να ξεπερνά τα 5 m/s. Οι νέες τεχνολογίες για ανεμογεννήτριες μικρού και μεσαίου μεγέθους προσφέρουν υψηλή αξιοπιστία αλλά και χαμηλό κόστος επένδυσης, ενώ συνεχώς βελτιώνονται και οι δυνατότητες εφαρμογής τους.

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση την ονομαστική τους ισχύ ως εξής (Κάραλης & Εμμανουηλίδης, 2011):

- Ανεμογεννήτριες πολύ μικρού μεγέθους: για ισχύ μικρότερη από 10 KW.
- Ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους: για ισχύ μικρότερη από 100 KW.
- Ανεμογεννήτριες μεσαίου μεγέθους: για ισχύ μικρότερη από 0.5 MW.
- Ανεμογεννήτριες μεγάλου μεγέθους: για ισχύ μεγαλύτερη από 0.5 MW.

Οι τεχνολογίες είναι ώριμες, με εξαίρεση ίσως τις πολύ μεγάλες ανεμογεννήτριες, οι οποίες ούτως ή άλλως δεν αποτελούν κατάλληλες για χρήση στην αφαλάτωση.

Για μεγάλες μονάδες αφαλάτωσης, σε σύγκριση με την λύση των φωτοβολταϊκών έργων, η αιολική ενέργεια αποτελεί πιο ελκυστική και συμφέρουσα από οικονομικής άποψης λύση, καθώς δεν απαιτεί μεγάλη διαθεσιμότητα χώρου για την εγκατάσταση του εξοπλισμού (Tzen & Morris, 2003).



Εικόνα 2.7 Αιολικό πάρκο στη Σύρο (<https://ita-sa.gr/>).

2.4.3. Αφαλάτωση με υβριδικά συστήματα ΑΠΕ

Ως υβριδικό ορίζεται ένα σύστημα στο οποίο υπάρχουν τουλάχιστον δύο διαφορετικές πηγές ενέργειας, όπου η μια πηγή υποβοηθά και δρα συμπληρωματικά ως προς την άλλη ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη απόδοση με το μικρότερο δυνατό κόστος. Για απομονωμένες μη διασυνδεδεμένες περιοχές, ο συνδυασμός ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η σύνδεσή τους σε μια μονάδα αφαλάτωσης, αποτελεί μια τεχνική πρόκληση, καθώς η κατανομή της ενέργειας και η τροφοδοσία από τις ανανεώσιμες πηγές έχει διακυμάνσεις. Η χρήση, όμως, αυτόνομων υβριδικών συστημάτων θα μπορούσε να αποτελέσει μια υποσχόμενη και βιώσιμη λύση.

Από την άποψη της ενεργειακής τροφοδοσίας, υβριδικά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν περισσότερες από μία πηγές ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα διαθέτουν και σύστημα αποθήκευσης, μπορούν να σταθεροποιήσουν την απαιτούμενη ενέργεια για την μονάδα αφαλάτωσης. Επίσης, το προφανές πλεονέκτημα ενός υβριδικού συστήματος είναι ότι σε περίπτωση κάποιας βλάβης ή γενικά, αδυναμίας παροχής ενέργειας από την πρώτη πηγή, χρησιμοποιείται η εφεδρική, οπότε το σύστημα δεν τίθεται εύκολα εκτός λειτουργίας και επομένως αυξάνεται η διαθεσιμότητα του.

Ασφαλώς, μια τέτοια επιλογή αυξάνει αρκετά το κόστος επένδυσης και εγκατάστασης της μονάδας, αλλά αυξάνει σημαντικά και την αξιοπιστία του.

Στο πεδίο των μονάδων αφαλάτωσης, οι πιο συνηθισμένες επιλογές για υβριδικά συστήματα είναι ο συνδυασμός αιολικής ενέργειας (ανεμογεννήτριες) με τα φωτοβολταϊκά έργα. Έρευνες έδειξαν πως ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών ή/και ανεμογεννητριών με γεννήτρια ντίζελ καθώς και ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών μεταξύ τους μπορεί να δώσει σημαντικές λύσεις στο πρόβλημα της ενεργειακής τροφοδοσίας συστημάτων αφαλάτωσης. Συνήθως, τα υβριδικά συστήματα περιλαμβάνουν γεννήτρια συμβατικών καυσίμων και είτε μία τεχνολογία ΑΠΕ είτε δύο συνδυασμένες, όπως οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά. Με αυτό τον τρόπο δύναται να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της μη συνεχούς παροχής ενέργειας από τις ΑΠΕ και του απρόβλεπτου χαρακτήρα τους πολύ αποτελεσματικά. Όσον αφορά τη σύνδεση ενός υβριδικού με μια μονάδα αφαλάτωσης, είναι συνήθως κατάλληλα την ενεργειακή κάλυψη μικρών έως και μεσαίων μονάδων.

Να σημειωθεί ότι στο νησί της Μήλου, που αποτελεί την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας, η μονάδα αφαλάτωσης που έχει εγκατασταθεί στηρίζεται ενεργειακά και λειτουργεί με χρήση υβριδικού συστήματος.

Στην Εικόνα 2.8 φαίνεται η πρώτη παγκοσμίως πλωτή μονάδα αφαλάτωσης στο νησί της Ηρακλείας, η οποία αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα λειτουργίας μονάδας αφαλάτωσης με χρήση αυτόνομου υβριδικού συστήματος.



Εικόνα 2.8 Αφαλάτωση με υβριδικό σύστημα στην Ηρακλεία (kathimerini.gr).

2.4.4. Αφαλάτωση με χρήση γεωθερμίας

Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η φυσική θερμική ενέργεια που προέρχεται από τον εσωτερικό φλοιό της Γης και σχετίζεται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας ανάλογα με το βάθος από την επιφάνειά της. Γεωθερμική ενέργεια εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα, ενώ δε σχετίζεται με την ηλιακή ακτινοβολία. Η θερμοκρασία των ρευστών του φλοιού της γης αλλάζει τόσο με την αύξηση του βάθους όσο και από πηγή σε πηγή, στο ίδιο βάθος, αλλά σε ευρύτερη περιοχή. Η συνολική ισχύς της γεωθερμίας υπολογίζεται σε 3×10^{12} W, ενώ η μέση τιμή της γεωθερμικής θερμοβαθμίδας είναι 3.3 K/100 m, δηλαδή η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 3.3 K καθώς προσχωρούμε προς στο εσωτερικό της γης κάθε 100 m. Επίσης, υπολογίζεται ότι η γεωθερμική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε νερό ή ατμό, μέχρι βάθος 10 km και μπορεί να δώσει ατμό θερμοκρασίας μεγαλύτερης των 200 °C είναι της τάξεως των 10^{20} J (Ράπτης, 2012). Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι γεωθερμίας, οι οποίοι ταξινομούνται με βάση τη θερμοκρασία ως εξής: 1) χαμηλής ενθαλπίας (< 80 °C), 2) μέσης ενθαλπίας (80 – 150 °C) και 3) υψηλής ενθαλπίας (> 150 °C).

Η αφαλάτωση με χρήση γεωθερμίας (geothermal desalination) αποτελεί μια πρωτοπόρα και υπό διερεύνηση μέθοδο, η οποία μπορεί να εκμεταλλευτεί την θερμότητα που προέρχεται από την γη για να παράγει πόσιμο νερό. Η γεωθερμία μπορεί άμεσα να συνδυαστεί με μονάδες αφαλάτωσης με τους εξής τρόπους (Ράπτης, 2012) :

- Εάν οι γεωθερμικές πηγές περιέχουν στη μεγαλύτερη τους αναλογία ατμό υπό πίεση, ο ατμός αυτός συμπυκνώνεται, παράγοντας απευθείας αφαλατωμένο συμπύκνωμα.
- Όταν η πηγή εκλύει μίγμα νερού και ατμού, τότε αρχικά εκτονώνεται κατάλληλα για τη παραγωγή από τη μία ατμού, που διοχετεύεται σε ατμοστρόβιλο και από την άλλη θερμής άλμης που τροφοδοτείται στον εξατμιστήρα της αφαλάτωσης.
- Γεωθερμικά μίγματα, στα οποία υγρό βρίσκεται σε πολύ μεγαλύτερη αναλογία σε σχέση με τον ατμό, χρησιμοποιούνται σε εξατμιστήρες πολλαπλών βαθμίδων (MSF) ή πολλαπλών εκτονώσεων (MED), ανάλογα με την ενθαλπία της άλμης.

Επίσης, γεωθερμικά ρευστά υψηλής θερμοκρασίας μπορούν έμμεσα να χρησιμοποιηθούν για τη λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια για μονάδες αντίστροφης όσμωσης (RO), ηλεκτροδιάλυσης (ED) ή μηχανικής συμπίεσης ατμών (MVC).

Η γεωθερμική ενέργεια, αν και δεν είναι τόσο διαδεδομένη όσο η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αφαλάτωση καθώς μπορεί να παρέχει ισχύ 24 ώρες το 24ωρο. Η γεωθερμία αποτελεί μια σταθερή και αξιόπιστη παροχή θερμότητας καθώς παρουσιάζει λιγότερα προβλήματα τροφοδοσίας ενέργειας σε σχέση με την αιολική ή την ηλιακή ενέργεια, ενώ ταυτόχρονα θεωρείται μια οικονομικά συμφέρουσα λύση.

2.4.5. Αφαλάτωση με χρήση βιομάζας

Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά, στον όρο αυτό εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο.

Γενικά η βιομάζα δεν αποτελεί ουσιαστική πηγή ενέργειας για την αφαλάτωση επειδή η ίδια η βιομάζα χρειάζεται νερό για τη παραγωγή της. Ωστόσο, η καύση των αστικών απορριμμάτων μιας περιοχής θα μπορούσε να αποτελέσει μια τέτοια πηγή, καθώς θα παρείχε ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας με την μορφή καυσαερίων, τα οποία θα χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή ατμού. Έχουν γίνει διάφορες μελέτες για την πρακτική εφαρμογή της καύσης των σκουπιδιών για μεγάλες εγκαταστάσεις, όπως π.χ. για την πόλη Σαν Ντιέγκο στην Καλιφόρνια, σύμφωνα με την οποία υπολογίστηκε πως από τη καύση των σκουπιδιών της πόλης θα υπήρχε παραγωγή ατμού χαμηλού θερμικού φορτίου, η οποία θα ήταν αρκετή για την παραγωγή 120,000 m³/d αφαλατωμένου νερού, με κόστος μόλις 0.1 €/m³.

Παρά τις μελέτες, βέβαια, μέχρι και σήμερα η χρήση της βιομάζας έχει βρει πρακτικές εφαρμογές για μικρές εγκαταστάσεις τοπικού ενδιαφέροντος με πολύ μικρές παροχές (Ράπτης, 2012).

2.4.6. Αφαλάτωση με χρήση ενέργειας ωκεανών

Από το 1980 άρχισε να ερευνάται η μέθοδος αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας των ωκεανών (Ocean Thermal Energy Conversion- O.T.E.C.) ιδιαίτερα στις τροπικές περιοχές. Αυτή η ενέργεια είναι αποτέλεσμα της διαφοράς θερμοκρασίας των

επιφανειακών στρωμάτων των ωκεανών που είναι θερμότερα με τα παρακάτω στρώματα που είναι ψυχρότερα. Επειδή η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ του νερού της επιφάνειας και του νερού που βρίσκεται σε βάθος 500 έως 1000 m μπορεί να φτάσει τους 27° C, η διαφορά αυτή είναι κατάλληλη για να κινήσει στροβίλους και να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε μια μονάδα αφαλάτωσης. Γενικά, όμως αυτή η μορφή ενέργειας δεν εφαρμόζεται επιχειρησιακά.

Μια άλλη μορφή ενέργειας από τους ωκεανούς, η οποία ερευνάται είναι η κινητική ενέργεια των κυμάτων και των έντονα παλιρροιακών φαινομένων. Η ενέργεια αυτή θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που θα τροφοδοτούσε συστήματα αντίστροφης ώσμωσης (Ράπτης, 2012).

2.5. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΠΕ

Μονάδα Αφαλάτωσης με Αντίστροφη Ωσμωση (SWRO) με χρήση αιολικής ενέργειας, Πέρθ, Kwinana, Αυστραλία

Η μονάδα αντίστροφης ώσμωσης στην Kwinana της Δυτικής Αυστραλίας αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες μονάδες αντίστροφης ώσμωσης παγκοσμίως, αλλά και την πρώτη εγκατάσταση στη χώρα που χρησιμοποιεί την αφαλάτωση ως μια σημαντική πηγή νερού. Το έργο βρίσκεται 25 km νότια της πόλης του Πέρθ. Το Νοέμβριο του 2006 έγινε η επίσημη έναρξη της λειτουργίας των εγκαταστάσεων της μονάδας, η οποία χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό ως πηγή τροφοδοσίας και ενεργειακά καλύπτεται από αιολική ενέργεια. Ήδη από τις αρχές του 2007, η αφαλάτωση Kwinana αποτελούσε το παγκόσμιο πρότυπο για οποιοδήποτε μελλοντική βιώσιμη μονάδα αφαλάτωσης.

Η αυξανόμενη ανησυχία για την συρρίκνωση του φυσικού νερού σε όλη την περιοχή της Δυτικής Αυστραλίας, μετά από τις θερμότερες και ξηρές περιόδους των τελευταίων ετών, ενήργησε ως βασική κινητήρια δύναμη για το έργο. Ο χειμώνας του 2001 ήταν από τους φτωχότερους σε εισροή νερού στους ταμιευτήρες που εξυπηρετούν το Πέρθ και την γύρω περιοχή, και στην συνέχεια, το 2002, η περιοχή υπέστη την χειρότερη ξηρασία των χρόνων. Έτσι, η ανάγκη για μια βιώσιμη λύση για την ύδρευση της περιοχής ήταν επιτακτική.

Τον Σεπτέμβριο του 2004, λοιπόν, ξεκίνησε διαγωνισμός για την μελέτη των εγκαταστάσεων της μονάδας και τον Απρίλιο του 2005 έγινε η ανάθεση του έργου. Η έναρξη της κατασκευής πραγματοποιήθηκε σχεδόν αμέσως ξεκινώντας από το αντλιοστάσιο και τους αγωγούς τον Μάιο του 2005. Η εταιρία Degremont, σύμφωνα

με το συμβόλαιο, θα λειτουργεί τη μονάδα για 25 χρόνια και σε συνεργασία με την Water Corporation θα είναι υπεύθυνη για τη λειτουργία και τη συντήρηση της μονάδας.

Σήμερα η μονάδα καλύπτει το 17% των αναγκών σε νερό του Πέρθ για την εξυπηρέτηση 1.5 εκατομμυρίου κατοίκων. Η μονάδα έχει ημερήσια δυναμικότητα 140,000 m³/d με στόχο όμως τη δυνατή επέκτασή της σε 250,000 m³/d. Το αφαλατωμένο νερό που παράγεται, υφίσταται επεξεργασία με άσβεστο, χλώριο και φθόριο πριν από την αποθήκευσή του και στην συνέχεια αναμιγνύεται με νερό από άλλες πηγές πριν εισέλθει στο ολοκληρωμένο σύστημα υδροδότησης του Δήμου.

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδας κυμαίνεται από 4 ως 6 kW/m³. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από το αιολικό πάρκο, το οποίο αποτελείται από 48 ανεμογεννήτριες.

Το συνολικό κόστος του έργου ήταν AUS \$387 εκατ., με ετήσιο κόστος λειτουργίας του κάτω από \$20 εκατ. Το κόστος του αφαλατωμένου νερού είναι περίπου AUS \$ 1.17 ανά m³.

Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται κάποια γενικά στοιχεία της μονάδας αφαλάτωσης SWRO της Kwinana στην Αυστραλία.

Πίνακας 2.3 Γενικά στοιχεία της μονάδας αφαλάτωσης στην Kwinana (El Saliby *et al.*, 2009).

Indicator	Key data
Plant type	SWRO
Capacity	140,000 m ³ /d
Design expansion capacity	250,000 m ³ /d
Seawater temperature	16–24°C
Salinity	35,000–37,000 mg/L
Environmental monitoring required	TDS, temperature, DO, sediment habitat
Process energy requirement	4–6 kW/m ³
Contract types	Design and build, operate and maintain
Contract period	25 years
Anticipated water cost	AUS\$1.17 / m ³
Project cost	AUS\$387 M
Renewable energy	Wind farm via grid

Τέλος, να σημειωθεί ότι η περιοχή στην οποία βρίσκεται η μονάδα αφαλάτωσης είναι περιβαλλοντικά ευαίσθητη, και για τον λόγο αυτό έχουν μελετηθεί εκτενώς οι πιθανές επιπτώσεις λειτουργίας της στο περιβάλλον και έχουν επιβληθεί αυστηρές προϋποθέσεις παρακολούθησης που αφορούν την θερμοκρασία, τα ιζήματα κλπ. (El Saliby *et al.*, 2009).

Μονάδα Αφαλάτωσης με Αντίστροφη Ωσμωση (SWRO) με χρήση αιολικής ενέργειας, Sydney, Αυστραλία

Το 2008, στη νότια Αυστραλία, οι περίοδοι ξηρασίας γίνονταν όλο και πιο συχνές, και κατά συνέπεια η μείωση στη φυσική παροχή του νερού αναμενόταν να επηρεάσει τη στάθμη του νερού στα φράγματα. Επομένως, η υδρευτική κάλυψη για την πόλη του Σίδνεϋ θα απειλούταν εάν βασιζόταν εξ' ολοκλήρου σε μία μόνο πηγή νερού. Η κατάσταση έγινε ακόμη πιο δύσκολη μετά την επιβολή μέτρων περιορισμού των υδάτων, μετά την πτώση των επιπέδων αποθήκευσης νερού των φραγμάτων. Έτσι η κατασκευή μιας μονάδας αφαλάτωσης στο Σίδνεϋ ως πρόσθετη ή εναλλακτική παροχή νερού για την πόλη ήταν επιτακτική. Στο Σίδνεϋ η χρήση του νερού εκτιμάται περίπου σε 1,500 ML/d. Η τοποθεσία που επιλέχθηκε για την εγκατάσταση της μονάδας είναι η ακτή του Kurnell με έκταση 44.5 ha. Βρίσκεται νότια του Botany Bay, 25 χιλιόμετρα από το Σίδνεϋ, και επιλέχθηκε μεταξύ άλλων καθώς βρίσκεται κοντά στον ωκεανό, είναι βιομηχανική τοποθεσία και βρίσκεται μακριά από κατοικημένες περιοχές.

Η μονάδα αφαλάτωσης είναι αντίστροφης ώσμωσης, χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό από τον ωκεανό (SWRO) και ενεργειακά καλύπτεται από ανεμογεννήτριες, η ενέργεια των οποίων συνδέεται με το υπόλοιπο δίκτυο. Το κόστος του έργου ήταν της τάξης των 2 δισεκατομμυρίων AUS \$ και ολοκληρώθηκε στα μέσα του 2009. Η μονάδα ανήκει στην Sydney Water, ενώ έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί από την Blue Water Joint Venture. Την λειτουργία και συντήρηση έχει αναλάβει η εταιρία Veolia Water με βάση συμβόλαιο διάρκειας 20 χρόνων (El Saliby *et al.*, 2009).

Η μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης του Kurnell αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες μονάδες στον κόσμο, με δυναμικότητα 250,000 m³/d, η οποία μπορεί να καλύψει το 15% της συνολικής ζήτησης πόσιμου νερού του Σίδνεϋ. Μάλιστα υπάρχει η δυνατότητα για επέκταση περίπου 500,000 m³/d. Η ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδας και λαμβάνεται από ανεμογεννήτριες είναι περίπου 4.2 kW/m³. Το αφαλατωμένο νερό που παράγεται, αφού απολυμανθεί και χλωριωθεί, αποθηκεύεται σε δεξαμενή χωρητικότητας 40,000 m³ και στη συνέχεια διανέμεται στο σύστημα ύδρευσης του Σίδνεϋ. Το τελικό κόστος του αφαλατωμένου νερού είναι 1.44 AUS \$ ανά m³ (El Saliby *et al.*, 2009). Ο Πίνακας 2.4 δείχνει τα βασικά στοιχεία για τη μονάδα αφαλάτωσης του Kurnell.

Πίνακας 2.4 Στοιχεία μονάδας αφαλάτωσης στο Kurnell του Σίδνεϋ (El Saliby *et al.*, 2009).

Indicator	Key data
Plant type	SWRO
Capacity	250,000 m ³ /d
Design expansion capacity	500,000 m ³ /d
Seawater temperature	14–24°C
Salinity	35,000–40,000 mg/L
Process energy requirement	4.2 kW/m ³
Contract types	Design and build, operate and maintain
Contract period	20 years
Anticipated water cost	AUS\$1.44 / m ³
Project cost	AUS\$2 billion
Renewable energy	Wind farm via grid

Να σημειωθεί ότι η εγκατάσταση από το 2015 ήταν υπό επισκευή, αφού χτυπήθηκε από καταιγίδα. Το 2019 κατάφερε να ξαναλειτουργήσει αλλά χρειάστηκαν έξι έως οκτώ μήνες ώστε η μονάδα να λειτουργήσει στην πλήρη δυναμικότητα της, δηλαδή σε 250,000 m³/d.

Στις αρχές του 2020, μάλιστα, κυβέρνηση ανακοίνωσε ότι θα ακολουθήσει γρήγορα το σχέδιο κατασκευής για την επέκταση του εργοστασίου αφαλάτωσης του Σίδνεϋ, για να διπλασιάσει το μέγεθός του και να φτάσει η μονάδα τη δυναμικότητα των 500,000 m³/d. Η επέκταση της μονάδας θα επιτρέψει την κάλυψη του 30% όλων των αναγκών σε πόσιμο νερό του Σίδνεϋ.

Όσο η ξηρασία συνεχίζει να πλήττει την περιοχή, με τα επίπεδα νερού του φράγματος να πέφτουν στο 43.1%, η κυβέρνηση δήλωσε ότι η επέκταση της μονάδας στο Kurnell αποτελεί «βασικό στοιχείο για την προστασία της ασφάλειας των υδάτων του Σίδνεϋ», ενώ κατευθύνει τους αρμόδιους να προετοιμάσουν τη μονάδα. Τα επίπεδα του φράγματος δεν έχουν πέσει ποτέ ξανά τόσο γρήγορα στο Σίδνεϋ, οπότε ο διπλασιασμός της δυναμικότητας πρέπει να πραγματοποιηθεί γρήγορα ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες του πληθυσμού.

Μονάδα Αφαλάτωσης με Αντίστροφη Ωσμωση (RO) με χρήση υβριδικού συστήματος (ανεμογεννήτριες-φωτοβολταϊκά-γεννήτριες ντίτζελ), Ustica, Ιταλία

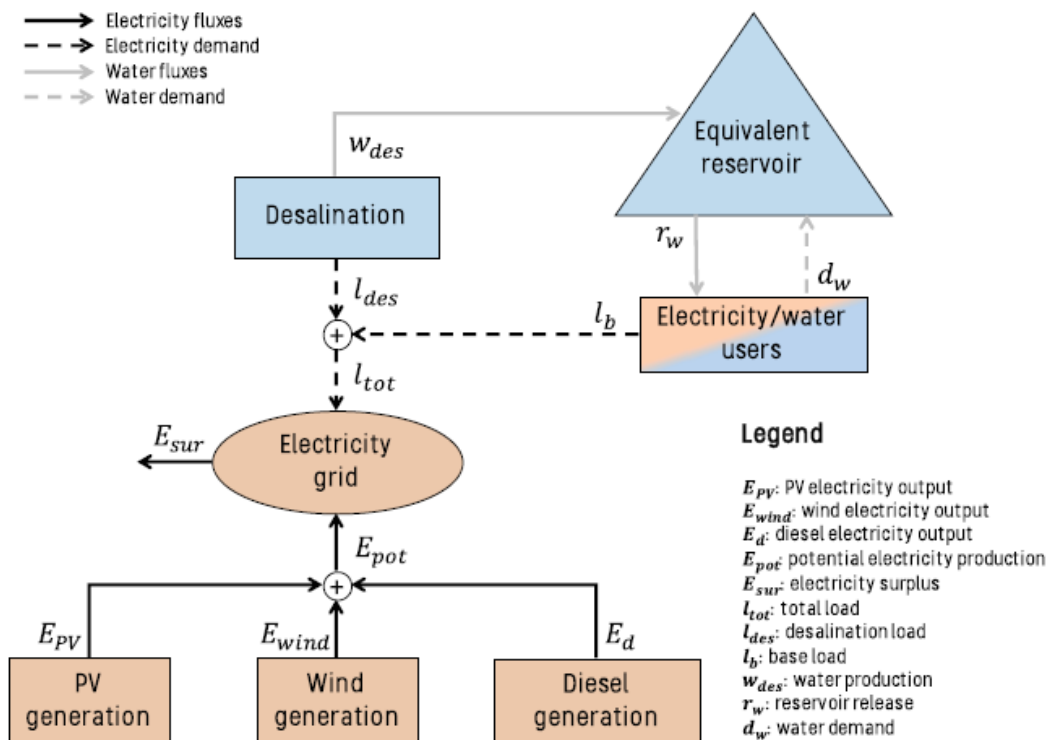
Η συγκεκριμένη περίπτωση αποτελεί μια πραγματική μελέτη που αφορά το Ιταλικό νησί Ustica στη Μεσόγειο. Το Ustica είναι ένα απομακρυσμένο, μη διασυνδεδεμένο νησί και, παρά το υψηλό δυναμικό του σε ΑΠΕ, οι ενεργειακές του ανάγκες βασίζονται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεννήτριες ντίτζελ υψηλής έντασης άνθρακα. Όσον αφορά τις υδρευτικές ανάγκες, αυτές καλύπτονται από μια μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης (RO), η οποία είναι ικανή να καλύψει ολόκληρη τη ζήτηση νερού. Αν και το σύστημα νερού-ενέργειας του νησιού είναι σε θέση να παρέχει τις βασικές υπηρεσίες στον πληθυσμό, είναι εξαιρετικά αναποτελεσματικό και μη βιώσιμο λόγω του υψηλού κόστους λειτουργίας και τις υψηλές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Επιπλέον, η λειτουργία του συστήματος επηρεάζεται έντονα από τις υψηλές τουριστικές ροές, οι οποίες συμβάλλουν σε μια σημαντική αύξηση του πληθυσμού κατοίκων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, προκαλώντας υψηλές εποχιακές διακυμάνσεις τόσο στη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στη ζήτηση νερού.

Η Ustica είναι ένα μικρό ιταλικό νησί με έκταση 8 km², το οποίο βρίσκεται περίπου 50 km βόρεια της Σικελίας στη Μεσόγειο Θάλασσα. Έχει ένα πληθυσμό 1,559 κατοίκους, ο οποίος σχεδόν διπλασιάζεται κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών λόγω τουρισμού. Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται παράγεται εξ' ολοκλήρου από 5 γεννήτριες ντίτζελ, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 4.6 MW. Το 70% της ετήσιας ηλεκτρικής ζήτησης απαιτείται για κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κατοίκων ενώ το υπόλοιπο 30% απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης. Η μονάδα αφαλάτωσης, κατασκευάστηκε το 2016 για να ικανοποιήσει ολόκληρη τη ζήτηση νερού του πληθυσμού. Η μονάδα αποτελείται από δύο υπομονάδες δυναμικότητας 35 m³/h η κάθε μια (συνολικά 70 m³/h) και είναι σε θέση να παράγει περίπου 1,600 m³/d πόσιμου νερού. Το αφαλατωμένο νερό που παράγεται αποθηκεύεται σε 5 δεξαμενές, με συνολική χωρητικότητα 11,000 m³, και έπειτα διοχετεύεται στο δικτύου διανομής νερού.

Λόγω των υψηλών τουριστικών ροών τους καλοκαιρινούς μήνες, η ηλεκτρική και υδρευτική ζήτηση έχει υψηλή εποχιακή μεταβλητότητα. Ως συνέπεια, τόσο η μονάδα αφαλάτωσης όσο και οι γεννήτριες ντίτζελ είναι υπερδιαστασιοποιημένες ώστε να μπορούν να καλύψουν τη θερινή ζήτηση και να αποφεύγονται ελλείμματα. Ακόμα κι αν η κάλυψη σε νερό και ενέργεια είναι εγγυημένη, το σύστημα του νησιού είναι

ελάχιστα βιώσιμο τόσο από περιβαλλοντικής όσο και από οικονομικής άποψης. Ειδικότερα, η απόσταση από την ηπειρωτική χώρα επηρεάζει σημαντικά το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, το κόστος παραγωγής νερού είναι 3-4 φορές υψηλότερο από το αντίστοιχο της ηπειρωτικής χώρας, λόγω του υψηλού κόστους και της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας της μονάδας αφαλάτωσης.

Προκειμένου, λοιπόν, να βελτιωθεί η βιωσιμότητα αυτού του δαπανηρού και αναποτελεσματικού συστήματος, η μελέτη βασίστηκε στην εισαγωγή ΑΠΕ ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή ενέργειας σε χαμηλότερο κόστος. Η Ustica διαθέτει σημαντικό ηλιακό και αιολικό δυναμικό ενέργειας. Η υψηλότερη ηλιακή ακτινοβολία καταγράφεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ η ταχύτητα του ανέμου κορυφώνεται το χειμώνα. Παρά το υψηλό δυναμικό ΑΠΕ όμως, υπάρχουν περιβαλλοντικοί περιορισμοί στο νησί, και επίσης το μικρό του μέγεθος περιορίζει αυστηρά τη δυνατότητα εγκατάστασης ΑΠΕ, επιτρέποντας μόνο ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά (PV) σε στέγες και μικρές ανεμογεννήτριες. Η παραγωγή και διανομή του νερού, καθώς και η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που προτείνονται στη μελέτη, πραγματοποιούνται σε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο (Σχήμα 2.15).



Σχήμα 2.15 Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου για το σύστημα νερού-ενέργειας στην Ustica (Giudici *et al.*, 2019).

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τεχνολογίες ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) και από τις 5 υπάρχουσες γεννήτριες ντίζελ, καλύπτοντας έτσι την ενεργειακή ζήτηση των κατοίκων και τη ζήτηση της αφαλάτωσης (φορτίο I_b και φορτίο I_{des} , αντίστοιχα). Το ηλεκτρικό φορτίο της μονάδας αφαλάτωσης I_{des} εκτιμάται ότι είναι γραμμικά ανάλογο (περίπου 6 kWh/m^3) με την παραγωγή νερού w_{des} . Όσον αφορά την αιολική ενέργεια, στο μοντέλο θεωρήθηκαν ανεμογεννήτριες με ονομαστική ισχύ 60 kW.

Στον Πίνακα 2.5 παρουσιάζονται κάποιοι παράμετροι προϋπολογισμού και προσομοίωσης του έργου όσον αφορά τις ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά, τις γεννήτριες ντίζελ καθώς και τη μονάδα αφαλάτωσης.

Πίνακας 2.5 Παράμετροι προϋπολογισμού και προσομοίωσης (Giudici *et al.*, 2019).

Electricity system				
Component	Lifetime	Capital cost	Replacement cost	Operational cost
Photovoltaic (PV)	25 y	1150 €/kW	1150 €/kW	50 €/kW/y
Wind turbines	25 y	3500 €/kW	3500 €/kW	5000 €/unit/y
Diesel generators	60,000 h	400 €/kW	400 €/kW	50 €/kW/h
Electricity grid	-	-	-	950,000 €/y
Water system				
Component	Capacity	Max production	Max release	Initial state
Desalination plant	-	70 m ³ /h	-	-
Equivalent reservoir	11,000 m ³	-	300 m ³ /h	2000 m ³

Στο πλαίσιο της μελέτης πραγματοποιήθηκαν διάφορες διαχειριστικές προσεγγίσεις όσον αφορά τη λειτουργία του συστήματος. Οι διαχειριστικές λύσεις διαμορφώθηκαν σε σχέση με το βάρος που αποδόθηκε σε διαφορετικούς δείκτες. Για παράδειγμα, μια πιο βιώσιμη λύση όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αυτή που, ελαχιστοποιώντας το έλλειμμα νερού, είναι επίσης σε θέση να επιτύχει χαμηλότερο κόστος και χαμηλότερες εκπομπές CO₂ για τον χρονικό ορίζοντα του έργου. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η λύση χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη φωτοβολταϊκή ισχύ και, κατά συνέπεια, το ψηλότερο επενδυτικό κόστος και πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας (Giudici *et al.*, 2019).

Στον Πίνακα 2.6 παρουσιάζονται κάποιες από τις λύσεις της μελέτης, με τις οποίες ελαχιστοποιείται το έλλειμμα νερού (BDS) με βάση κάποιους δείκτες βιωσιμότητας.

Πίνακας 2.6 Σύγκριση πέντε λύσεων που ελαχιστοποιούν το έλλειμμα νερού (Giudici *et al.*, 2019).

	S1	S2	S3	S4	S5
PV capacity (kW)	2000	1800	1600	1400	1200
Net present cost (M€)	44.0	42.0	42.2	42.5	43.0
Electricity surplus (MWh/y)	1207	584.9	394.7	244.0	117.9
Fuel consumption (10^6 /y)	0.96	0.88	0.92	0.95	1.00
CO ₂ emissions (tons/y)	2606	2389	2487	2583	2717
RES penetration (%)	41.0	41.2	40.0	37.9	35.5

2.6. Η ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στην Ελλάδα, και ιδιαίτερα σε αρκετές νοτιοανατολικές περιοχές, υπάρχει πολύ χαμηλή διαθεσιμότητα νερού, η οποία επιδεινώνεται από τη μεγάλη ζήτηση ύδατος για τον τουρισμό και την άρδευση ιδιαίτερα το καλοκαίρι. Το πρόβλημα φαίνεται να είναι πιο εμφανές στα νησιά του Αιγαίου (ιδιαίτερα στα Δωδεκάνησα και τις Κυκλάδες) εξαιτίας της αυξημένης ζήτησης πόσιμου νερού, καθώς υποδέχονται μεγάλο αριθμό επισκεπτών κατά τη διάρκεια του καλοκαιρινών μηνών. Επιπλέον, να επισημανθεί ότι το μικρό μέγεθος καθώς και η γεωγραφία τους δεν επιτρέπουν πολλές πιθανές οικονομικά αποδοτικές τεχνολογίες για την αύξηση της διαθεσιμότητας νερού. Λόγω της γεωγραφικής τους απομόνωσης, είναι εξοπλισμένα με αυτόνομα, αλλά περιορισμένα συμβατικά ηλεκτρικά δίκτυα. Ωστόσο, υπάρχει αφθονία στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική, η ηλιακή, και, σε ορισμένες θέσεις, η γεωθερμική, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ενεργειακή τροφοδοσία μονάδων αφαλάτωσης.

Η αφαλάτωση στην Ελλάδα δεν χρησιμοποιείται ακόμη ευρέως, αν και θα μπορούσε να αποτελέσει μια βιώσιμη λύση για το πρόβλημα της λειψυδρίας στα νησιά του Αιγαίου, και κυρίως στα πολύ ξηρά νησιά των Κυκλάδων, όπου το κόστος του μεταφερόμενου νερού είναι πολύ υψηλό. Την περίοδο 2000-2010 δαπανήθηκαν από το ελληνικό κράτος συνολικά 81 εκατομμύρια € για την μεταφορά 13 εκατομμυρίων m³ νερού στα άνυδρα νησιά του Αιγαίου. Το 2010 μάλιστα, το κόστος μεταφοράς του νερού έφτασε τα 9.85 €/m³ (Πίνακας 2.7). Το 2014 η τιμή του μεταφερόμενου νερού κυμαινόταν στα 10.5 €/m³ για τα νησιά του Αιγαίου, ενώ για το 2015 οι τιμές

παρέμειναν οι ίδιες παρόλο που οι ποσότητες του μεταφερόμενου νερού μειώθηκαν (Τζεν, 2015). Ακόμη και σήμερα όμως, μεγάλες ποσότητες νερού μεταφέρονται για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας στα νησιά αυτά, με κόστος που κυμαίνεται από 4.91 έως 8.32 €/m³ (Zotalis *et al.*, 2014).

Πίνακας 2.7 Ποσότητες και κόστη μεταφοράς νερού στα νησιά του Αιγαίου (Τζεν, 2015)

YEAR	Cyclades islands			Dodecanese islands			Total	
	Quantity	Cost	Specific Cost, €/m ³	Quantity	Cost	Specific Cost, €/m ³	Quantity	Cost
	m ³ /year	€/year		m ³ /year	€/year		m ³ /year	€/year
2000	145.000	1158000	7.99	555000	2,004,000	3.61	700000	3162000
2001	202.000	1625000	8.04	621000	2,722,000	4.38	823000	4347000
2002	329.343	2561178	7.78	617745	3.109.358 65	5.03	947088	5670637
2003	336.777	2772718	8.23	605019	3.214.680 89	5.31	941796	5987398
2004	338.812	2787235	8.23	759737	4.034.203 29	5.31	1098549	6821438
2005	464.562	4006916	8.63	969676	5.082.935 63	5.24	1434238	9089852
2006	567.719	4677686	8.24	1005338	4.905.044 06	4.88	1573057	9582730
2007	697.117	5802509	8.32	1101628	5.403.900 34	4.91	1798745	11206409
2008	687.731	5721921	8.32	1141724	5.765.706 20	5.05	1829455	11487628
2009	429.075	3569904	8.32	826910	4.175.895 50	5.05	1255985	7745799
2010*	429.075	2590291	9.84	340426	3.349.791 84	9.84	603667	5940083
TOTAL	4.627.211	37.273.358		8.544.203	39.041.516		13.005.580	81.040.974

* includes the period from 1-1-2010 to 30-9-2010

Βέβαια, στα μεγαλύτερα ή τα πιο τουριστικά νησιά του Αιγαίου (π.χ. Σύρος, Τήνος, Πάρος, Μύκονος, Λέρος, Χίος, Νίσυρος, Μήλος, Σίφνος, Οινούσες κ.ά.) έχουν εγκατασταθεί μονάδες αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με την μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης και καλύπτουν το 2% της ζήτησης αρδευτικού νερού και περίπου το 4,1% της ζήτησης σε νερό ύδρευσης.

Υπάρχουν 35 μονάδες αφαλάτωσης με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης (RO) που λειτουργούν σε διάφορους δήμους των νησιών του Αιγαίου, με συνολική χωρητικότητα 22,860 m³/d και λειτουργικό κόστος που κυμαίνεται από 0.13 €/m³ έως 3.50 €/m³. Η νεότερη μονάδα αφαλάτωσης εγκαταστάθηκε στον Αλμυρό (Ηράκλειο, Κρήτη) με δυναμικότητα 2,400 m³/d, από τον Ιανουάριο του 2014. Το έργο αυτό είναι το πρώτο έργο με το οποίο το παραγόμενο νερό θα πωληθεί σε εγγυημένη τιμή 0,27 €/m³ για πέντε χρόνια. Επίσης, αναμένεται μελλοντική αναβάθμιση της χωρητικότητάς του έως 20,000 m³/d (Zotalis *et al.*, 2014). Αναφορικά, το ελάχιστο λειτουργικό κόστος των 0.13 €/m³ αντιστοιχεί στη μονάδα αφαλάτωσης της Λέρου με χωρητικότητα 4,800 m³/d, ενώ το υψηλότερο που φτάνει τα 3.5 €/m³ είναι στη μονάδα της Σίφνου με χωρητικότητα 500 m³/d.

Πίνακας 2.8 Εγκαταστημένες μονάδες αφαλάτωσης RO στην Ελλάδα (Zotalis *et al.*, 2014).

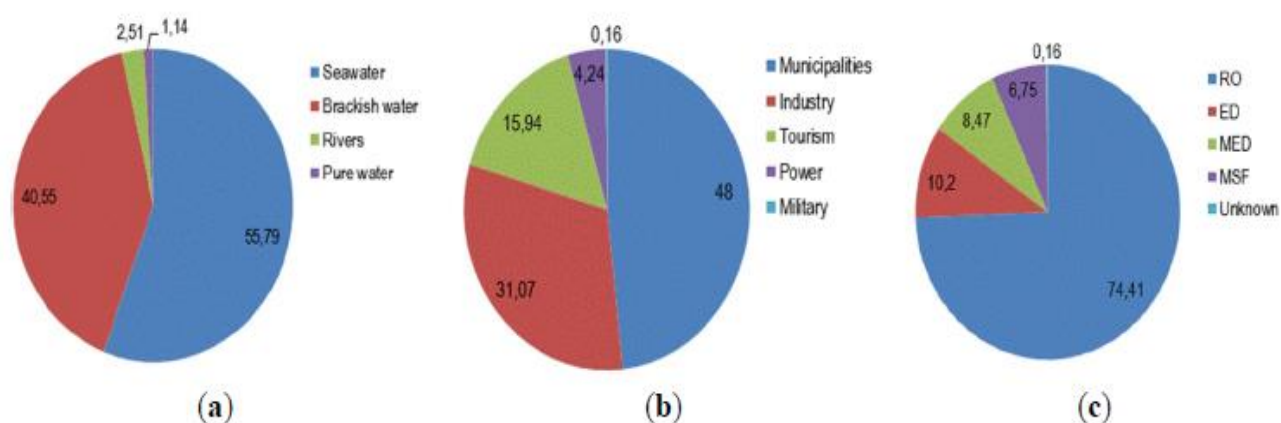
Project	Year	Type	Capacity (m ³ /d)	Initial cost (M €)	Operation cost (€)	Contractor	Acceptance
Almyros Iraklion	2014	RO & UF	2,400	0.850	0.25	Sychem S.A., GR	Good
Syros 1st Ermoupoli	1992	RO	800	0.589	2.70	Christ, CH	Good
Syros 2nd Ermoupoli	1997	RO	800	1.482	2.70	Christ, CH	Good
Syros 3rd Ermoupoli	2001	RO (SW)	40	0.346	2.00	Culligan Greece	Good
Syros 4th (Ano Syros)	2000	RO	250	0.215	0.50	Tezrak, GR	Good
Syros 5th (Ano Syros)	2002	RO	500	0.400	0.50	Tezrak, GR	Good
Syros 6th (Ermoupolis)	2002	RO (SW)	2,000	0.313	0.40	Tezrak, GR	Good
Syros 7th (Ano Syros)	2005	RO	1,000	1.000	0.40	Tezrak, GR	Under construction
Shinoussa	2004	RO	100	0.120	0.70	Tezrak, GR	Under construction
Mykonos (Korfon) old	1981	RO	500	N/A	2.00	Metak, IT	Good
Mykonos (Korfon) new	2001	RO	2,000	1.276	0.50	Culligan Greece	Good
Paros (Naoussa)	2001	RO	1,200	0.415	0.50	Ionic's Itaba	Good
Tinos (old)	2001	RO	500	0.434	0.62	Culligan Greece	Good
Tinos (new)	2005	RO	500	0.376	0.62	Culligan Greece	Good
Ia, Santorini 1st	1994	RO	220	N/A	2.00	Matrix, USA	Good
Ia, Santorini 2nd	2000	RO	320	0.210	2.00	Culligan Greece	Good
Ia, Santorini 3rd	2002	RO	160	N/A	2.00	Matrix, USA	Good
Sifnos	2002	RO (BW)	500	0.224	3.50	Hoh, DM	Good
Ouziroupolis, Chios, Municipality, 1st	2000	RO (BW)	600	0.205	0.30	Culligan Greece	Good
Ouziroupolis, Chios, Municipality, 2nd	2005	RO	3,000	0.710	0.26	Culligan Greece	Under construction
Ouziroupolis, Chios, Municipality, 3rd	2005	RO	500	0.200	0.26	Culligan Greece	Under construction
Nisiros (old)	1991	RO	300	0.572	N/A	Metak, IT	Out of operation
Nisiros (new)	2002	RO	350	0.295	0.66	Tezrak, GR	Good
Ithaki, Kefalonia 1st	1981	RO	620	0.264	2.88	Christ, CH	Good
Ithaki, Kefalonia 2nd	2003	RO	520	0.587	0.58	Judo, DE	Good
Lerou (Municipal Entrepr.)	2001	RO	200	0.074	0.13	Culligan Greece	Good
Kassopeon (Municipality)	2001	RO	500	0.170	0.13	Culligan Greece	Good
Poseidonia (Municipality), 1st	2002	RO	500	0.464	0.56	Culligan Greece	Good
Poseidonia (Municipality), 2nd	2005	RO	1,000	0.574	0.45	Culligan Greece	Under construction
Agios Georgios (Municipality)	2002	RO	500	0.102	0.30	Culligan Greece	Good
Pakvoï (Municipality) 1st	2005	RO	330	0.260	0.51	Culligan Greece	Good
Pakvoï (Municipality) 2nd	2005	RO	150	0.162	0.59	Culligan Greece	Good
Total: 32	-	-	22,860	-	-	-	-

Στον Πίνακα 2.8 φαίνονται οι μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν στην Ελλάδα και χρησιμοποιούν τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης (RO). Σύμφωνα με το Worldwide Desalting Plants Inventory της IDA (International Desalination Association) το 2011 στην Ελλάδα λειτουργούσαν 157 μονάδες αφαλάτωσης, συνολικής χωρητικότητας 109,115 m³/d, ενώ άλλες 35 αναμένονταν να λειτουργήσουν σύντομα, με συνολική χωρητικότητα 40,135 m³/d. Επιπλέον, το 2011, πέντε ακόμη μονάδες αφαλάτωσης ήταν υπό κατασκευή, με χωρητικότητα 32,800 m³/d.

Όσον αφορά το νερό τροφοδοσίας των μονάδων αφαλάτωσης που λειτουργούν στην Ελλάδα, το 56% είναι θαλασσινό νερό, ενώ το 41% είναι υφάλμυρο νερό. Επίσης, η μέθοδος RO είναι η πιο δημοφιλής τεχνολογία αφαλάτωσης στην Ελλάδα, καθώς

παράγει το 74.41% του αφαλατωμένου νερού. Η ED χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση για 10.20% του συνολικού αφαλατωμένου νερού που παράγεται, ενώ η μέθοδος MED χρησιμοποιείται για το 8.47% του παραγόμενου νερού και η MSF για το 6.75% (Σχήμα 2.16).

Το κόστος του αφαλατωμένου νερού στην Ελλάδα κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 3.5 €/m³. Γενικά, στις περισσότερες περιπτώσεις, το κόστος είναι πάνω από 1.2 €/m³ (Zotalis *et al*, 2014).



Σχήμα 2.16 Παραγωγή αφαλατωμένου νερού σύμφωνα με: α) νερό τροφοδοσίας, β) τις χρήσεις του και (γ) την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, στην Ελλάδα (Zotalis *et al*, 2014).

Μερικά παραδείγματα εγκαταστημένων μονάδων αφαλάτωσης στην Ελλάδα είναι τα εξής:

- Εγκατάσταση συμπίεσης ατμών φορτισμένη με ανεμογεννήτρια 750 kW στη Σύμη, η οποία λειτουργεί από το 2009 και παράγει 450 m³/d.
- Μονάδα αφαλάτωσης με τη μέθοδο MED στην Κίμωλο που χρησιμοποιεί γεωθερμική ενέργεια για τη θέρμανση του νερού τροφοδοσίας και εγκαταστάθηκε το 2000. Θεωρείται ότι είναι χαμηλής ενθαλπίας (61 °C), ικανή να παράγει περίπου 80 m³/d χρησιμοποιώντας 50 m³/h γεωθερμικό νερό.
- Μονάδα RO στην Κερατέα που κατασκευάστηκε το 2002 και λειτουργεί συνδυάζοντας ανεμογεννήτριες με φωτοβολταϊκά πάνελ. Η χωρητικότητα της φτάνει τα 3 m³/d, ενώ οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν ονομαστική ισχύ 900 W και 4000 W, αντίστοιχα.

- Μονάδα αφαλάτωσης RO της Μήλου δυναμικότητας 3360 m³/d, η οποία χρησιμοποιεί την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια από ανεμογεννήτριες ισχύος από 850 έως 600 kW και θα παρουσιαστεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.
- Στην Ηρακλεία υπάρχει μια κινητή μονάδα αφαλάτωσης RO, η οποία χρησιμοποιεί τον άνεμο και την ηλιακή ενέργεια μέσω ανεμογεννήτριας 30 kW και εφεδρικού συστήματος φωτοβολταϊκών πάνελ. Πρόκειται για την πρώτη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης στον κόσμο με παραγωγή περίπου 70 m³/d. Η κατασκευή αυτή έχει το σοβαρό πλεονέκτημα ότι μπορεί να τοποθετηθεί σε μεγάλη απόσταση από την στεριά, όπου ο άνεμος είναι ισχυρότερος, ενώ αντέχει σε δύσκολες καιρικές συνθήκες, οπότε η παραγωγή πόσιμου νερού είναι συνεχής. Τόσο η σχεδίαση όσο και τα αποτελέσματα από τη λειτουργία της πλατφόρμας αφαλάτωσης έχουν κερδίσει τις εντυπώσεις σε εθνικό αλλά και σε διεθνές επίπεδο. Το έργο έχει κερδίσει το βραβείο Lloyd's για καινοτόμο ναυτική κατασκευή, καθώς και Ειδική Μνεία στο έργο *«Πλωτή, αυτόνομη και φιλική για το περιβάλλον μονάδα αφαλάτωσης, Νότιο Αιγαίο, Ελλάδα»* από την Επιτροπή του διαγωνισμού των Βραβείων RegioStars 2008, που αφορούν την επιβράβευση των πιο καινοτόμων περιφερειακών σχεδίων της Ευρώπης.

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΜΗΛΟΣ

3.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ-ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Μήλος βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα του Νομού Κυκλάδων με γεωγραφικό πλάτος 36° 41' Βόρειο και γεωγραφικό μήκος 24° 25' Ανατολικό. Τα πιο μεγάλα κοντινά νησιά είναι η Κίμωλος 1.6 km βορειοανατολικά, η Αντίμηλος 20 km βορειοδυτικά και ο Πολύαιγος 2 km δυτικά (Εικόνα 3.1). Η Μήλος ανήκει στο 14^ο Υδατικό Διαμέρισμα, αυτό των Νήσων Αιγαίου και αποτελεί το 5^ο σε μέγεθος νησί των Κυκλάδων. Το νησί από Ανατολικά προς Δυτικά έχει πλάτος 23 km, από Βορρά προς Νότο 13 km, ενώ η συνολική επιφάνεια του εκτιμάται περίπου στα 158.2 km². Το νησί έχει σχήμα πετάλου, σχηματίζοντας ένα βαθύ μεγάλο κόλπο στο μέσο του, ο οποίος το χωρίζει πρακτικά σε δύο μέρη μέσω ενός ισθμού μήκους 2,300 m. Το μήκος των ακτών της είναι περίπου 132.5 km (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).



Εικόνα 3.1 Μήλος (Google Earth).

Η Μήλος διοικητικά αποτελείται από το Δήμο Μήλου. Σε αυτόν ανήκουν 5 δημοτικά διαμερίσματα (Πίνακας 3.1). Οι περισσότεροι οικισμοί είναι συγκεντρωμένοι στο βόρειο-βορειοανατολικό μέρος του νησιού με το κύριο λιμάνι του νησιού να είναι ο Αδάμας και πρωτεύουσα η Πλάκα. Στο δυτικό μισό του νησιού δεν υπάρχουν χωριά, παρά μόνο ελάχιστοι οικισμοί και κάποια παλιά ορυχεία ενώ σχεδόν όλη η δυτική Μήλος ανήκει στο Δίκτυο Natura 2000.

Πίνακας 3.1 Δημοτικά Διαμερίσματα Δήμου Μήλου (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2006).

Δήμος Μήλου
Δ.Δ. Αδάμαντα
Δ.Δ. Μήλου
Δ.Δ. Πέρα Τριοβάσαλου
Δ.Δ. Τριοβάσαλου
Δ.Δ. Τρυπητής

3.2. ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ-ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗ

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή και την απογραφή του 2011 το νησί της Μήλου έχει μόνιμο πληθυσμό 4,977 κατοίκους, με πυκνότητα 31.08 άτομα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Στον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί απεικονίζεται η εξέλιξη του πληθυσμού του νησιού όπως αυτή καταγράφηκε κατά τις απογραφές 1981-2011.

Πίνακας 3.2 Μόνιμος Πληθυσμός Δ.Μήλου (Ελληνική Στατιστική Αρχή).

	ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ			
ΕΤΟΣ	1981	1991	2001	2011
Δ.ΜΗΛΟΥ	4556	4390	4771	4977

Κατά την απογραφή του 1981 και του 1991 παρατηρείται ότι ο πληθυσμός του νησιού παραμένει σχετικά σταθερός, ενώ στις δύο τελευταίες απογραφές σημειώνεται αύξηση του πληθυσμού του. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει μία αυξητική τάση κατά την δεκαετία 1991-2001 που ανέρχεται κατά 381 κατοίκους/έτος ενώ την τελευταία δεκαετία κατά 206 κατοίκους/έτος.

Η συνεχής αύξηση από το 1991 μέχρι το 2011 οφείλεται, ίσως, στη δημιουργία κατάλληλων προϋποθέσεων για τη γενικότερη ανάπτυξη (δημιουργία υποδομών, βελτίωση συγκοινωνιών κλπ.) και στην ανάπτυξη του τουρισμού με επισκέπτες τόσο από το εξωτερικό όσο και το εσωτερικό της Ελλάδας καθώς και στο ότι πολλοί πολίτες άλλων χωρών της Ε.Ε. έχουν επιλέξει ως τόπο μόνιμης κατοικίας τους την Μήλο.

Όσον αφορά την απασχόληση, η περιοχή έχει ήδη εισέλθει σε φάση τριτογενοποίησης της οικονομίας. Στον πρωτογενή τομέα παρουσιάζεται εξαιρετικά χαμηλό ποσοστό των απασχολούμενων, παρόλο που το νησί θα μπορούσε να παράγει αρκετά ποιοτικά γεωργικά προϊόντα. Η στροφή, όμως, σε άλλους τομείς δραστηριότητας (εξόρυξη, τουρισμός) λειτούργησε σε βάρος της διατήρησης της γεωργίας. Βασικός περιοριστικός παράγοντας, βέβαια, υπήρξε η ανεπάρκεια αρδευτικού νερού, που έχει ως αποτέλεσμα και τη μικρή αποδοτικότητα των καλλιεργειών. Επίσης, η απαξίωση των επαγγελματιών που είχαν σχέση με την αγροτική δραστηριότητα έδιωξαν τους νέους μας από τον πρωτογενή τομέα, ο οποίος αποτελεί την κινητήριο δύναμη της οικονομίας κάθε χώρας, με αποτέλεσμα να συνεχίσουν να απασχολούνται σε αυτόν κυρίως άτομα μεγάλης ηλικίας (άνω των 65 ετών), που συνήθως αποτελούν το οικονομικά μη ενεργό μέρος της κοινωνίας.

Η Μήλος, χάρη στη γεωλογική της προέλευση, διαθέτει ιδιαίτερα αξιόλογο ορυκτό πλούτο και η εξορυκτική δραστηριότητα αποτέλεσε βασικό οικονομικό πόρο. Ο τομέας της εξόρυξης απορρόφησε το μεγαλύτερο μέρος του εργατικού δυναμικού της Μήλου, σε βάρος άλλων παραγωγικών κλάδων (γεωργία, αλιεία, κτηνοτροφία) του πρωτογενούς τομέα. Η εργασία στα ορυχεία, αν και σκληρή, παρείχε σταθερό εισόδημα στους κατοίκους της Μήλου και αποτέλεσε σημαντικό πόρο για το νησί. Οι εξορυκτικές εταιρίες δημιούργησαν σημαντικές ευκαιρίες απασχόλησης στο νησί και απασχολούν άμεσα ή έμμεσα έναν μεγάλο αριθμό από εργαζόμενους. Από τα ορυκτά που κατά καιρούς εξορύχτηκαν ή συνεχίζουν να εξορύσσονται αξίζει να αναφερθούν, από τα χαρακτηριζόμενα ως «μεταλλευτικά», η βαρυτίνη, ο αλλουνίτης, το μαγγανιομετάλλευμα και το θειάφι, ενώ από τα «βιομηχανικά», η ποζολάνη, ο περλίτης, ο μπετονίτης και ο καολίνης.

Ο τουρισμός στη Μήλο δεν είχε αναπτυχθεί ιδιαίτερα μέχρι και τη δεκαετία του 1980, καθώς η εξορυκτική δραστηριότητα αφενός εξασφάλιζε στους κατοίκους το απαραίτητο εισόδημα, αφετέρου είχε προσδώσει στο νησί χαρακτηριστική όψη, που ερχόταν σε αντίθεση με την εικόνα τυπικού Κυκλαδίτικου τουριστικού προορισμού. Όμως, το ιδιαίτερο αξιόλογο φυσικό τοπίο του νησιού αρχίζει σιγά-σιγά να εκτιμάται από τους τουρίστες, που χρόνο με το χρόνο κατακλύζουν το νησί με ολοένα και πιο υψηλούς ρυθμούς. Έτσι, ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό των κατοίκων του νησιού απασχολούνται στον τριτογενή τομέα σε ποσοστό 57.29% της συνολικής απασχόλησης. Εκτός από τον τουρισμό, οι κάτοικοι απασχολούνται σε κλάδους του εμπορίου, μεταφορών και λοιπών υπηρεσιών (Γκάγκα, 2006).

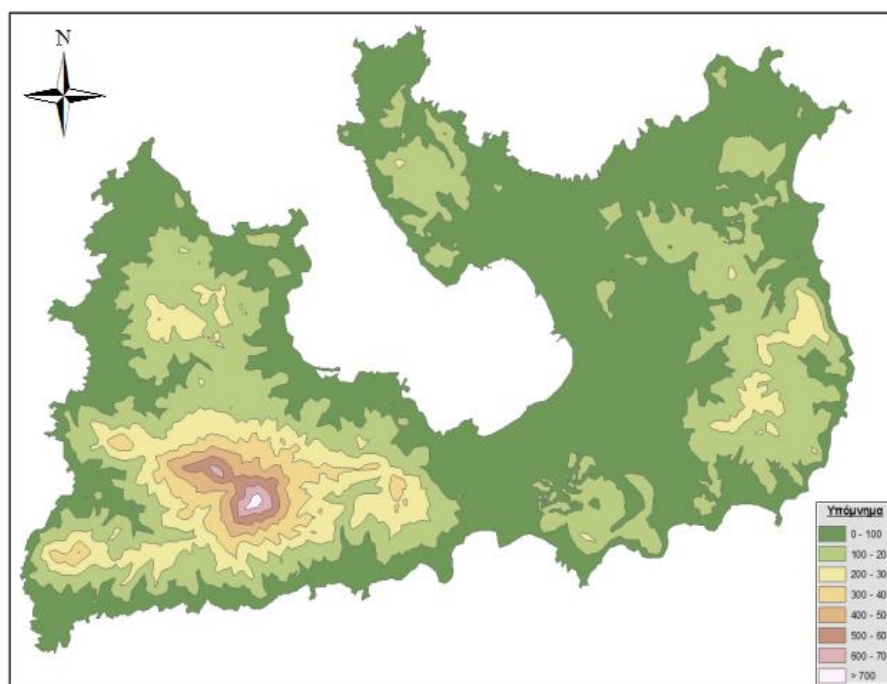
3.3. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η μορφολογία του νησιού είναι ποικίλη, αλλά γενικά χαρακτηρίζεται ως χαμηλή και λοφώδης. Το 86% της συνολικής του έκτασης είναι χαμηλότερο από 200 m.

Το Νοτιοδυτικό και Δυτικό μέρος του νησιού είναι περισσότερο ορεινό με μεγαλύτερα υψόμετρα και εντονότερες κλίσεις σε σχέση με το ανατολικό του τμήμα. Η υψηλότερη κορυφή του νησιού είναι ο Προφήτης Ηλίας, με υψόμετρο 751 m, η οποία βρίσκεται στη νοτιοδυτική του πλευρά. Η αμέσως επόμενη υψηλότερη κορυφή είναι το Χονδρόβουνο, στη δυτική πλευρά του νησιού, με ύψος 635 m. Στο ανατολικό τμήμα του νησιού οι εκτάσεις είναι κυρίως πεδινές. Στο τμήμα αυτό το μεγαλύτερο υψόμετρο είναι 251 m στην Μουρτόραχη.

Οι μορφολογικές κλίσεις στο νησί ποικίλουν, αλλά είναι γενικά πολύ μεγάλες στην περιοχή της Πλάκας, της Φυρίπλακας καθώς και του Προφήτη Ηλία. Πιο απότομο ανάγλυφο και μεγάλες μορφολογικές κλίσεις παρουσιάζονται στις Ανατολικές ακτές της νήσου με χαρακτηριστικές περιπτώσεις τους κρημνούς της ακτογραμμής ανατολικά της περιοχής Δεμενεγάκι και Θειορυχείων, στα μεγάλα ρήγματα (Λεκάνη Ζεφυρίας) και στα ορυχεία της ΒΑ Μήλου (Γκάγκα, 2006).

Στην Εικόνα 3.2 φαίνονται οι υψομετρικές ζώνες ανά 100 m για το νησί της Μήλου.



Εικόνα 3.2 Χάρτης υψομετρικών ζωνών της Μήλου (Τσιούγκου, 2015).

3.4. ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

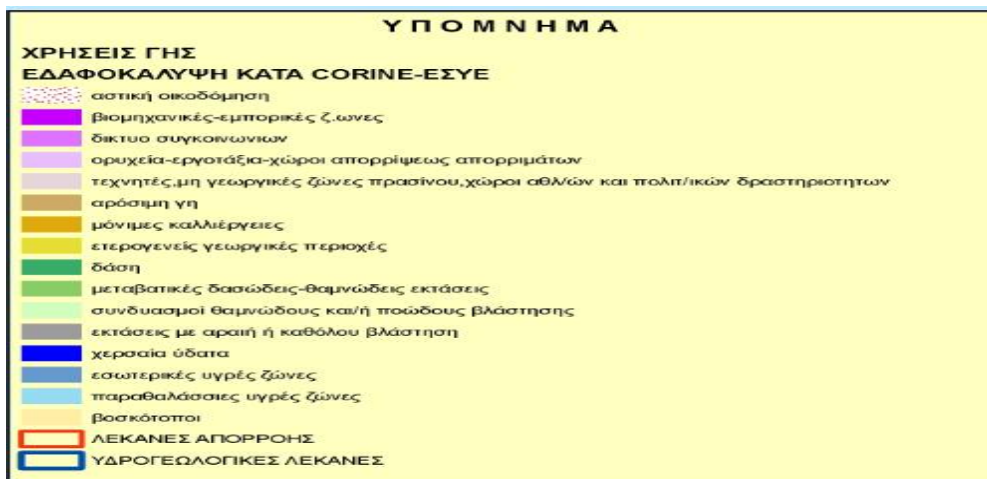
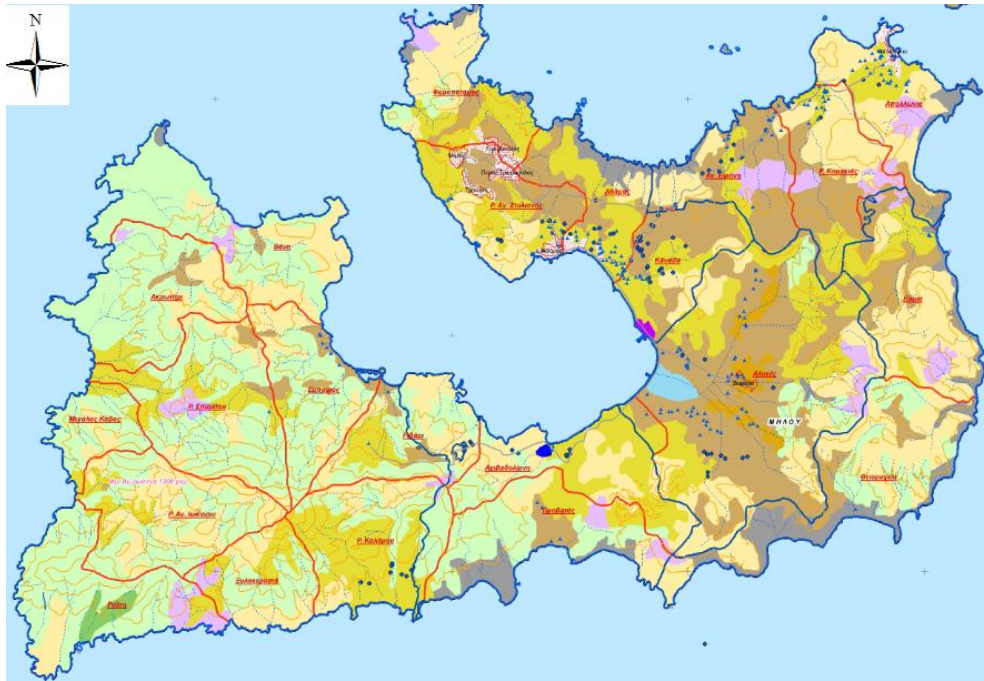
Όσον αφορά τις χρήσεις γης (Εικόνα 3.3), η πλειοψηφία αυτών εμπίπτει στην κατηγορία των γεωργικών περιοχών, με ποσοστό ίσο με το 61.9% της έκτασης. Η κατηγορία των δασών και ημιφυσικών περιοχών αντιστοιχεί στο 33.3% της έκτασης ενώ η κατηγορία των τεχνητών περιοχών μόλις στο 4.4% (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).

Γενικά, στις πεδινές και λοφώδεις εκτάσεις του νησιού συνηθίζεται η καλλιέργεια άνυδρων κηπευτικών, σιτηρών, αμπελιών και ελαιόδεντρων. Οι ομαλές εκτάσεις και εδάφη του νησιού, τα οποία είναι κατάλληλα για καλλιέργεια, βρίσκονται κυρίως στην ανατολική πλευρά του νησιού. Οι βοσκότοποι, επίσης, καταλαμβάνουν ένα μεγάλο ποσοστό του νησιού. Η μεγαλύτερη αναλογία των εκτάσεων, που είναι κατάλληλες για καλλιέργεια και για βόσκηση, οφείλεται στην ομαλότητα του εδάφους και τη μικρή αναλογία βραχότοπων, πάντα σε σχέση με το μέσο όρο του νησιού.

Όσον αφορά τις δασικές εκτάσεις, αυτές καλύπτονται από βλάστηση τύπου «μακί» με διάσπαρτους κέδρους αρκετά μεγάλου μεγέθους, από θαμνώδη βλάστηση και από συμπαγείς συστάδες δασικών δέντρων & ειδών ενώ εμφανίζονται κυρίως στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού. Επίσης, υπάρχει το δάσος οριζοντιόκλαδων κυπαρισσιών, ένας σπάνιος βιότοπος με αιωνόβια δέντρα. Άλλωστε, σχεδόν όλη η δυτική Μήλος είναι περιοχή ενταγμένη στο Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000 και αποτελείται κυρίως από θαμνώδη και ποώδη βλάστηση.

Επίσης, στη δυτική πλευρά υπάρχουν κάποια παλιά ορυχεία (το μόνο που λειτουργεί σήμερα είναι το ορυχείο ποζολάνη στην Ξυλοκερατιά). Στα νοτιοανατολικά του νησιού βρίσκονται και τα εγκαταλελειμμένα θειωρυχεία ενώ στα ανατολικά βρίσκεται και το εν λειτουργία ορυχείο της Αγκεριάς, το οποίο αποτελεί το μεγαλύτερο ορυχείο μπεντονίτη στον κόσμο (Εικόνα 3.4).

Τέλος, να επισημανθεί ότι ένα πολύ μικρό ποσοστό της Μήλου καλύπτεται από νερό (Αλυκές, λιμνοθάλασσα Αχιβαδολίμνης κ.ά.), καθώς και μικρό ποσοστό αποτελούν και οι οικισμοί του νησιού.



Εικόνα 3.3 Χρήσεις Γης Μήλου (Κ/Ε Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).

Όπως είναι προφανές, η διασπορά των ορυχείων στο σύνολο του νησιού και η εξορυκτική δραστηριότητα, η οποία γίνεται επιφανειακά καθώς και η εγκατάλειψη των παλιών ορυχείων επέδρασαν σημαντικά στη γεωμορφολογία του νησιού και είχαν σαν αποτέλεσμα την αλλοίωση του φυσικού τοπίου.



Εικόνα 3.4 Λατομείο εξόρυξης μπετονίτη στη Μήλο (orykta.gr).

3.5. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το κλίμα της Μήλου χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό με τις περισσότερες μέρες του χρόνου να επικρατεί ηλιοφάνεια. Οι χειμώνες είναι ήπιοι με λίγες βροχοπτώσεις και τα καλοκαίρια ζεστά με ελάχιστες έως καθόλου βροχοπτώσεις. Κύριος παράγοντας δροσιάς είναι τα κυκλαδίτικα μελέμια (βόρειοι περιοδικοί άνεμοι) που από τα μέσα του Ιουλίου μέχρι και τα μέσα Αυγούστου πνέουν σχεδόν καθημερινά.

Στο νησί της Μήλου υπάρχει ένας μόνο εγκατεστημένος μετεωρολογικός σταθμός. Πρόκειται για τον ομώνυμο μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ, που είναι ένας από τους αρχαιότερους σταθμούς της περιοχής μελέτης, καθώς λειτουργεί από το 1931. Σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού αυτού στη Μήλο για το έτος 2019 (Πίνακας 3.3), η μέση ετήσια θερμοκρασία που καταγράφηκε στον προαναφερθέντα μετεωρολογικό σταθμό ανέρχεται στους 18.4°C, ενώ οι μέσες μηνιαίες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 10.5°C (Ιανουάριος) και 25.9°C (Ιούλιος). Το νησί είναι γενικά άνομβρο και η ετήσια βροχόπτωση που μετρήθηκε είναι 638 mm για το χρόνο 2019. Οι περισσότερες βροχές παρατηρούνται από τον Δεκέμβριο έως το Φεβρουάριο, ενώ τον Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο οι βροχές είναι ιδιαίτερα σπάνιες. Επίσης, η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου ανέρχεται στα 10.1 km/h με επικρατέστερη διεύθυνση τη Βορειοανατολική. Οι μήνες κατά τους οποίους

εμφανίστηκαν οι ισχυρότεροι άνεμοι είναι από τον Δεκέμβριο έως το Φεβρουάριο καθώς και το μήνα Αύγουστο. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία, για την ευρύτερη περιοχή της Μήλου, ανέρχεται σε 65.84 %.

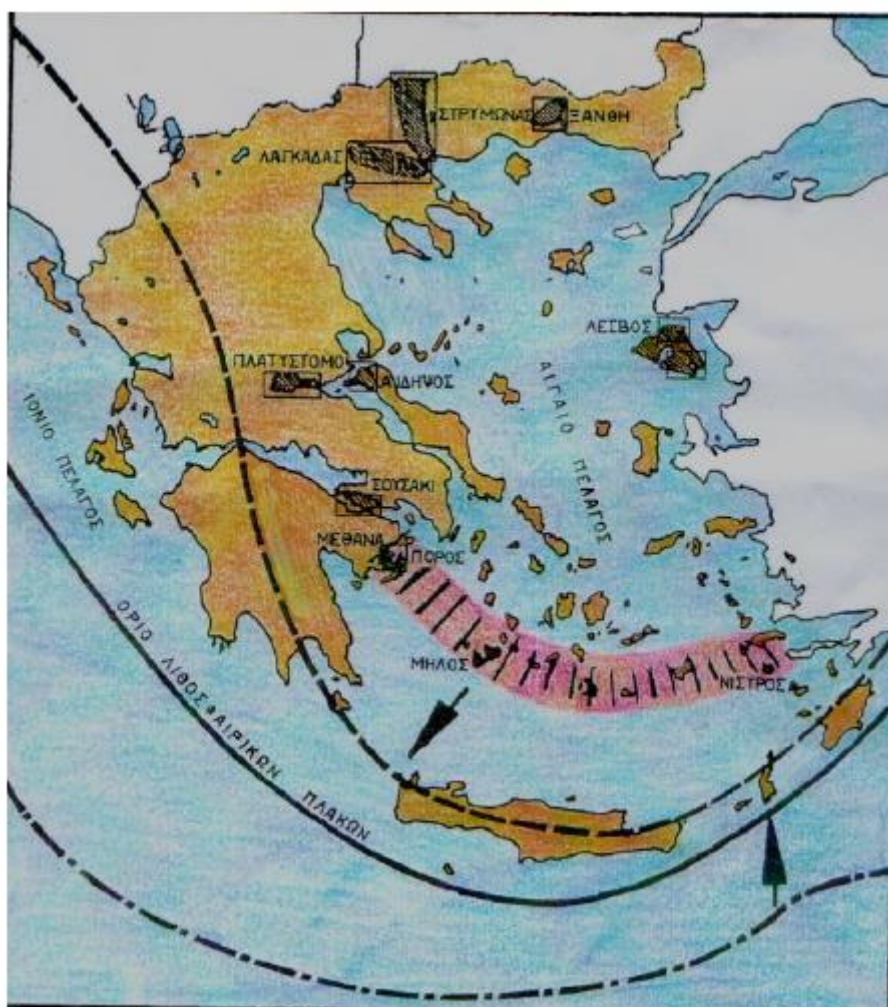
Πίνακας 3.3 Μετεωρολογικά στοιχεία για τη Μήλο (ΕΜΥ).

Έτος 2019	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία °C	10.5	11.1	13.2	15.0	18.8	24.5	25.9	25.8	22.9	20.6	18.7	13.8
Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία °C	12.6	13.0	15.6	17.9	22.7	28.2	29.7	28.8	26.1	23.4	21.1	15.8
Μέση Ελάχιστη Θερμοκρασία °C	7.7	9.1	10.9	12.6	15.4	21.4	22.9	23.4	20.5	18.3	16.4	11.7
Συνολική Κατακρήμνιση(mm)	219	127.2	61.4	60.6	2.8	-	0.4	-	0.2	51.2	2.4	113
Μέση Ταχύτητα Ανέμου (Km/h)	10.3	15.3	14	10.4	6.8	8.9	9.3	11.9	10	7.3	6.4	10.5

3.6. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η Μήλος αποτελεί ένα ηφαιστειογενούς προελεύσεως νησί, αποτέλεσμα εκτεταμένης ηφαιστειακής δραστηριότητας. Το νησί εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα του Ελληνικού ηφαιστειακού τόξου, στο ονομαζόμενο «ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου», το οποίο ξεκινάει από την Κόρινθο και περνώντας από την Αίγινα, Μέθανα, Μήλο, Σαντορίνη, και Νίσυρο καταλήγει στην Μικρά Ασία (Εικόνα 3.5). Το ηφαιστειακό τόξο αποτελεί την έκφραση της ενεργούς καταβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την μικροπλάκα του Αιγαίου. Η καταβύθιση αυτή ξεκίνησε στο Κατώτερο Μειόκαινο, πυροδοτώντας την ηφαιστειακή δραστηριοποίηση του Κατώτερου Πλειοκαίνου. Τα ηφαιστειακά πετρώματα δομούν μια ασβεσταλκαλική ακολουθία η σύσταση της οποίας κυμαίνεται από βασαλτικά έως ρυολιτικά πετρώματα, με επικρατέστερη σύσταση αυτή του δακίτη. Η ηφαιστειογενής ακολουθία της Μήλου, σχηματίστηκε επί του Μεσοζωικού κρυσταλλικού υποβάθρου και του Νεογενούς ασβεστόλιθου. Η ακολουθία που σχηματίστηκε από την παλαιότερη ηφαιστειακή δραστηριότητα και η οποία αποτελείται από λευκοκρατικά υλικά

εναλλασσόμενα με θαλάσσια ιζήματα, τοποθετείται ασύμφωνα επί του κρυσταλλικού υποβάθρου. Αρκετοί ενδιάμεσης σύστασης υποθαλάσσιοι δόμοι και λάβες σχηματίστηκαν κατά την διάρκεια του Ανώτερου Πλειοκαίνου. Ηφαιστειακές εκρήξεις που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια του Κατώτερου Πλειστοκαίνου χαρακτηρίζονται από εκχύσεις λαβών ρυολιθικής έως ανδεσιτικής σύστασης. Η νεότερη φάση ηφαιστειότητας (Ανώτερο Πλειστόκαινο-σήμερα) έλαβε χώρα όταν η νήσος είχε πλήρως αναδυθεί, παράγοντας ρυολιθικούς υαλώδεις κώνους, ρυολιθικές λάβες και κρατήρες χαρακτήρα φρέατος (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).



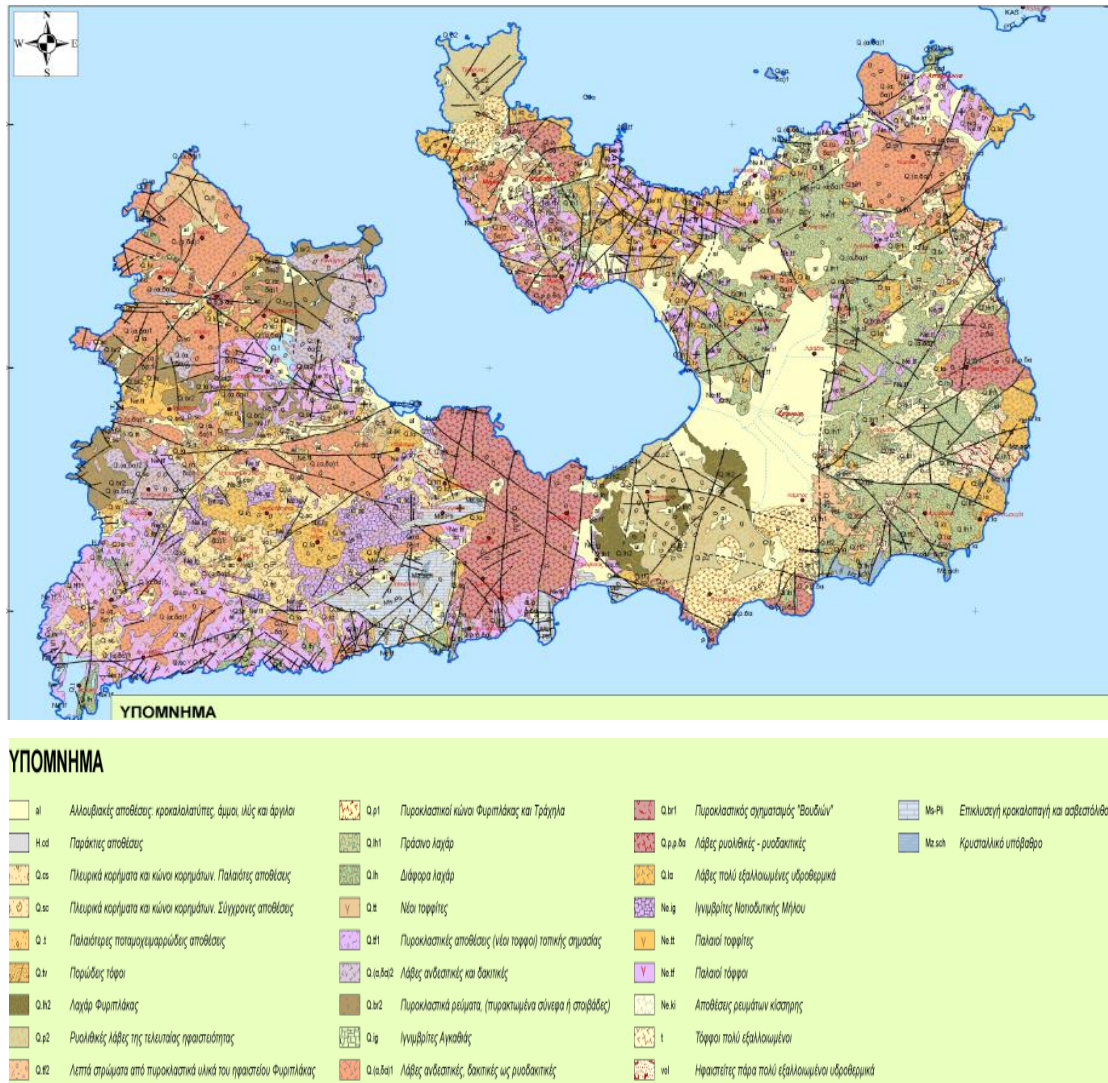
Εικόνα 3.5 Ηφαιστειακό τόξο νοτίου Αιγαίου (Γκάγκα, 2006).

Συγκεκριμένα, η στρωματοποιημένη εικόνα του νησιού από τους κατώτερους προς τους ανώτερους γεωλογικούς σχηματισμούς είναι η εξής: κρυσταλλικό υπόβαθρο, νεογενή ιζήματα, παλιοί ηφαιστειακοί τόφοι και τοφφίτες, ιγνιμβρίτες, παλιές

ρυολιθικές εκχύσεις, παλιές δακτιτικές – ανδρσιτικές εκχύσεις, διαφόρων τύπων αναβλήματα, νεότεροι τόφφοι, διάφορα λαχάρ, νεότερες ρυολιθικές εκχύσεις και αναβλήματα και νεότατες αποθέσεις.

Επιχειρώντας μία ομαδοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών της νήσου (Εικόνα 3.6), μπορούν να διακριθούν οι ακόλουθες γεωλογικές ενότητες: α) Μεταμορφωμένο αλπικό υπόβαθρο, το οποίο συνίσταται από τους μεσοζωικούς κρυσταλλικούς σχιστόλιθους της Αττικοκυκλαδικής κρυσταλλοσχιστώδους μάζας, β) Ηφαιστειακά και ηφαιστειο-ιζηματογενή πετρώματα Πλειοκαινικής και Πλειστοκαινικής ηλικίας όπως λιπαρίτες, δακίτες, ανδρσιτικοί βασάλτες καθώς και από ηφαιστειακά αναβλήματα και τόφφους, γ) νεογενή θαλάσσια ιζήματα, όπως κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι και δ) τεταρτογενής προσχωματικές αποθέσεις, οι οποίες προέρχονται από την αποσάθρωση κυρίως των θαλασσιών αποθέσεων και ηφαιστειτών και εν μέρει των κρυσταλλικών σχιστόλιθων.

Η Μήλος, λοιπόν, όπως έχει ήδη αναφερθεί, δημιουργήθηκε από ηφαιστειακή δραστηριότητα που έλαβε χώρα στο παρελθόν. Οι ηφαιστειακοί βράχοι καλύπτουν τη μεγαλύτερη έκταση του νησιού. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα ξεκίνησε πριν 2-3 εκατομμύρια χρόνια και σταμάτησε πριν 90,000 χρόνια. Στο νησί υπάρχουν δύο σβηστά ηφαίστεια, το ηφαίστειο της Φυριπλάκας και το ηφαίστειο του Τράχηλα. Το ηφαίστειο της Φυριπλάκας, που έχει έναν εντυπωσιακό κρατήρα με διάμετρο 1700 m και ύψος 220 m περίπου, διατηρείται σε πολύ καλή κατάσταση και βρίσκεται στο κεντρικό και νότιο τμήμα του νησιού. Από το δεύτερο ηφαίστειο, το ηφαίστειο του Τράχηλα, στο βόρειο-βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, διατηρείται μόνο ένα μικρό τμήμα. Επίσης, στο νησί υπάρχουν πολλοί ηφαιστειακοί δόμοι, όπως είναι το κάστρο της Χώρας, και ο Προφήτης Ηλίας. Αποτελούνται από λάβα που στερεοποιήθηκε πριν χυθεί και είναι κυρίως από ανδρσίτη. Οι ηφαιστειακοί βράχοι στο Σαρακίνικο έχουν λευκό χρώμα και δημιουργήθηκαν με την εναπόθεση επαναλαμβανόμενων στρώσεων υλικού. Σε αυτούς, μάλιστα, έχουν βρεθεί απολιθώματα.



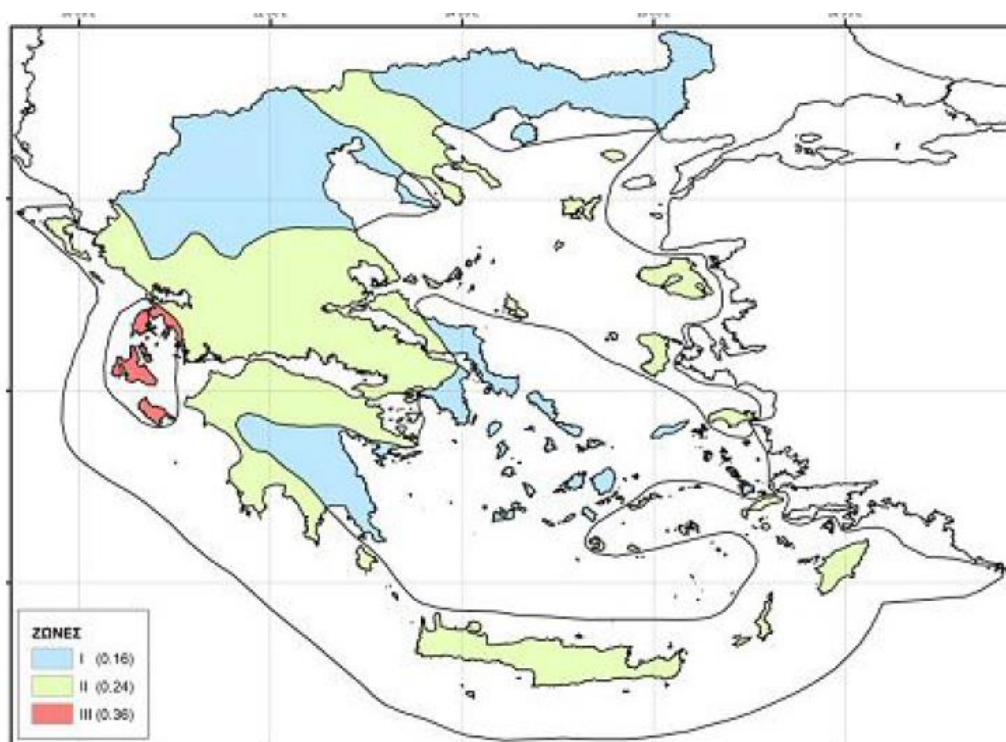
Εικόνα 3.6 Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Μήλου (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).

Όσον αφορά την τεκτονική του νησιού, η Μήλος χαρακτηρίζεται από την παρουσία δύο διευθύνσεων ρηγμάτων. Η κύρια διεύθυνση είναι Α-Δ και η δευτερεύουσα ΒΔ-ΝΑ. Ο τεκτονικός αυτός χαρακτήρας εντάσσεται στο γενικό τεκτονικό μοντέλο του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου, το οποίο δομείται επί του λεπτού ηπειρωτικού φλοιού της μικροπλάκας του Αιγαίου. Η περιοχή υπέστη εκτεταμένη διαστολή στο Μειόκαινο με κύριο χαρακτηριστικό την εμφάνιση ρηγμάτων αποχωρισμού. Πολλές λεκάνες του Πλειοκαίνου διαμορφώθηκαν σαν αποτέλεσμα της δράση ρηγμάτων Α-Δ διεύθυνσης. Οι λεκάνες αυτές οριοθετούνται από οριζόντια ρήγματα Β-Ν διεύθυνσης. Κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς και ως αποτέλεσμα της αρχικής σύγκρουσης της μικροπλάκας του Αιγαίου με τον Αφρικανικό ηπειρωτικό φλοιό, σχηματίστηκαν τάφροι ΒΒΔ διεύθυνσης (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου,

2005). Εξαιτίας αυτής της τεκτονικής, λοιπόν, συναντάμε ατμίδες (πηγές αερίων) που κυρίως στην ανατολική και νοτιοανατολική περιοχή του νησιού. Πρόκειται για αέρια (ατμοί, διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, κ.α.) τα οποία διαφεύγουν από την επιφάνεια και προέρχονται από το εσωτερικό της γης. Στις περιοχές αυτές ορισμένες φορές είναι χαρακτηριστικό το κίτρινο χρώμα του θείου και η οσμή του, ενώ η θερμοκρασία του εδάφους τριγύρω από τις ατμίδες είναι ιδιαίτερα υψηλή (για παράδειγμα, Αγ. Κυριακή 102°C, Πυρωμένες 100°C, Παλιοχώρι 101°C, Αδάμαντας 100°C). Ατμίδες υπάρχουν και σε υποθαλάσσιες περιοχές, όπου και πάλι το κίτρινο χρώμα του θείου είναι χαρακτηριστικό, τα δε αέρια, υπό μορφή φυσαλίδων, αναδύονται στην επιφάνεια του νερού.

Όλες αυτές οι επιφανειακές εκδηλώσεις υψηλής θερμοκρασίας, στο πέρασμα εκατομμυρίων ετών, έχουν δράσει έτσι ώστε αφ' ενός μεν να αλλοιωθεί το έδαφος και να δώσει διάφορα εκμεταλλεύσιμα ορυκτά και πετρώματα, και αφ' ετέρου να εμφανιστεί ενδιαφέρον γεωθερμικό πεδίο.

Τέλος, όσον αφορά τη σεισμικότητα του νησιού, η Μήλος επί το πλείστον χαρακτηρίζεται από μικρή σεισμική επικινδυνότητα, όπως παρουσιάζεται στον χάρτη της Εικόνας 3.7. Συγκεκριμένα, βρίσκεται στην 1η Ζώνη με τιμές ενεργού εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού έως 0,16 g.



Εικόνα 3.7 Νέος Χάρτης Σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδας 2004 (Γκάγκα, 2006).

3.7. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η πετρολογική σύνθεση της νήσου και η γεωλογική της κατασκευή παρέχουν την δυνατότητα σχηματισμού τόσο υπόγειων υδροφόρων όσο και φυσικών δεξαμενών αποθήκευσης ύδατος. Ωστόσο, λόγω της χημικής σύστασης των πετρωμάτων, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ύδατος παρουσιάζουν πρωτογενή επιβάρυνση. Περιοχές οι οποίες ευνοούν τον σχηματισμό υπόγειων υδροφορέων εντοπίζονται στις κοιλάδες της νήσου, οι οποίες δομούνται σε γενικές γραμμές από προσχωματικά υλικά του Τεταρτογενούς καθώς και από πετρώματα ηφαιστειογενούς προελεύσεως. Εκτός των υπογείων υδροφόρων, λόγω των εκτεταμένων επιφανειακών αποθέσεων του Μπεντονίτη σχηματίζονται και φυσικές λίμνες, όπως αυτή της Αχιβαδολίμνης και του Προβατά. Με βάση τα παραπάνω στην νήσο Μήλο μπορούν να διακριθούν οι κάτωθι υδρογεωλογικές λεκάνες που παρουσιάζουν υδροφορία:

α) Λεκάνη Φυλακωπής: Αποτελεί την πιο ευνοϊκή από άποψη υδροφορίας. Παρατηρείται διάχυτη υδροφορία τόσο εντός των ηφαιστειτών του υποβάθρου, όσο και εντός των προσχωματικών αποθέσεων. Όσον αφορά την υδροφορία των ηφαιστειτών, αυτή παρουσιάζει σοβαρή πρωτογενή ποιοτική επιβάρυνση (το νερό σε αρκετές περιπτώσεις παρουσιάζει θερμομεταλλικά χαρακτηριστικά), αλλά και μικρές αποδόσεις σε παροχή. Αντίθετα η υδροφορία των προσχωματικών αποθέσεων είναι αρκετά σημαντικότερη, ωστόσο υπάρχει ο κίνδυνος υφαλμύρισης από θαλασσινό ύδωρ, ιδιαίτερα κατά την θερινή περίοδο. Συνδεδεμένη με τη λεκάνη της Φυλακωπής, τοποθετημένη στο ανάντι τμήμα της, είναι η υπολεκάνη του Μυγιόκολο. Η περιοχή καλύπτεται από ηφαιστείτες, παρουσιάζοντας πρωτογενή ποιοτική επιβάρυνση του ύδατος, καθώς και μειωμένες δυνατότητες παροχής σημαντικών ποσοτήτων ύδατος.

β) Λεκάνη Πάχαινας: Η λεκάνη καταλαμβάνεται κυρίως από ηφαιστείτες η υδροφορία των οποίων παρουσιάζει, όπως και στις λεκάνες που αναλύθηκαν προηγουμένως, πρωτογενή ποιοτική επιβάρυνση του ύδατος και μικρές απολήψιμες ποσότητες από την υδροφορία διάχυτου χαρακτήρα. Οι προσχωσιγενείς αποθέσεις παρουσιάζουν περιορισμένη εμφάνιση και μικρό πάχος, ωστόσο οι ποσότητες ύδατος που δύνανται να παρέχουν είναι αρκετά σημαντικότερες σε σχέση με αυτές του υποβάθρου. Ωστόσο το αντλούμενο ύδωρ είναι ποιοτικά επιβαρυνόμενο λόγω επιμολύνσεως από τη θάλασσα.

γ) Λεκάνη Ζεφύριας: Ανάπτυξη σχετικά φτωχού υδροφόρου ορίζοντα εντός των προσχωματικών αποθέσεων της περιοχής. Η ποιοτική κατάσταση του ύδατος κρίνεται

επιβαρυνόμενη, τόσο πρωτογενώς, όσο και δευτερογενώς. Αξίζει να σημειωθεί ότι συχνές είναι και οι θερμές αναβλύσεις στην περιοχή.

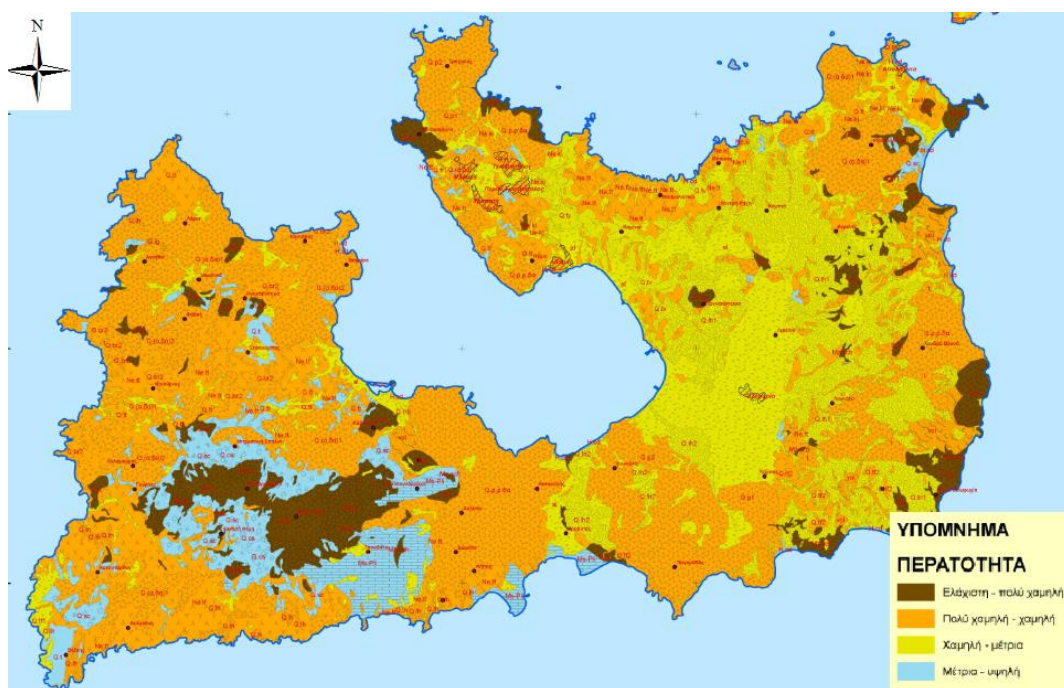
δ) Λεκάνη Αδάμαντος: Οι κύριοι υδροφόροι σχηματισμοί στην περιοχή του Αδάμαντος είναι οι προσχώσεις, οι ηφαιστειακοί τόφφοι, καθώς και τα στρώματα τεταρτογενούς ψαμμίτη, τα οποία καταλαμβάνουν σημαντική έκταση στην εν λόγω περιοχή.

ε) Λεκάνη Προβατά: Η υδροφορία της συγκεκριμένης λεκάνης εντοπίζεται εντός των περλιτικών λαβών, ενώ στην περιοχή εντοπίζονται επίσης και σχηματισμοί τόφφων. Η υδροφορία μπορεί των περλιτικών λαβών μπορεί να χαρακτηριστεί ως καλή, αν και δεν αναμένονται σημαντικές ποσότητες απολήψιμου ύδατος.

ζ) Λεκάνη Απολλωνίων: Εντοπίζεται σχετικά μικρή υδροφορία στους ηφαιστειίτες της περιοχής, ωστόσο η ποιότητα του ύδατος είναι πρωτογενώς και δευτερογενώς επιβαρυνόμενη (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).

Όσον αφορά τις θερμές πηγές που συναντάμε στη Μήλο, αυτές φτάνουν μέχρι θερμοκρασία 55 °C. Τέτοιες πηγές υπάρχουν στον Αδάμαντα (τα χλωριονατριούχα λουτρά του Λάκκου σε μια φυσική σπηλιά μέσα σε σπήλαιο όπου έχουν κατασκευαστεί και χώροι για μπάνιο) με θερμοκρασία 33.3°C, στις Αλυκές με θερμοκρασία 22°C, στην Κάναβα και στο Παλιοχώρι με 50°C, στα Μανδράκια με 55°C κ.α.

Στην Εικόνα 3.8 που ακολουθεί φαίνεται ο χάρτης υδροπερατότητας της Μήλου.



Εικόνα 3.8 Χάρτης περατότητας της Μήλου (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).

3.8. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Όσον αφορά το υδρογραφικό δίκτυο του νησιού, στην ανάπτυξη της μορφής του, επέδρασαν σε μεγάλο βαθμό η υπάρχουσα μορφολογία, η τεκτονική δομή καθώς και η ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων του νησιού. Το συνολικό μήκος υδατορευμάτων της Μήλου ανέρχεται στα 281.8 km.

Αρχικά, στο δυτικό τμήμα του νησιού, η κύρια γραμμή του υδροκρίτη (γραμμή διαχωρισμού των υδάτων), δεν διακρίνεται ακριβώς εξαιτίας της ύπαρξης πολλών λόφων. Στο νοτιο-δυτικό μέρος, η υδροκριτική γραμμή παύει πλέον να είναι μια γραμμή και γίνεται ένα σημείο το οποίο βρίσκεται σε υψόμετρο 751m, στην κορυφή του Προφήτη Ηλία. Οι μεγαλύτερες λεκάνες απορροής του δυτικού τμήματος είναι οι λεκάνες των ρεμάτων Αγίου Ιωάννη και Δασίφνου, οι οποίες πηγάζουν από τον Προφήτη Ηλία. Η ύπαρξη, λοιπόν, των δόμων και των ηφαιστειακών κώνων συντελεί στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου σε ακτινοειδή μορφή. Το δίκτυο αποκλίνει από την κεντρική υπερυψωμένη περιοχή του Προφήτη Ηλία, όπου τα ρέματα αποκλίνουν και δημιουργούν κενές περιοχές.

Η ανατολική περιοχή του νησιού αποστραγγίζεται από πολλά ρέματα διαιρετικού μήκους, τα οποία δημιουργούν πολλές αυτοτελείς λεκάνες απορροής διαφόρων μεγεθών. Στο ανατολικό τμήμα, γενικά, παρατηρείται μεγαλύτερος αριθμός λεκανών απορροής απ' ό,τι στο δυτικό, με μικρότερο, όμως, εμβαδόν. Η μεγαλύτερη λεκάνη του ανατολικού τμήματος είναι η λεκάνη της Ζεφυρίας, η οποία αποτελεί σύμπλεγμα από λεκάνες πολλών τυφλών υδατορευμάτων. Τα υδατορεύματα αυτά δεν εκβάλλουν στη θάλασσα, διότι αναπτύσσονται σε αλλούβια στρώματα που παρουσιάζουν αυξημένη υδροπερατότητα. Στην περιοχή αυτή είναι δύσκολος ο διαχωρισμός μιας σαφούς υδροκριτικής γραμμής. Ο υδροκρίτης της λεκάνης της Ζεφυρίας αποτελεί μια κύρια υδροκριτική γραμμή για όλες τις γειτονικές λεκάνες της κεντρικής περιοχής. Η κύρια υδροκριτική γραμμή στο ανατολικό τμήμα είναι περισσότερο γωνιώδης σε σχέση με το δυτικό.

Στο νοτιοανατολικό τμήμα η υδροκριτική γραμμή διαχωρισμού των λεκανών απορροής είναι αρκετά πολύπλοκη. Αυτό συμβαίνει διότι η παρουσία του υποβάθρου στην επιφάνεια και ο έντονος τεκτονισμός διευκολύνει τη δίοδο των υδροθερμικών διαλυμάτων, τα οποία επιφέρουν εξαλλοίωση στα υπάρχοντα πετρώματα, κατά διάφορες διευθύνσεις (Γκάγκα, 2006).



Εικόνα 3.9 Λεκάνες απορροής και υδρογραφικό δίκτυο Μήλου (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).

3.9. ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗ

Το νησί της Μήλου δεν είναι διασυνδεδεμένο με το Εθνικό Σύστημα και ηλεκτροδοτείται από τον αυτόνομο σταθμό (ΑΣΠ) της ΔΕΔΔΗΕ που λειτουργεί με μονάδες πετρελαίου. Ο σταθμός αυτός είναι εγκατεστημένος κοντά στη θάλασσα μεταξύ των οικισμών Αδάμαντα και Ζεφυρίας. Διαθέτει 9 μονάδες διαφόρων μεγεθών με συνολική αποδιδόμενη ισχύ 13.5 MW περίπου (εγκατεστημένη ισχύς 21.35 MVA). Λόγω παλαιότητας των μονάδων, όμως, η αξιοπιστία τους κρίνεται χαμηλή και τα ενδεχόμενα βλαβών με μείωση της αποδιδόμενης ισχύος είναι πιθανά δημιουργώντας έτσι προβλήματα ιδιαίτερα κατά την θερινή περίοδο. Γι' αυτό, για την κάλυψη των αιχμών της θερινής περιόδου η ΔΕΗ προσφεύγει στην ενοικίαση ηλεκτροπαραγωγών μονάδων, οι οποίες, βέβαια, αποτελούν μια πρόσθετη δαπάνη.

Η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται στους καταναλωτές στη Μήλο με απ' ευθείας πρόσβαση σε δύο επίπεδα τάσεως, την χαμηλή τάση (0.4 kV) και την μέση τάση (15 kV), ενώ τα τιμολόγια διακρίνονται ανάλογα με τη χρήση τους. Κατά κανόνα, το μέγεθος της ζήτησης οδηγεί και στο αντίστοιχο επίπεδο τάσεως με χαμηλότερες τιμές

στα υψηλά επίπεδα τάσεως, κυρίως λόγω μειωμένων επενδύσεων στο δίκτυο, μικρές απώλειες και μειωμένες δαπάνες εκμετάλλευσης. Βασικά χαρακτηριστικά των τιμολογίων είναι η χρέωση για ζήτηση ισχύος (kW) και η χρέωση για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kWh), εκτός από μερικές περιπτώσεις στη χαμηλή τάση όπου χρεώνεται μόνο η ενέργεια (kWh). Οι τάσεις που επικρατούν είναι οι διαφορετικές χρεώσεις για κάθε ζώνη ζήτησης με κατάλληλους μετρητές για να αποθαρρύνουν υψηλές καταναλώσεις στη ζώνη αιχμής και τελικά τη μείωση της μέγιστης ζήτησης, κάτι που δεν αποκλείεται να εφαρμοσθεί σύντομα στα νησιά.

Το δίκτυο μέσης τάσης (15kV) είναι αρκετά εκτεταμένο με υποσταθμούς ΜΤ/ΧΤ για την ηλεκτροδότηση των καταναλωτών του νησιού. Η μέγιστη ζήτηση παρουσιάζεται κατά τον μήνα Αύγουστο τις βραδινές ώρες (12 MW) ενώ το ελάχιστο του έτους είναι της τάξης των 2.1 MW κυρίως τους χειμερινούς μήνες και την Άνοιξη. Οι μήνες υψηλής ζήτησης είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και στη συνέχεια ακολουθούν ο Σεπτέμβριος και ο Ιούνιος. Ο ρυθμοί αύξησης της ζήτησης ενέργειας και ισχύος είναι υψηλοί (της τάξης του 10% ετησίως) ενώ ο ετήσιος συντελεστής φορτίου είναι χαμηλός γύρω στο 43%, με αποτέλεσμα μεγάλες διακυμάνσεις της ισχύος κατά τη διάρκεια του 24ώρου και εποχιακά. Ενδεικτικά, η ετήσια καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2005 ξεπέρασε τα 40 GWh (Γκάγκα, 2006).

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι η Μήλος αποτελεί ένα νησί, το οποίο χαρακτηρίζεται από το υψηλό ενεργειακό δυναμικό που διαθέτει σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η περιοχή του διαθέτει πλούσιο αιολικό και φωτοβολταϊκό δυναμικό, ικανό για να καλύψει σημαντικό ποσοστό των ενεργειακών αναγκών του νησιού.

Τα τελευταία χρόνια, στο νησί της Μήλου βρίσκεται σε λειτουργία Αιολικό Πάρκο της εταιρείας Αιολική Μήλου Α.Ε. στη θέση «Κουτσούνόρραχη» με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 2.65 MW, το οποίο αποτελείται από 4 Ανεμογεννήτριες (Εικόνα 3.10). Πιο συγκεκριμένα, στο Αιολικό Πάρκο εγκαταστάθηκαν το 1999, δύο Α/Γ Vestas V42 με ισχύ 600 kW έκαστη, το 2005 εγκαταστάθηκε τρίτη Α/Γ Vestas V52 με ισχύ 850 kW, ενώ το 2008 προστέθηκε και τέταρτη Α/Γ Vestas V52, ισχύος 850 kW προκειμένου να αντισταθμίσει τις ενεργειακές ανάγκες-καταναλώσεις της μονάδας αφαλάτωσης αντίστροφης ώσμωσης του νησιού. Η συνολική παραγωγή αιολικής ενέργειας από το συγκεκριμένο Αιολικό Πάρκο ανέρχεται (σύμφωνα με στοιχεία της ιδιοκτήτριας εταιρείας) σε 8,391,000 kWh / έτος ενώ ο συντελεστής ισχύος λειτουργίας του Αιολικού Πάρκου είναι της τάξης του 36% (Δήμος Μήλου, 2016).



Εικόνα 3.10 Αιολικό Πάρκο Μήλου (<https://ita-sa.gr/>).

Επίσης, ως προς αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, στο νησί υπάρχουν εγκατεστημένοι ηλιακοί συλλέκτες για παραγωγή θερμού νερού (sanitary water) στους οικισμούς καθώς και Φωτοβολταϊκά Πάρκα, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στην ΔΕΔΔΗΕ. Στη Μήλο βρίσκονται σε λειτουργία επτά (7) Φωτοβολταϊκά Πάρκα με συνολική ισχύ 618.07 kW. Η εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας από αυτά είναι περίπου 987,000 kWh / έτος (Δήμος Μήλου, 2016).

Στον Πίνακα 3.4 συνοψίζεται η εγκατεστημένη ισχύς και ετήσια παραγωγή από ΑΠΕ για το νησί της Μήλου.

Πίνακας 3.4 Εγκατεστημένη ισχύς και ετήσια παραγωγή από ΑΠΕ στη Μήλο (Δ.Μήλου, 2016).

Τεχνολογία ΑΠΕ	Εγκατεστημένη Ισχύς	Ετήσια Παραγωγή
Ανεμογεννήτριες	2.65 MW	8,391,000 kWh
Φωτοβολταϊκά	618.07 kW	987,000 kWh

Τέλος, δε γίνεται να μην αναφερθούν τα γεωθερμικά πεδία που εντοπίζονται στο νησί της Μήλου, τα οποία όμως παραμένουν ανεκμετάλλευτα ενώ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλων παραγωγικών δραστηριοτήτων. Σημαντικά πεδία εντοπίζονται κυρίως στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του νησιού και παρουσιάζουν ιδιαίτερο οικονομικό ενδιαφέρον. Αυτά διακρίνονται τόσο σε υψηλής (άνω των 100 °C) όσο και σε χαμηλής ενθαλπίας (μέχρι 100 °C), επιτρέποντας πλήθος εφαρμογών, από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμικό ατμό 320 °C μέχρι τη θέρμανση θερμοκηπίων με θερμό νερό 45°C.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά το πεδίο υψηλής ενθαλπίας, αυτό οριοθετείται από την περιοχή του Αδάμαντα και εκτείνεται ανατολικά και νοτιοανατολικά μέχρι και την ευρύτερη περιοχή του χωριού Ζεφυρία με έκταση μεγαλύτερη των 50 Km². Χαρακτηρίζεται ως ένα ιδιαίτερα πλούσιο γεωθερμικό πεδίο από πλευράς θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών του γεωθερμικού ρευστού (θερμοκρασία, πίεση, ενθαλπία). Το 1973, μετά από πολύπλευρες έρευνες του ΙΓΜΕ, προσδιορίστηκαν συγκεκριμένες θέσεις για βαθιές γεωτρήσεις όσον αφορά την περεταίρω έρευνα για το συγκεκριμένο πεδίο. Έτσι, οι πρώτες ερευνητικές – παραγωγικές γεωτρήσεις έγιναν από τη ΔΕΗ σε συνεργασία με την Ιταλική Εταιρεία Ηλεκτρισμού (ENEL), σε βάθη 1.000 έως 1.400 m. Οι θερμοκρασίες των ρευστών στον ταμιευτήρα βρέθηκαν να είναι 300 έως 325 °C. Οι δοκιμαστικές αντλήσεις, έτσι, επιβεβαίωσαν την ύπαρξη ρευστών συνολικής ισχύος 120 MW τουλάχιστον ενώ δεν αποκλείεται να υπερβαίνει και τα 200 MW. Στη συνέχεια, το 1986, η ΔΕΗ εγκατέστησε έναν πειραματικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 2 MW, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί και το ευρύ νησιωτικό σύμπλεγμα αλλά από την αρχή λειτουργίας του παρουσιάστηκαν προβλήματα λόγω ύπαρξης θειούχων αλάτων βαρέων μετάλλων και πυριτικών. Επίσης, η κύρια γεώτρηση ορύχθηκε στην περιοχή της Ζεφυρίας, πολύ κοντά στη μεγαλύτερη πόλη του νησιού, τον Αδάμαντα, όπου είχε μόλις ξεκινήσει η τουριστική ανάπτυξη και είχε σαν αποτέλεσμα τη σφοδρή αντίδραση των κατοίκων ως προς το σταθμό ηλεκτροπαραγωγής. Αιτίες της αρνητικής τοποθέτησης του κοινού ήταν η ιδιαίτερα επιβαρυνόμενη ατμόσφαιρα, οφειλόμενη στην ανεξέλεγκτη διαρροή υδρόθειου και άλλων επικίνδυνων αερίων από τη γεώτρηση, τη ρύπανση των επιφανειακών νερών (βρόχινο νερό και νερό υδατοδεξαμενών) με αρσενικό και θειικά ιόντα και την απόθεση μεγάλων ποσοτήτων υγρών και στερεών αποβλήτων στον όρμο της Αγίας Κυριακής. Αποτέλεσμα των ανωτέρω επιπτώσεων, ήταν η δημιουργία έντονων διαμαρτυριών, με συγκεντρώσεις και απεργίες, οι οποίες διήρκεσαν 2 περίπου

χρόνια (1987-1989) και οδήγησαν τελικά στην επιβολή παύσης λειτουργίας του πιλοτικού σταθμού.

Πέραν του γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας όμως, στην περιοχή συναντώνται και γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας. Επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας και θερμές πηγές υπάρχουν σε πολλά σημεία του νησιού. Μετά από έρευνες του ΙΓΜΕ, στην περιοχή του Αδάμαντα, εντοπίζεται ρηχός ταμιευτήρας νερού θερμοκρασίας 45-73 °C. Η έκτασή του εκτιμάται σε 30 Km² και το βάθος του κυμαίνεται από 10 έως 100 m. Το βεβαιωμένο δυναμικό του πεδίου είναι 200 m³/h ενώ το πιθανό μπορεί να φτάσει τα 1,000 m³/h. Επίσης, τη διετία 2001-2002 και στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Έργου MIDES, ανορύχθηκαν στην περιοχή "Βουνάλια" της Μήλου 10 γεωτρήσεις μικρού βάθους (63-184 m), οι οποίες εντόπισαν νερά θερμοκρασίας 50-99°C. Οι γεωτρήσεις εντοπίζονται στις ρυολιτικές - περλιτικές λάβες των Βουναλίων, που αποτελούν το νεότερο ηφαιστειακό σχηματισμό της Μήλου και ο οποίος είναι καλά διαρρηγμένος. Από τις γεωτρήσεις αυτές, εκείνες που είχαν τις χαμηλότερες θερμοκρασίες και βρίσκονταν κοντά στην ακτή θεωρήθηκαν επανεισαγωγής, ενώ οι υπόλοιπες ήταν παραγωγικές. Οι δύο περισσότερο παραγωγικές γεωτρήσεις, βάθους 85 και 89 m, παρήγαγαν νερά θερμοκρασίας 98.5 και 97 °C με παροχή 100 m³/h. Το γεωθερμικό νερό είναι εξίσου ή και πιο αλμυρό από το θαλασσινό νερό. Η γεωθερμική έρευνα στα Βουνάλια εντόπισε έναν υδροφορέα υψηλής διαπερατότητας μέσα στις περλιτικές λάβες και τα λαχάρ, που εκτείνεται από την ακτή μέχρι πάνω από 1km στο εσωτερικό του νησιού και του οποίου το πάχος κυμαίνεται μεταξύ 100 και 150 m. Θερμοκρασίες των 40-60°C σημειώνονται σε μια ζώνη 0-500 m από την ακτή, με εμφανή θερμοκρασιακή αναστροφή στο εσωτερικό των γεωτρήσεων. Σε απόσταση περίπου 1km από την ακτή, οι θερμοκρασίες στον υδροφορέα φτάνουν τους 80-100°C. Οι γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν μπορούν να παράγουν 400 m³/h νερού θερμοκρασίας 85-99°C (Fytikas *et al.*, 2005).

Παρά τις έρευνες και τα επιβεβαιωμένα γεωθερμικά πεδία, όμως, οι κάτοικοι του νησιού ακόμη και σήμερα αντιτίθενται στην αξιοποίηση τους εξαιτίας των λανθασμένων επιχειρήσεων, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν. Σαν αποτέλεσμα, αυτά παραμένουν ανεκμετάλλευτα ενώ θα μπορούσαν να καλύψουν τις ηλεκτρικές ανάγκες του νησιού και να συμβάλλουν στην αυτονομία του.

3.10. ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ

Όπως πολλά νησιά του Αιγαίου, έτσι και το νησί της Μήλου, έχει πολύ περιορισμένους υδατικούς πόρους εξαιτίας τόσο των περιορισμένων βροχοπτώσεων, όσο και της μικρής ικανότητας των εδαφών να συγκρατήσουν το νερό. Σε ορισμένες περιοχές της Μήλου μετά την εξορυκτική εκμετάλλευση των εδαφών, σε μεγάλα ορύγματα παρατηρείται συγκέντρωση υδάτων, με αποτέλεσμα την δημιουργία υγροτόπων, οι οποίοι, όμως, αξιοποιούνται για άρδευση και πότισμα ζώων. Επίσης, στο νησί δεν υπάρχουν λιμνοδεξαμενές ή φράγματα και ούτε σημαντικές πηγές υδροδότησης. Πιο πλούσια σε υδατικούς πόρους εμφανίζονται η πεδιάδα της Ζεφυρίας, της Φυλακωπής και των Πολλωνίων. Ο υδροφόρος ορίζοντας της Ζεφυρίας βρίσκεται σε μικρό βάθος που δεν υπερβαίνει τα 5-10 m, ενώ σε βαθύτερα τμήματα υπάρχουν και μεγαλύτερα αποθέματα. Μικρής παροχής πηγές και μόνιμα επιφανειακά ύδατα παρατηρούνται μόνο στον Άγιο Ιωάννη στα δυτικά της Μήλου και σε φυσικές δεξαμενές στις βόρειες πλαγιές του Προφήτη Ηλία. Τα σπίτια στους οικισμούς Πλάκα, Τρυπητή, Τριοβάσαλος, Πέρα Τριοβάσαλος και Αδάμαντας διαθέτουν οικιακές δεξαμενές (στέρνες), που γεμίζουν με νερό από το δίκτυο και το χειμώνα με βρόχινο νερό.

Μέχρι και το 2006, η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών στη Μήλο ήταν ιδιαίτερα δύσκολη. Οι ανάγκες του νησιού σε νερό καλύπτονταν κατά το μέτρο του εφικτού από γεωτρήσεις και μεταφερόμενες ποσότητες με υδροφόρα πλοία.

Οι μεταφερόμενες ποσότητες νερού στη Μήλο με υδροφόρα πλοία έφταναν 200,000 m³ ετησίως με κόστος προμήθειας και μεταφοράς νερού 9-10 €/m³ περίπου, το οποίο αποτελούσε χρηματοδότηση από το Υπουργείο Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής, στα πλαίσια του προγράμματος υδροδότησης των άνυδρων νησιών του Αιγαίου. Ιδιαίτερα, μάλιστα, τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου η ζήτηση λόγω τουρισμού αυξανόταν, η ανάγκη για μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία ήταν ακόμη μεγαλύτερη αλλά και δαπανηρή. Τα ποσά που καταβάλλονταν κάθε χρόνο για την μεταφορά νερού στη Μήλο χωρίς όμως να εξασφαλιζόταν ικανοποιητική ποιότητα και ποσότητα, ήταν της τάξης των 2,000,000 €.

Στον Πίνακα 3.5 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μηνιαίες μεταφερόμενες ποσότητες νερού (m³) από το Λαύριο στη νήσο Μήλο για τα έτη 2001-2005. Να σημειωθεί ότι στον πίνακα έχουν καταγραφεί για το έτος 2005 οι ποσότητες που μεταφέρθηκαν έως και τον Ιούνιο του 2005.

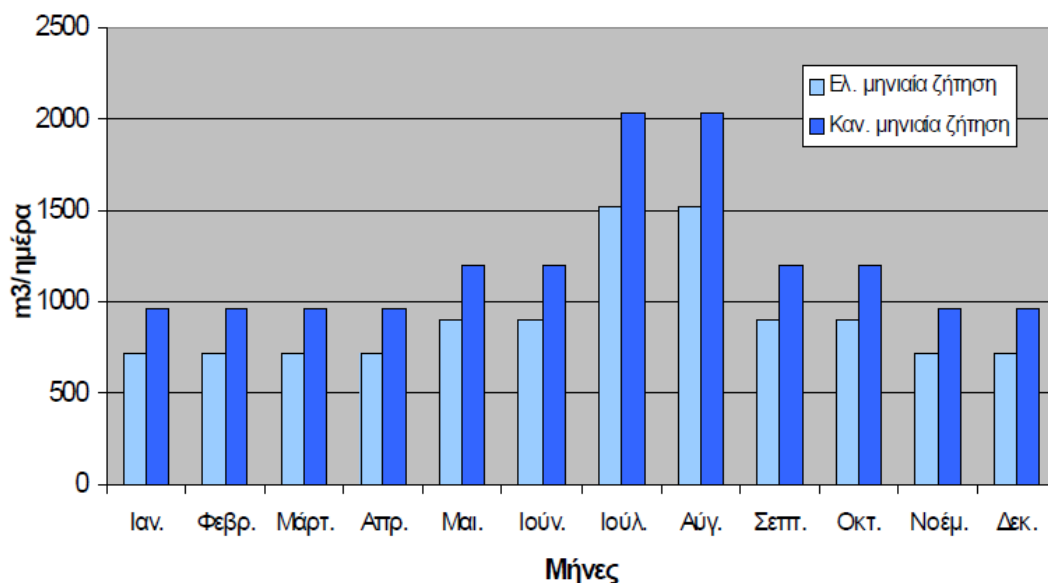
Πίνακας 3.5 Μεταφερόμενες ποσότητες νερού στη Μήλο (m³) (Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, 2005).

ΜΗΝΑΣ	ΈΤΟΣ				
	2001	2002	2003	2004	2005
ΙΑΝ	-	13,800	9,210	8,300	7,966
ΦΕΒ	-	10,750	8,250	6,000	5,054
ΜΑΡ	10,520	14,800	11,200	4,260	14,050
ΑΠΡ	-	11,200	15,450	11,306	20,170
ΜΑΙ	-	14,950	16,550	12,368	23,562
ΙΟΥΝ	-	18,570	20,000	22,760	29,630
ΙΟΥΛ	-	19,700	23,500	20,330	-
ΑΥΓ	-	18,240	17,690	18,710	-
ΣΕΠΤ	-	21,980	26,220	17,560	-
ΟΚΤ	-	17,850	17,558	16,590	-
ΝΟΕ	16,254	14,700	10,492	10,816	-
ΔΕΚ	-	12,550	8,362	10,800	-
ΣΥΝΟΛΟ	26,774	189,090	184,482	159,800	100,432

Οι γεωτρήσεις παρείχαν, επίσης, περίπου 170,000 m³ νερό ετησίως με υψηλή, όμως, περιεκτικότητα αλάτων με αποτέλεσμα το νερό να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πόσιμο. Ο υπόγειος υδροφορέας είχε υποστεί υφαλμύριση εξαιτίας των υπεραντλήσεων, αφού εκτός από τις δημοτικές γεωτρήσεις υπήρχαν κι ιδιωτικές σε αδιευκρίνιστο αριθμό, οι οποίες συνείσφεραν στην επιτάχυνση της περιεκτικότητας των αλάτων στο αντλούμενο νερό. Ως αποτέλεσμα, η χρήση εμφιαλωμένου νερού στο νησί ολοένα και αυξανόταν αφού το νερό που διοχετευόταν από τα δημοτικά δίκτυα στο δίκτυο ήταν ακατάλληλο ακόμη και για μαγείρεμα (Γκάγκα, 2006).

Επομένως, η συνολική ποσότητα νερού στο νησί από γεωτρήσεις και μεταφορές ήταν της τάξης περίπου των 370,000 με 400,000 m³ ετησίως, ενώ γινόταν και ευρεία χρήση εμφιαλωμένου νερού ως πόσιμου από τους κατοίκους της Μήλου.

Παρακάτω, στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται η μέση ημερήσια ζήτηση νερού κατά μήνα, το 2005.



Σχήμα 3.1 Μέση ημερήσια ζήτηση νερού κατά μήνα το 2005 για ελάχιστη και κανονική ζήτηση για τη Μήλο (Γκάγκα, 2006).

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα, η μεγαλύτερη ζήτηση παρουσιάζοταν κατά τους μήνες της υψηλής τουριστικής περιόδου Ιούλιο και Αύγουστο με μέση μηνιαία ζήτηση $1,523\text{m}^3$ (ελάχιστη ζήτηση με 150 L/d-cap) και $2,030\text{ m}^3$ (κανονική ζήτηση 200 L/d-cap) ενώ η ημερήσια αιχμή είχε φθάσει τα $1,770\text{ m}^3$ και $2,360\text{ m}^3$ αντίστοιχα. Οι συνολικές ετήσιες ανάγκες νερού για το 2005 υπολογίσθηκαν στις $335,000\text{ m}^3$ για ελάχιστη ζήτηση και $440,000\text{ m}^3$ για κανονική ζήτηση.

3.10.1. Μονάδα Αφαλάτωσης

Από το καλοκαίρι του 2007 άρχισε να λειτουργεί στη Μήλο μια μονάδα αφαλάτωσης, συνολικής δυναμικότητας $3,360\text{ m}^3$ νερού την ημέρα, η οποία μπορεί να καλύψει όλες τις ανάγκες του νησιού σε νερό (Εικόνα 3.11). Ο όμιλος ΙΤΑ, μέσω της θυγατρικής εταιρίας του «ΑΙΟΛΙΚΗ ΜΗΛΟΥ Α.Ε.», εγκατέστησε δυτικά του παραθαλάσσιου οικισμού Μανδράκια, αρχικά, μια μονάδα αφαλάτωσης δυναμικότητας $2,240\text{ m}^3$ πόσιμου νερού την ημέρα, την οποία στην συνέχεια την επέκτεινε επιπλέον κατά $1,120\text{ m}^3/\text{d}$ το 2009. Η μονάδα έχει σχεδιαστεί ώστε να καλύψει όλες τις ανάγκες του νησιού, τόσο σε ετήσια βάση όσο και σε επίπεδο ημερήσιας αιχμής, καλύπτοντας, μάλιστα, και τις καλοκαιρινές αιχμές του συστήματος, καθώς και τις μακροπρόθεσμες ανάγκες του σε ορίζοντα εικοσαετίας.

Η μονάδα αυτή αντισταθμίζει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία της από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από μια ανεμογεννήτρια ισχύος 850 kW που εγκαταστάθηκε για το σκοπό αυτό και είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο, εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτόν μηδενική επιβάρυνση στο περιβάλλον και ταυτόχρονα υψηλής ποιότητας πόσιμο νερό σε χαμηλή τιμή.

Έχει δοθεί, επίσης, η δέουσα προσοχή στη χωροθέτηση της μονάδας, έτσι ώστε να μην υπάρχει καμία επιβάρυνση στο φυσικό περιβάλλον. Επίσης, κατά τη διαδικασία της αφαλάτωσης δε χρησιμοποιούνται επικίνδυνες ουσίες.

Πρόκειται για ένα πραγματικά πρωτοποριακό έργο, το πρώτο στην Ελλάδα, το οποίο συμβάλει όχι μόνο στην αυτονομία του νησιού, αλλά και στην ουσιαστική βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων του και την ανάπτυξη του νησιού γενικότερα. Η θέση του έργου σε λειτουργία επιτυγχάνει την πλήρη υποκατάσταση ύδατος που μέχρι πρότινος προέρχονταν από μεταφορά υδροφόρων πλοίων ή από τοπικές γεωτρήσεις όπως αναλύθηκε παραπάνω, με πόσιμο νερό άριστης ποιότητας.



Εικόνα 3.11 Μονάδα αφαλάτωσης στη Μήλο (Όμιλος ΙΤΑ, 2010).

Πιο συγκεκριμένα, το σύνθετο αυτό έργο αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά τμήματα (Όμιλος ΙΤΑ, 2010):

1. τη Μονάδα Αφαλάτωσης

Πρόκειται για μια μονάδα μεθόδου αντίστροφης ώσμωσης (RO), η οποία χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό και βασίζεται, κυρίως, στην τεχνολογία ειδικών μεμβρανών, με εφαρμογή υψηλής πίεσης νερού. Η μονάδα αποτελείται από τρεις πανομοιότυπες υπομονάδες δυναμικότητας των 1,120 m³/d, κάθε μία εκ των οποίων έχει σχεδιαστεί με 2 συστοιχίες (trains) των 560 m³/d (σύνολο 6 συστοιχίες) (Εικόνα 3.12). Κάθε συστοιχία αποτελείται από 42 μεμβράνες υψηλής απόρριψης, χαμηλής ενέργειας. Ο σχεδιασμός αυτός προσδίδει στο σύστημα σημαντική λειτουργική ευελιξία, αυξημένη αξιοπιστία και διαθεσιμότητα. Το σύνολο του εξοπλισμού της προκατεργασίας, της αντίστροφης ώσμωσης και της μετεπεξεργασίας είναι εγκατεστημένο σε containers, ομαδοποιημένο στις τρεις πλήρως αυτόνομες υπομονάδες (στη βάση των modules), γεγονός που συντελεί στην εύκολη επεκτασιμότητα της ανάλογα με τις ανάγκες σε παραγωγή νερού. Χωριστά μέρη του συστήματος αποτελούν οι αντλίες αναρρόφησης θαλασσινού νερού, το σημείο απόρριψης του αλμόλοιπου και η δεξαμενή πόσιμου ύδατος, απ' όπου το πόσιμο νερό οδηγείται, μέσω αντλιών μεταπρώθησης, στην κεντρική συστοιχία δεξαμενών, για διοχέτευσή του στο δίκτυο ύδρευσης του Δήμου Μήλου.



Εικόνα 3.12 Οι δύο συστοιχίες κάθε υπομονάδας αφαλάτωσης (Όμιλος ΙΤΑ, 2010).

Η μονάδα έχει σχεδιαστεί, χρησιμοποιώντας τεχνολογία αιχμής, με εντυπωσιακά χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση και την ελάχιστη δυνατή χρήση χημικών. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, σε αντίθεση με άλλες παρόμοιες εφαρμογές αφαλάτωσης, στη μονάδα αφαλάτωσης της Μήλου, χάρη στο σχεδιασμό της, σε γενικές γραμμές, έχει επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή χρήση χημικών τόσο στην είσοδο του θαλασσινού νερού στις μεμβράνες όσο και στο παραγόμενο νερό.

Η άντληση του θαλασσινού νερού πραγματοποιείται μέσω τεσσάρων υποβρύχιων αντλιών από ανοξείδωτο χάλυβα ικανότητας έκαστη $70 \text{ m}^3/\text{h}$, οι οποίες είναι εμβαπτισμένες σε δύο πηγάδια δακτυλίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, διαμέτρου 2 m που έχουν κατασκευαστεί επί της ακτής. Από τις τέσσερις αντλίες, αγωγοί από PVC με τα παρελκόμενα συστήματά τους (βάνες, ανεπίστροφα κλπ.) οδηγούν το θαλασσινό νερό σε κολεκτέρ πλησίον των πηγαδιών και από εκεί μέσω του κεντρικού αγωγού προσαγωγής προς τις μονάδες αντίστροφης ώσμωσης.

Το αντλούμενο θαλασσινό νερό στη συνέχεια περνάει από τα στάδια της προεπεξεργασίας, της αντίστροφης ώσμωσης και της μετεπεξεργασίας για να αποθηκευτεί προσωρινά σε δεξαμενή εξισορρόπησης της παροχής, χωρητικότητας 100 m^3 . Το απομένον αλμόλοιπο απορρίπτεται στη θάλασσα σε κατάλληλο σημείο (μακράν του σημείου άντλησης), το οποίο επιλέχθηκε βάσει ειδικής μελέτης διάχυσης που εκπονήθηκε.

Όσον αφορά τη φάση προεπεξεργασίας του θαλασσινού νερού που αντλείται, αυτό, αρχικά, περνάει από αυτόματα πολυστρωματικά φίλτρα χαλαζιακής άμμου/ανθρακίτη και σακόφιλτρα από πολυπροπυλένιο, για την κατακράτηση ξένων σωμάτων και οργανισμών που ίσως υπάρχουν. Ως χημικό προεπεξεργασίας χρησιμοποιείται μόνο αντικαθαλατωτικό, κατάλληλο για χρήση σε μονάδες αφαλάτωσης παραγωγής πόσιμου νερού.

Το φιλτραρισμένο νερό οδηγείται, στη συνέχεια, στις μεμβράνες υψηλής απόρριψης, χαμηλής ενέργειας, οι οποίες τροφοδοτούνται από αντλίες θετικής εκτόπισης, υψηλής απόδοσης.

Όσον αφορά τη μετεπεξεργασία του αφαλατωμένου νερού, πραγματοποιείται με φίλτρα δολομιτικού πετρώματος που επιτρέπουν τη ρύθμιση της σκληρότητας και τον έλεγχο του pH, χωρίς την ανάγκη δοσομέτρησης θειϊκού οξέος. Επιπλέον, πραγματοποιείται χλωρίωση του αφαλατωμένου νερού, όπως σε οποιαδήποτε εγκατάσταση ύδρευσης, με χρήση διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου και ειδικό σύστημα δοσομέτρησης (Εικόνα 3.13).



Εικόνα 3.13 Η μετεπεξεργασία του αφαλατωμένου νερού (Όμιλος ΙΤΑ, 2010).

Το σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας, που την καθιστά σαφώς πιο αποδοτική από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία αντίστροφης ώσμωσης, είναι το πλέον σύγχρονο σύστημα ανάκτησης ενέργειας που βασίζεται στην τεχνική της εναλλαγής πίεσης. Με το πρωτοποριακό αυτό σύστημα ανακτάται το 97% της πίεσης του συμπυκνώματος και μεταφέρεται στο φρέσκο θαλασσινό νερό, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται εντυπωσιακά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, προσφέροντας παράλληλα υψηλή απόδοση και λειτουργική αξιοπιστία, ακόμα και για σημαντικές μεταβολές των παραμέτρων λειτουργίας της μονάδας (αλατότητα, θερμοκρασία θαλασσινού νερού κ.τ.λ.), καθώς και μειωμένες ανάγκες συντήρησης.

Η μονάδα είναι φυσικά εξοπλισμένη με όλο τον απαιτούμενο ηλεκτρολογικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, καθώς και πληθώρα βοηθητικών συστημάτων (αυτόματη έκπλυση μεμβρανών και χημικού καθαρισμού κλπ.) και οργάνων ελέγχου σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας (τιμές ροών, αγωγιμότητας, PH, πιέσεων, θερμοκρασιών, σήματα alarm κλπ.).

Στην Εικόνα 3.14 φαίνεται συνολικά το εσωτερικό μιας εκ των τριών υπομονάδων αφαλάτωσης στο νησί της Μήλου.



Άποψη από το εσωτερικό της Μονάδας Αφαλάτωσης

Εικόνα 3.14 Η συνολική άποψη από το εσωτερικό μιας υπομονάδας αφαλάτωσης (Ομίλος ΙΤΑ, 2010).

2. τη Δεξαμενή Λειτουργίας – Τροφοδότησης με τον Καταθλιπτικό Αγωγό

Το παραγόμενο, αφαλατωμένο πλέον, νερό μεταφέρεται μέσω καταθλιπτικού αγωγού σε 4 δεξαμενές λειτουργίας-τροφοδότησης συνολικής χωρητικότητας $3,000 \text{ m}^3$ κατασκευασμένες εξωτερικά από γαλβανισμένη λαμαρίνα και εσωτερικά από θερμοπλαστική μεμβράνη EPDM για τη δημιουργία σάκου (Εικόνα 3.15). Οι δεξαμενές έχουν εγκατασταθεί σε υψηλότερο σημείο και συνδέονται με το δίκτυο ύδρευσης του νησιού.

Για τη μεταφορά του νερού από τη ρυθμιστική δεξαμενή των 100 m^3 στις 4 δεξαμενές λειτουργίας-τροφοδότησης χρησιμοποιείται αντλιοστάσιο που περιλαμβάνει 3 όμοιες αντλίες υψηλής πίεσης (η μία εφεδρική) με παροχή η καθεμιά $55 \text{ m}^3/\text{h}$ και μανομετρικό 150 m με τις απαραίτητες δικλείδες και βαλβίδες αντεπιστροφής που λειτουργούν σε συνδυασμό με τις μονάδες αφαλάτωσης. Οι 4

δεξαμενές συνδέονται με τη δεξαμενή εξισορρόπησης μέσω καταθλιπτικού αγωγού (HDPE τρίτης γενιάς @ DN 220, PN 16) συνολικού μήκους 2,800 m.



Εικόνα 3.15 Δεξαμενές αποθήκευσης νερού (Ομιλος ΙΤΑ, 2010).

3. την Ανεμογεννήτρια

Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης παράγεται από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, με την επέκταση του υφιστάμενου Αιολικού Πάρκου της Αιολικής Μήλου Α.Ε στη θέση «Κουτσουνόραχη» με μία νέα ανεμογεννήτρια Vestas τύπου V-52 ισχύος 850 kW. Ουσιαστικά, δηλαδή, η ηλεκτρική ενέργεια την οποία καταναλώνει η μονάδα αφαλάτωσης από το δίκτυο, αντισταθμίζεται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία εγχέεται στο δίκτυο από την ανεμογεννήτρια.

4. το ηλεκτρονικό Σύστημα Διαχείρισης-Λειτουργίας της Μονάδας Αφαλάτωσης-Ανεμογεννήτριας με το υπάρχον ηλεκτρικό σύστημα του νησιού

Κάθε υποσύστημα του έργου, δηλαδή η μονάδα αφαλάτωσης και η ανεμογεννήτρια ελέγχονται μέσω αυτόνομων συστημάτων SCADA. Επιπλέον, για το συντονισμό των δύο συστημάτων και την κάλυψη των αναγκών του συστήματος πρόβλεψης και διαχείρισης της Μονάδας Αφαλάτωσης και της Ανεμογεννήτριας, έχει εγκατασταθεί ένα πρωτοποριακό κεντρικό σύστημα τηλεέγχου - τηλεχειρισμού (MASTER SCADA), το οποίο έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει όλες τις ανάγκες πρόβλεψης, λειτουργίας και διαχείρισης της Μονάδας Αφαλάτωσης, των Κεντρικών Δεξαμενών λειτουργίας καθώς και της ανεμογεννήτριας και να επιτυγχάνει το βέλτιστο συνδυασμό των δύο συστημάτων (αφαλάτωσης και ανεμογεννήτριας). Το σύστημα αυτό συλλέγει στοιχεία και εκτελεί σενάρια λειτουργίας έχοντας πάντα σαν κύριο στόχο τη βέλτιστη διαχείριση της ανεμογεννήτριας και της μονάδας αφαλάτωσης, ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής ή και κατά τις ώρες υψηλής αιολικής παραγωγής σε συνδυασμό με τα μέγιστα και ελάχιστα φορτία, επιτυγχάνοντας παράλληλα την ελάχιστη δυνατή παρέμβαση του συντηρητή – χειριστή των μονάδων (Όμιλος ΙΤΑ, 2010).

Παράλληλα έχουν εγκατασταθεί οθόνες σε καίρια σημεία του νησιού, όπως στο Δημαρχείο και στο λιμάνι άφιξης των πλοίων, όπου παρουσιάζονται και καταγράφονται βασικές πληροφορίες από τη λειτουργία όλων των συστημάτων του έργου.

Το σύνθετο αυτό έργο «Μονάδα Αφαλάτωσης με χρήση Αιολικής Ενέργειας» μελετήθηκε, αδειοδοτήθηκε και κατασκευάστηκε εξολοκλήρου με κεφάλαια της ΑΙΟΛΙΚΗ ΜΗΛΟΥ Α.Ε χωρίς τη συμμετοχή του Δήμου στις μελέτες, τις άδειες και τις δαπάνες κατασκευής. Είχε συνολικό προϋπολογισμό 4.8 εκ. € και έχει επιδοτηθεί από το Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης «Ειδικές ενεργειακές υποδομές για τα νησιά και για την προώθηση των ΑΠΕ» του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ανταγωνιστικότητα ΕΠΑΝ. Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΜΗΛΟΥ Α.Ε είναι ο ιδιοκτήτης της μονάδας και αποκλειστικά υπεύθυνη για τη λειτουργία και συντήρησή της. Ο Δήμος Μήλου απλά αγοράζει το παραγόμενο νερό με συμφωνηθείσα τιμή ανά κυβικό βάσει σχετικής μακροχρόνιας σύμβασης αγοράς που έχει υπογραφεί.

Στον Πίνακα 3.6 που ακολουθεί παρουσιάζεται αναλυτικά το κόστος της μονάδας αφαλάτωσης της Μήλου.

Πίνακας 3.6 Κόστος της μονάδας αφαλάτωσης της Μήλου (Όμιλος ΙΤΑ, 2010).

Συνολικός Προϋπολογισμός Έργου	4.800.000 €	Έργα υποδομής, Μονάδα Αφαλάτωσης (και επέκτασή της), Δεξαμενές, δίκτυο, Α/Γ, SCADA
Ίδια κεφάλαια	30%	ΑΙΟΛΙΚΗ ΜΗΛΟΥ Α.Ε
Δάνειο	25%	Εμπορική Τράπεζα
Επιδότηση	45%	ΕΠΑΝ Μέτρο 6.3 & Αναπτυξιακός
Ετήσια Παραγωγή νερού	> 450.000	m³
Ειδική κατανάλωση ενέργειας	2,5 kWh/m³	Μονάδα αφαλάτωσης μόνο
Συνολική ειδική κατανάλωση ενέργειας	4,0 kWh/m³	ΜΑ & αντλίες θαλασσινού νερού & αντλίες μεταπρώθησης
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Γ	~ 1.900.000	kWh / έτος
Κόστος νερού για το Δήμο Μήλου	1,89	€/m³

Ανακεφαλαιώνοντας, ο συνδυασμός της Μονάδας Αφαλάτωσης με Χρήση της Αιολικής Ενέργειας, έχει οδηγήσει σε βέλτιστα οικονομικά και τεχνικά αποτελέσματα για το νησιωτικό περιβάλλον και τους κατοίκους της Μήλου προς την κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης. Η μονάδα αφαλάτωσης της Μήλου αποτελεί ένα πρωτοποριακό για τα δεδομένα της Ελλάδας έργο, το οποίο προσέφερε πληθώρα πλεονεκτημάτων στην καλύτερη κάλυψη των αναγκών του νησιού σε νερό. Συγκεκριμένα, τα οφέλη της μονάδας είναι τα εξής (Όμιλος ΙΤΑ, 2010):

- Άμεση και οριστική αντιμετώπιση προβλήματος λειψυδρίας με το βέλτιστο τεχνικά, περιβαλλοντικά και χρονικά τρόπο
- Άριστη ποιότητα παραγόμενου νερού
- Εφαρμογή της πλέον προηγμένης και αξιόπιστης τεχνολογίας
- Εντυπωσιακά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας
- Σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη χάρη στο σχεδιασμό του συστήματος και στη χρήση ΑΠΕ για την κάλυψη των αναγκών της μονάδας
- Υψηλή διαθεσιμότητα και αξιοπιστία
- Πολλαπλά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη
- Μείωση κόστους προμήθειας νερού κατά 80%

- Μείωση δαπανών για άντληση και για χρήση εμφιαλωμένου νερού
- Ορθολογικότερη χρήση υδάτινων αποθεμάτων
- Απαλλαγή από προβλήματα συντήρησης οικιακών συσκευών
- Αποδέσμευση κονδυλίων για τη βελτίωση και επέκταση του δικτύου ύδρευσης του νησιού.

Ουσιαστικά, το έργο στο νησί της Μήλου αποτελεί μια επένδυση, η οποία περιλαμβάνει σύγχρονη τεχνολογία και μεθοδολογία σε πλήρη τεχνολογική και επιχειρηματική ωριμότητα. Είναι ένα πρωτοποριακό έργο, το πρώτο στην Ελλάδα, που μπορεί να αποτελέσει την απαρχή για την επίλυση του προβλήματος της λειψυδρίας που αντιμετωπίζουν όλα τα νησιά σήμερα με τη βέλτιστη για το περιβάλλον λύση.

4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύονται τα δεδομένα (χρονοσειρές ανέμου, πληθυσμός περιοχής, τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος) που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου 10 χρόνων και των παραδοχών που θεωρήθηκαν στο πρόβλημα. Τα παρακάτω δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν ως βάση για την προσομοίωση των τριών διαχειριστικών λύσεων του συστήματος αφαλάτωσης, των οποίων η λειτουργία θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

4.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ

Δεδομένα σχετικά με τον πληθυσμό

Όσον αφορά τα πληθυσμιακά δεδομένα της περιοχής της Μήλου, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τις απογραφές της ΕΣΥΕ που αφορούν τον πραγματικό μόνιμο πληθυσμό του νησιού για τα έτη 1981, 1991, 2001 και 2011, τα οποία παρουσιάζονται υπό μορφή πίνακα παρακάτω.

Πίνακας 4.1 Πληθυσμός Μήλου κατά τις τελευταίες απογραφές (ΕΣΥΕ).

Δήμος Μήλου Μόνιμοι Κάτοικοι				
Έτη	1981	1991	2001	2011
Πληθυσμός	4556	4390	4771	4977

Για κάθε δεκαετία υπολογίστηκε ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής του μόνιμου πληθυσμού και με βάση τις τιμές αυτές έγινε εκτίμηση μιας μέσης τιμής του μέσου ετήσιου ρυθμού μεταβολής του μόνιμου πληθυσμού (Πίνακας 4.2). Η συγκεκριμένη τιμή προσαυξήθηκε υπέρ της ασφαλείας και χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού της Μήλου για το έτος 2020 (έτος αναφοράς). Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.2, ο μόνιμος πληθυσμός του νησιού μετά την δεκαετία του '80 παρουσιάζει αύξηση. Την δεκαετία 1991-2001 η μέση ετήσια αύξηση των μόνιμων κατοίκων ήταν περίπου 0.8%, ενώ κατά την δεκαετία 2001-2011 ήταν 0.4%. Έτσι, εκτιμήθηκε ότι ο μέσος ετήσιος ρυθμός

μεταβολής των μόνιμων κατοίκων, για την Μήλο, θα παραμείνει στο 0.4%, όπως κατά την τελευταία δεκαετία.

Πίνακας 4.2 Μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής μόνιμου πληθυσμού Μήλου.

Δήμος Μήλου Μόνιμοι Κάτοικοι			
Έτη	Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού (ΜΕΡΜ)	Μέση Τιμή των ΜΕΡΜ	Εκτίμηση ΜΕΡΜ
('81-'91)	-0.37%	0.30%	0.40%
('91-'01)	0.84%		
('01-'11)	0.42%		

Όσον αφορά τον εποχιακό πληθυσμό, θεωρήθηκε ότι θα υπάρξει αυξητική τάση στο νησί. Εκτιμήθηκε έτσι ότι ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής των παραθεριστών θα ανέλθει στο 2.00%. Επίσης, σημαντικό ποσοστό του συνόλου του πληθυσμού αποτελεί και ο γηγενής τουρισμός του νησιού. Πρόκειται για κατοίκους, οι οποίοι διαμένουν στα νησιά τους καλοκαιρινούς μόνο μήνες (Ιούλιος και Αύγουστος) σε ιδιόκτητα σπίτια. Για το γηγενή τουρισμό λήφθηκε υπόψιν μέση ετήσια προσαύξηση ίση με 0.4%, αντίστοιχα με τους μόνιμους κατοίκους.

Πίνακας 4.3 Εκτίμηση μέσου ετήσιου ρυθμού μεταβολής για το πληθυσμό της Μήλου.

Εκτίμηση ΜΕΡΜ Μόνιμων Κατοίκων	Εκτίμηση ΜΕΡΜ Γηγενή Τουρισμού	Εκτίμηση ΜΕΡΜ Παραθεριστών
0.40%	0.40%	2.00%

Για την εκτίμηση του πληθυσμού (μόνιμος και εποχιακός) του Δήμου της Μήλου για το έτος 2020 χρησιμοποιήθηκαν τα πληθυσμιακά δεδομένα του έτους 2001 ανά δημοτικό διαμέρισμα και ανά μήνα, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στην τεχνική έκθεση που συντάχθηκε στα πλαίσια του υποέργου "Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων

διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου" του προγράμματος "Ανταγωνιστικότητα" από το Υπουργείο Ανάπτυξης.

Για την εκτίμηση του μόνιμου πληθυσμού ($P_{\mu\omicron\nu}$), του γηγενή τουρισμού ($P_{\gamma\eta\gamma}$) και των παραθεριστών ($P_{\pi\alpha\rho}$) της Μήλου για κάθε μήνα του έτους 2020 χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω γενική εξίσωση:

$$P_k = P_{0k} (1 + \rho)^v \quad (4.1)$$

όπου,

P_{0k} : πληθυσμός έτους 2001

P_k : πληθυσμός έτους 2020

ρ : Μέσος Ετήσιος Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού

v : πλήθος ετών

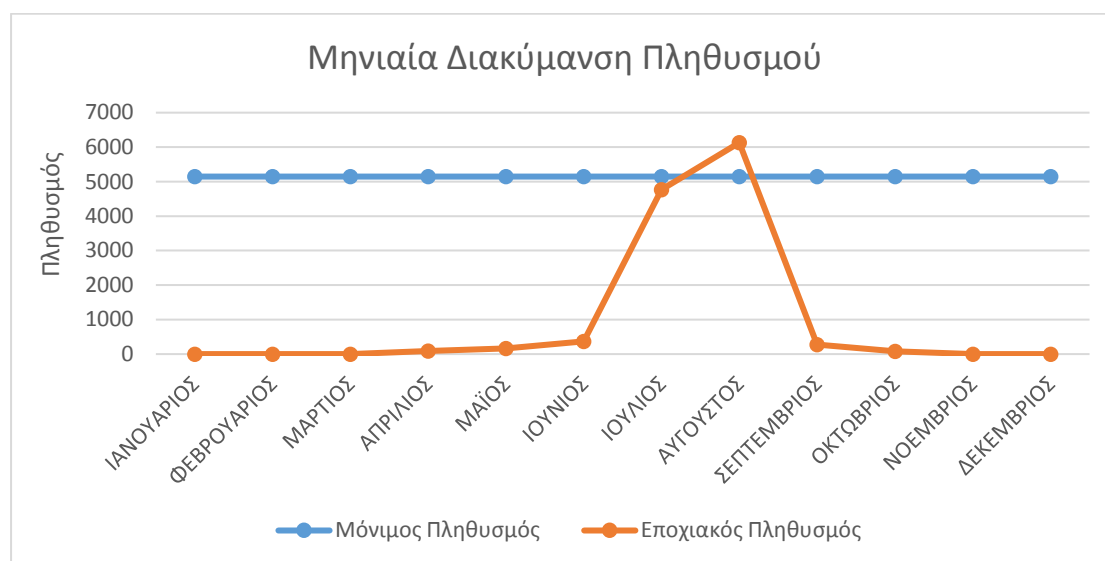
k : εκάστοτε μήνας ($k=1, 2, \dots, 12$)

Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζεται ο εκτιμώμενος πληθυσμός του Δήμου της Μήλου για το έτος αναφοράς 2020.

Πίνακας 4.4 Εκτίμηση πληθυσμού της Μήλου για το έτος 2020.

Εκτίμηση Πληθυσμού Έτους 2020			
ΜΗΝΑΣ	Σύνολο Δήμου Μήλου		
	Μόνιμοι κάτοικοι	Γηγενής τουρισμός	Παραθεριστές
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	5147	0	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	5147	0	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	5147	0	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	5147	0	86
ΜΑΪΟΣ	5147	0	159
ΙΟΥΝΙΟΣ	5147	0	368
ΙΟΥΛΙΟΣ	5147	2574	2195
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	5147	2574	3556
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	5147	0	273
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	5147	0	84
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	5147	0	0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	5147	0	0

Η διακύμανση του πληθυσμού για το έτος 2020 ανά μήνα παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 4.1 Μηνιαία διακύμανση πληθυσμού.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, ο συνολικός πληθυσμός της περιοχής αυξάνεται ραγδαία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω τουριστικής περιόδου, που αποτελεί τυπικό χαρακτηριστικό των ελληνικών νησιών.

Ειδική μέση ημερήσια κατανάλωση νερού

Έγινε παραδοχή ότι η ειδική μέση ημερήσια κατανάλωση νερού εξαρτάται από την φύση του καταναλωτή και θεωρήθηκε σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την μέση ημερήσια κατανάλωση νερού, για τον μόνιμο πληθυσμό ($q_{\mu\omicron\nu}$), το γηγενή τουρισμό ($q_{\gamma\eta\gamma}$) καθώς και για τους παραθεριστές ($q_{\pi\alpha\rho}$) δίνονται στον Πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.5 Μέση ημερήσια κατανάλωση νερού πληθυσμού.

Μέση ημερήσια κατανάλωση νερού (L/d)	
Μόνιμοι Κάτοικοι ($q_{\mu\omicron\nu}$) και Γηγενής Πληθυσμός ($q_{\gamma\eta\gamma}$)	200
Παραθεριστές ($q_{\pi\alpha\rho}$)	250

Ζήτηση νερού με βάση τη μηνιαία διακύμανση

Η ημερήσια ζήτηση νερού ανά μήνα υπολογίστηκε βάσει της παρακάτω εξίσωσης:

$$Q_{\text{day},k} = \lambda_k (q_{\text{μον}} P_{\text{μον},k} + q_{\text{γηγ}} P_{\text{γηγ},k} + q_{\text{παρ}} P_{\text{παρ},k}) \quad (4.2)$$

όπου,

$Q_{\text{day},k}$: ημερήσια ζήτηση νερού του μήνα (L/d)

λ_k : μηνιαίος συντελεστής διακύμανσης της ζήτησης

$q_{\text{μον}}$: ειδική μέση ημερήσια κατανάλωση νερού μόνιμου πληθυσμού (L/d)

$q_{\text{γηγ}}$: ειδική μέση ημερήσια κατανάλωση νερού γηγενή τουρισμού (L/d)

$q_{\text{παρ}}$: ειδική μέση ημερήσια κατανάλωση νερού παραθεριστών (L/d)

$P_{\text{μον},k}$: μόνιμος πληθυσμός

$P_{\text{γηγ},k}$: πληθυσμός γηγενή τουρισμού

$P_{\text{παρ},k}$: πληθυσμός παραθεριστών

k : εκάστοτε μήνας ($k = 1, 2, \dots, 12$)

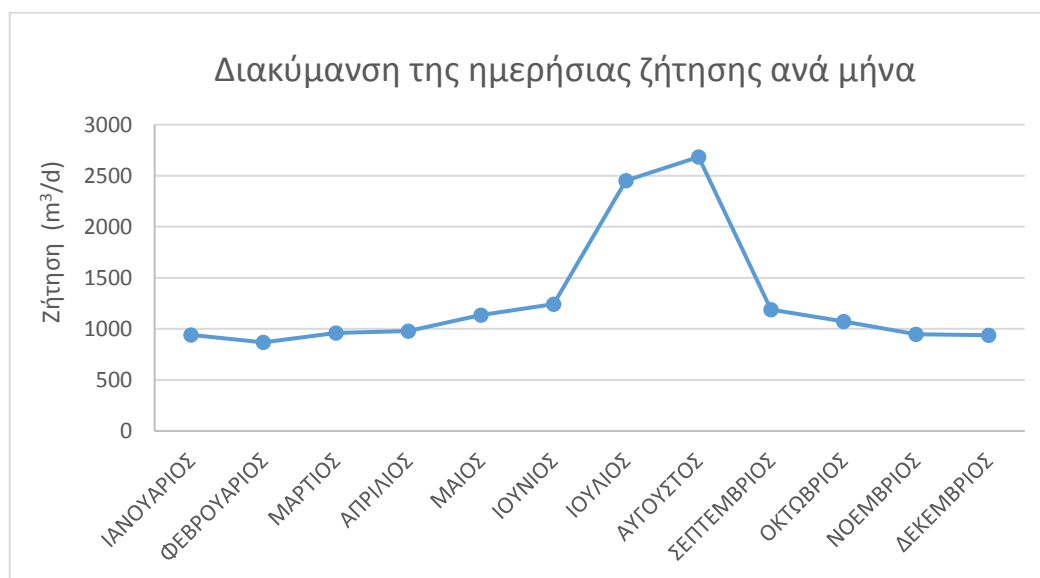
Για την εκτίμηση της ημερήσιας ζήτησης νερού για τον κάθε μήνα k χρησιμοποιήθηκαν οι ειδικές μέσες ημερήσιες υδατοκαταναλώσεις ανά κάτοικο καθώς και οι πληθυσμοί για το έτος αναφοράς 2020, όπως εκτιμήθηκαν παραπάνω.

Οι συντελεστές μηνιαίας διακύμανσης της ζήτησης καθώς και η ημερήσια ζήτηση που υπολογίστηκε ανά μήνα παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.6. Οι συντελεστές μηνιαίας διακύμανσης που χρησιμοποιήθηκαν εκτιμήθηκαν με βάση πραγματικά στοιχεία για την περιοχή του Αγρινίου (Σακκελάρη, 2019), καθώς δεν ήταν δυνατή η εύρεση αντίστοιχων δεδομένων για το νησί της Μήλου. Στην περίπτωση του Αγρινίου, παρήχθησαν συνθετικά πρότυπα ζήτησης νερού (αδιαστατοποιημένη ζήτηση), με βάση πραγματικά στατιστικά χαρακτηριστικά που εξήχθησαν από δεδομένα λεπτής χρονικής κλίμακας για μια μικρή χρονική περίοδο (εκροές δεξαμενών), καθώς και πιο αδρομερή δεδομένα τριμηνιαίων καταναλώσεων στις διάφορες πιεζομετρικές ζώνες της πόλης. Η μεθοδολογία γέννησης συνθετικών χρονοσειρών ζήτησης νερού βασίζεται στο μοντέλο στοχαστικού επιμερισμού που ανέπτυξαν οι Kossieris *et al.* (2018, 2019) και Kossieris (2020).

Πίνακας 4.6 Εκτίμηση ημερήσιας ζήτησης νερού ανά μήνα βάσει των συντ/τών μηνιαίας διακύμανσης.

Εκτίμηση Ημερήσιας Ζήτησης ανά μήνα		
Μήνες	Συντ/τής Μηνιαίας Διακύμανσης (λ_k)	Ημερήσια Ζήτηση $Q_{day,k}$ (L/d)
1	0.914	940,862
2	0.843	867,775
3	0.934	961,450
4	0.932	979,517
5	1.061	1,134,413
6	1.107	1,241,488
7	1.172	2,452,781
8	1.103	2,683,580
9	1.082	1,187,522
10	1.022	1,073,128
11	0.920	947,130
12	0.911	937,657

Η εποχιακή διακύμανση της ζήτησης παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 4.2 Διακύμανση ημερήσιας ζήτησης νερού ανά μήνα.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα, η ζήτηση νερού παρουσιάζει σημαντική αύξηση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες με την αιχμή να εμφανίζεται τον Αύγουστο.

Ζήτηση νερού με βάση την ωριαία διακύμανση

Η ωριαία ζήτηση νερού υπολογίστηκε βάσει της παρακάτω εξίσωσης:

$$Q_{i,j,k} = \lambda_{i,j,k} Q_{\text{day},k} / 86400 \quad (4.3)$$

όπου,

$Q_{i,j,k}$: ωριαία ζήτηση νερού της κάθε ημέρας του μήνα (L/s)

$\lambda_{i,j,k}$: ωριαίος συντελεστής διακύμανσης της ζήτησης του μήνα

$Q_{\text{day},k}$: ημερήσια ζήτηση νερού του μήνα (L/d)

i : ώρα της εκάστοτε ημέρας του μήνα ($i = 0, 1, \dots, 23$)

j : ημέρα κάθε μήνα ($j = 1, 2, \dots, 30-31$)

k : εκάστοτε μήνας ($k = 1, 2, \dots, 12$)

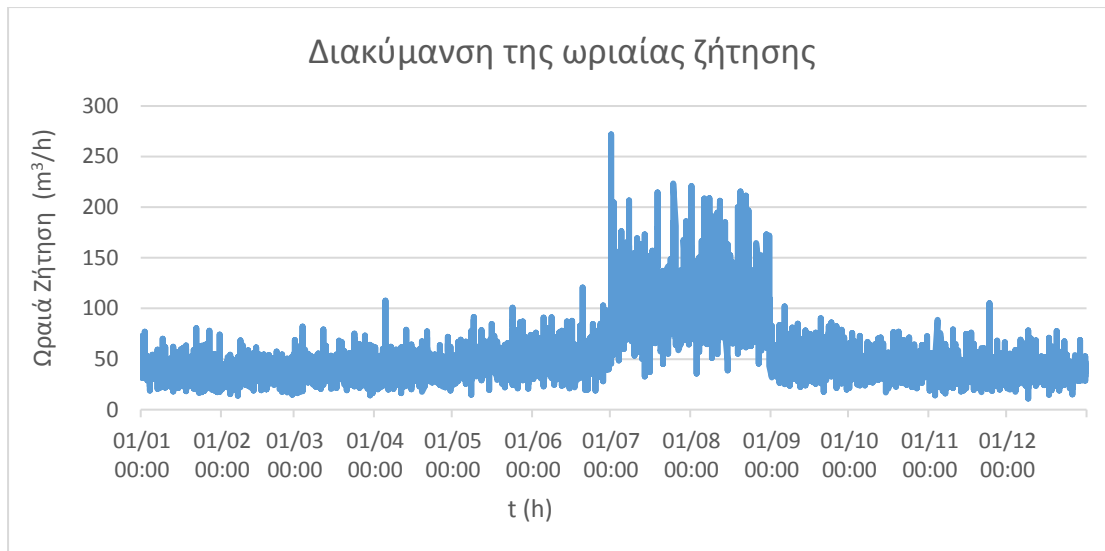
Για την εκτίμηση της ωριαίας ζήτησης Q_{ijk} χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίες ημερήσιες ζητήσεις νερού ($Q_{\text{day},k}$), όπως υπολογίστηκαν παραπάνω.

Ενδεικτικά για την πρώτη μέρα του χρόνου οι συντελεστές ωριαίας διακύμανσης της ζήτησης καθώς και η ωριαία ζήτηση που υπολογίστηκε παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7 με χρονικό βήμα 1 h. Σημειώνεται ότι οι συντελεστές ωριαίας διακύμανσης που χρησιμοποιήθηκαν έχουν προκύψει από συνθετικά δεδομένα, τα οποία βασίστηκαν σε πραγματικά στοιχεία για την περιοχή του Αγρινίου (Σακκελάρη, 2019), καθώς δεν ήταν δυνατή η εύρεση αντίστοιχων στοιχείων για το νησί της Μήλου. Η μεθοδολογία γέννησης των συνθετικών χρονοσειρών ζήτησης νερού βασίζεται στο μοντέλο στοχαστικού επιμερισμού που ανέπτυξαν οι Kossieris *et al.* (2018, 2019) και Kossieris (2020).

Πίνακας 4.7 Εκτίμηση ωριαίας ζήτησης βάσει των συντ/τών ωριαίας διακύμανσης για την ημέρα 01/01.

Εκτίμηση Ωριαίας Ζήτησης		
Ημ/νία	Συντ/τής Ωριαίας Διακύμανσης ($\lambda_{i,j,k}$)	Ωριαία Ζήτηση $Q_{i,j,k}$ (L/s)
01/01 00:00	0.912	9.93
01/01 01:00	1.092	11.89
01/01 02:00	1.087	11.84
01/01 03:00	1.069	11.64
01/01 04:00	1.051	11.44
01/01 05:00	1.131	12.32
01/01 06:00	1.233	13.43
01/01 07:00	1.492	16.25
01/01 08:00	1.263	13.75
01/01 09:00	1.387	15.10
01/01 10:00	1.854	20.19
01/01 11:00	1.219	13.27
01/01 12:00	0.982	10.69
01/01 13:00	1.030	11.22
01/01 14:00	0.886	9.65
01/01 15:00	0.920	10.02
01/01 16:00	0.833	9.07
01/01 17:00	0.804	8.76
01/01 18:00	0.943	10.27
01/01 19:00	1.105	12.03
01/01 20:00	1.054	11.48
01/01 21:00	1.085	11.82
01/01 22:00	1.271	13.84
01/01 23:00	1.143	12.45
02/01 00:00	1.104	12.02

Η ωριαία διακύμανση της ζήτησης για διάστημα ενός έτους παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3.



Σχήμα 4.3 Διακύμανση ωριαίας ζήτησης νερού ενός έτους.

Ταχύτητα ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου u αποτελεί το βασικό μέγεθος για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες. Για αυτό ήταν απαραίτητη η εύρεση χρονοσειρών ταχυτήτων του ανέμου ώστε να χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς.

Για το νησί της Μήλου δε βρέθηκαν δημοσιευμένες αξιόπιστες μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου σε ωριαία βάση, οπότε χρησιμοποιήθηκαν αντίστοιχες πραγματικές τιμές που αφορούν το νησί της Ικαρίας (Μαυριτσάκης, 2019), οι οποίες όμως προσαρμόστηκαν στα δεδομένα της Μήλου. Οι χρονοσειρές αυτές περιλαμβάνουν τιμές της ταχύτητας του ανέμου σε ωριαία βάση για διάστημα 10 χρόνων. Οι τιμές προέκυψαν από μετρήσεις σε ύψος $z_1 = 5$ m από το έδαφος.

Μέσες μηνιαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου για το νησί της Μήλου συλλέχθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, όπως αυτές μετρήθηκαν στο μετεωρολογικό σταθμό της Μήλου (ύψος ανεμομέτρου: 5m) για το έτος 2019. Για τις τιμές αυτές υπολογίστηκε η μέση ετήσια τιμή m_M των ταχυτήτων. Οι τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Στη συνέχεια, για το νησί της Ικαρίας η αντίστοιχη μέση ετήσια τιμή m_I της ταχύτητας του ανέμου υπολογίστηκε με βάση τις ωριαίες χρονοσειρές των ταχυτήτων του ανέμου για διάστημα 10 χρόνων.

Έτσι, οι χρονοσειρές των ταχυτήτων του ανέμου της νήσου Μήλου που χρησιμοποιήθηκαν υπολογίστηκαν από τις αντίστοιχες χρονοσειρές της νήσου Ικαρίας πολλαπλασιασμένες με έναν μειωτικό συντελεστή α , ο οποίος προκύπτει ως εξής:

$$a = \frac{m_M}{m_I} \quad (4.4)$$

όπου,

a : μειωτικός συντελεστής

m_M : μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου της Μήλου (km/h)

m_I : μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου της Ικαρίας (km/h)

Στη συνέχεια, μετά τον υπολογισμό των ταχυτήτων του ανέμου της Μήλου σε υψόμετρο $z_1=5$ m από το έδαφος είναι απαραίτητο οι τιμές αυτές να αναχθούν στο ύψος του δρομέα z_2 των ανεμογεννητριών σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\frac{u_{2i}}{u_{1i}} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_0}}{\ln \frac{z_1}{z_0}} \quad (4.5)$$

όπου,

z_0 : παράμετρος τραχύτητας η οποία επιλέχθηκε ίση με 0.01m

u_1, u_2 : ταχύτητα ανέμου στα ύψη z_1 και z_2 αντίστοιχα και

i : εκάστοτε ώρα για συνολικό διάστημα 10 χρόνων

Στο αιολικό πάρκο της Μήλου έχουν χρησιμοποιηθεί δύο μοντέλα ανεμογεννητριών, ήτοι:

- Vestas V52, ονομαστικής ισχύος 850 kW, με ύψος δρομέα $z_2 = 86$ m
- Vestas V42, ονομαστικής ισχύος 600 kW, με ύψος δρομέα $z_2 = 53$ m.

Εκτίμηση ωριαίας παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες

Με βάση τις καμπύλες ισχύος των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου της Μήλου υπολογίζεται η συνολική ωριαία παραγόμενη ενέργεια $E_{tot,wind,i}$ σε MWh. Αναλυτικότερα, για μια δεδομένη ταχύτητα του ανέμου u_{2i} στο ύψος του δρομέα της κάθε ανεμογεννήτριας, όπως αυτή υπολογίστηκε παραπάνω, υπάρχει αντιστοιχία με μια συγκεκριμένη τιμή της παραγόμενης ισχύος P_i , από την καμπύλη ισχύος της κάθε ανεμογεννήτριας. Το αιολικό πάρκο της Μήλου αποτελείται από $n=4$ ανεμογεννήτριες, εκ των οποίων οι δύο είναι μοντέλου Vestas V42 και οι άλλες δύο Vestas V52. Έτσι, η συνολική ωριαία παραγόμενη αιολική ενέργεια για χρονικό διάστημα 10 χρόνων προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση ως εξής:

$$E_{tot,wind,i} = 2E_{1i} + 2E_{2i} \quad (4.6)$$

όπου,

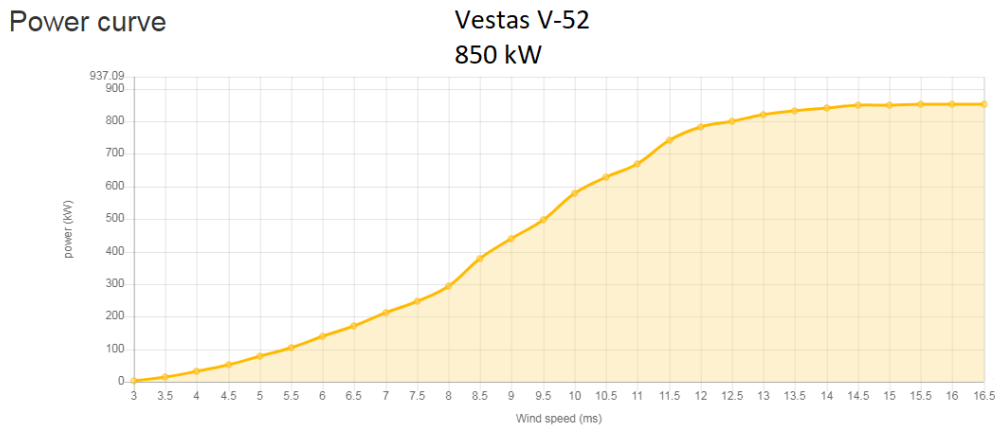
$E_{tot,wind,i}$: συνολική ωριαία παραγόμενη ενέργεια (MWh)

E_{1i} : ωριαία παραγόμενη ενέργεια από την Α/Γ Vestas V42 (MWh)

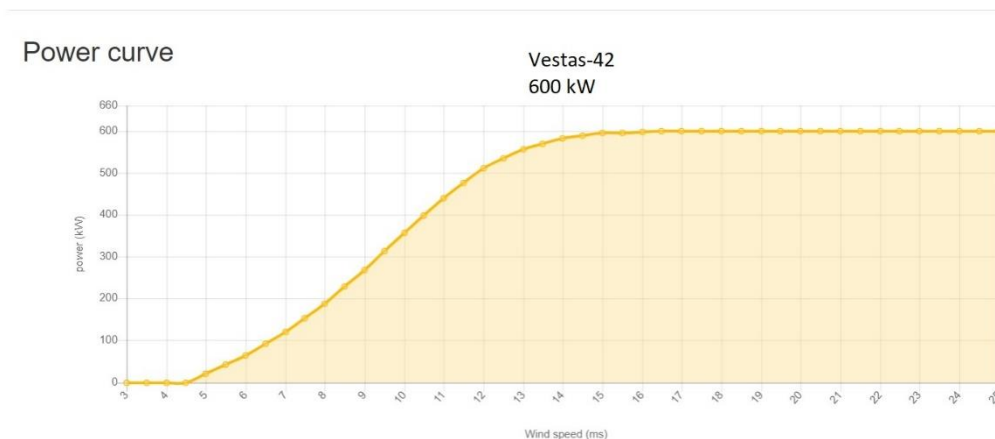
E_{2i} : ωριαία παραγόμενη ενέργεια από την Α/Γ Vestas V52 (MWh)

i : εκάστοτε ώρα για διάστημα 10 χρόνων

Η καμπύλη ισχύος για την Α/Γ Vestas V52 ονομαστικής ισχύος 850 kW που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στο Σχήμα 4.4, ενώ η καμπύλη ισχύος της Α/Γ Vestas V42 ονομαστικής ισχύος 600 kW παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.4 Καμπύλη ισχύος Α/Γ Vestas V52 ονομαστικής ισχύος 850 kW (wind-turbine-modules.com).



Σχήμα 4.5 Καμπύλη ισχύος για την Α/Γ Vestas V42 ονομαστικής ισχύος 600 kW (wind-turbine-modules.com).

Ενδεικτικά στο παράρτημα Β, στον πίνακα Β.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την παραγόμενη ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες του αιολικού πάρκου.

Χαρακτηριστικά μεγέθη και κόστη μονάδας αφαλάτωσης

Για τη μονάδα αφαλάτωσης έχουν χρησιμοποιηθεί τα πραγματικά τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος, όπως παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3 Συγκεκριμένα, η μέγιστη χωρητικότητα των δεξαμενών αποθήκευσης V_{max} , η μέγιστη ωριαία παροχευτικότητα των αντλιών της αφαλάτωσης $Q_{αντλιών}$, η μέγιστη ωριαία ποσότητα που δύναται να αφαλατωθεί από το σύστημα Q_{MA} καθώς και η συνολική κατανάλωση ενέργειας της μονάδας αφαλάτωσης και των αντλιών E_{MA} αποτελούν πραγματικά στοιχεία του συστήματος αφαλάτωσης, που δίνονται και στον Πίνακα 4.8.

Για τους υπολογισμούς της προσομοίωσης θεωρήθηκε ότι το αρχικό απόθεμα νερού των δεξαμενών αποθήκευσης ισούται με $S_0=2,000 \text{ m}^3$, ενώ έγινε και η παραδοχή ότι κατά την προσομοίωση λειτουργίας του συστήματος η ελάχιστη πλήρωση των δεξαμενών αποθήκευσης V_{min} μπορεί να φτάσει και το μηδέν, εισάγοντας, όμως, μια ρήτρα κάθε φορά που η στάθμη τους πέφτει κάτω των 100 m^3 . Το κόστος αυτό λήφθηκε υπόψιν καθώς ο όγκος των 100 m^3 θεωρήθηκε ότι αντιστοιχεί σε ένα απόθεμα ασφαλείας το οποίο θα έπρεπε να υπάρχει στις δεξαμενές, π.χ. για πυρόσβεση. Βέβαια, η παραδοχή για μηδενική ελάχιστη πλήρωση των δεξαμενών έγινε για λόγους αποτελεσματικότερης κάλυψης της ζήτησης νερού.

Στη συνέχεια, για τον υπολογισμό του μέσου ετήσιου κόστους αφαλάτωσης καθώς και για το μέσο ετήσιο έσοδο από την πώληση του νερού και την πώληση της αιολικής ενέργειας η οποία δεν καταναλώνεται από τη μονάδα αφαλάτωσης θεωρήθηκαν κάποια κόστη. Τα κόστη και τα χαρακτηριστικά της μονάδας αφαλάτωσης που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στο συγκεντρωτικό πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 4.8 Χαρακτηριστικά μεγέθη και κόστη μονάδας αφαλάτωσης.

Ελάχιστη χωρητικότητα δεξαμενών, V_{\min} (m^3)	0
Αρχικό απόθεμα δεξαμενών, S_0 (m^3)	2000
Μέγιστη χωρητικότητα δεξαμενών, V_{\max} (m^3)	3016
Μέγιστη παροχτευτικότητα αντλιών, $Q_{\text{αντλιών}}$ (m^3/h)	110
Μέγιστη δυναμικότητα μονάδας αφαλάτωσης, Q_{MA} (m^3/h)	140
Κατανάλωση ενέργειας MA & αντλιών θαλασσινού νερού και αντλιών προώθησης, E_{MA} (kWh/m^3)	4
Τιμή πώλησης αφαλατωμένου νερού, P_{water} ($€/m^3$)	1.89
Κόστος μεταφοράς νερού με βυτία, $c_{\text{βυτίων}}$ ($€/m^3$)	5
Ρήτρα όταν παρουσιάζεται $S_{\text{τελ}} < 100$, $c_{\text{ρήτρα}}$ ($€/m^3$)	0.2
Κόστος καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ για αφαλάτωση νερού, $c_{\Delta E H}$ ($€/m^3$)	0.4
Λειτουργικό κόστος αφαλατωμένου νερού, $c_{\Delta E I T}$ ($€/m^3$)	0.5
Συνολικό κόστος αφαλατωμένου νερού, c_{tot} ($€/m^3$)	0.9
Τιμή πώλησης αιολικής ενέργειας, P_{wind} ($€/kWh$)	0.09

5. ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

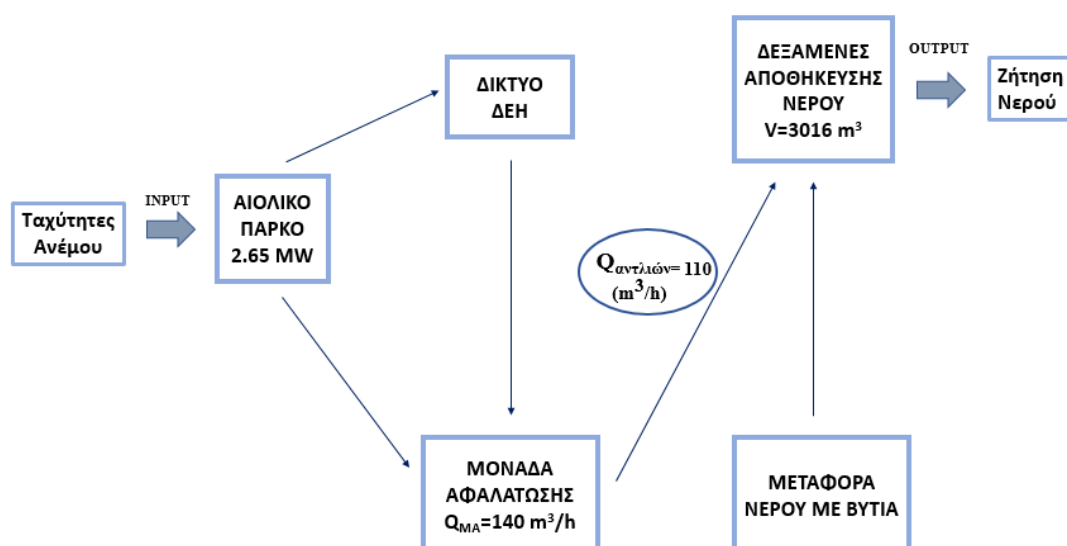
Η ταυτόχρονη ανάγκη για παραγωγή πόσιμου νερού, αλλά και για απεξάρτηση από την παραγωγή ενέργειας με εκμετάλλευση ορυκτών καυσίμων, αποτελεί κίνητρο για τη μελέτη συστημάτων που ικανοποιούν και τις δύο απαιτήσεις. Στο πλαίσιο, λοιπόν, της ολοένα και αυξανόμενης ένταξης ΑΠΕ στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, οι μονάδες αφαλάτωσης μπορούν να παίξουν καθοριστικό ρόλο, αξιοποιώντας τα παραγόμενα πλεονάσματα ενέργειας. Μέχρι σήμερα έχουν μελετηθεί, όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 2, αρκετά συστήματα που βασίζονται σε αυτή τη λογική. Ένα τέτοιο αποτελεί και το πρόσφατα κατασκευασμένο σύστημα αιολικού πάρκου και μονάδων αφαλάτωσης στο νησί της Μήλου.

Στο κεφάλαιο αυτό εξηγείται η ανάπτυξη ενός μοντέλου ωριαίας προσομοίωσης του υδροδοτικού συστήματος του νησιού (μονάδα αφαλάτωσης, αγωγός μεταφοράς, δεξαμενή), σε συνδυασμό με την αξιοποίηση της πλεονάζουσας αιολικής ενέργειας που παράγεται από το αιολικό πάρκο για την ενεργειακή κάλυψη της μονάδας. Στις εκτιμήσεις των υδατικών αναγκών θεωρήθηκε ως έτος αναφοράς το 2020, ενώ το συνολικό μήκος της προσομοίωσης ήταν 10 έτη.

Το μοντέλο ωριαίας προσομοίωσης εφαρμόστηκε για τρεις συνολικά διαχειριστικές λύσεις του συστήματος, με την κάθε λύση να βασίζεται σε μια διαφορετική λογική λειτουργίας του (Σχήμα 5.1). Η πρώτη λύση αναφέρεται ως το μηδενικό σενάριο αναφοράς, κατά την οποία η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί χωρίς την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας (όπως θα μπορούσε να ήταν στο παρελθόν πριν τη δημιουργία του αιολικού πάρκου), καταναλώνοντας ενέργεια μόνο από το δίκτυο της ΔΕΗ και αφαλατώνοντας μια σταθερή ωριαία ποσότητα νερού μέσα στην ημέρα. Κατά τη δεύτερη διαχειριστική λύση η προσομοίωση βασίζεται στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας που παράγεται και της αντίστοιχης κυμαινόμενης ωριαίας ποσότητας νερού που δύναται να αφαλατωθεί καταναλώνοντας την ενέργεια αυτή. Σε αυτή την περίπτωση η ποσότητα νερού που αφαλατώνεται εξαρτάται από την παραγωγή αιολικής ενέργειας, η οποία δεν είναι σταθερή σε κάθε χρονική στιγμή, οπότε σε περίπτωση μη κάλυψης της ζήτησης νερού καταναλώνεται επιπλέον ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο του νησιού. Τέλος, στην τρίτη διαχειριστική λύση, η ποσότητα νερού που αφαλατώνεται είναι σταθερή και ισοκατανομημένη μέσα την ημέρα και για την

κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της αφαλάτωσης χρησιμοποιείται κατά προτεραιότητα η ενέργεια από τις Α/Γ και έπειτα η πρόσθετη ενέργεια του δικτύου. Σημειώνεται ότι σε κάθε περίπτωση, όταν η ζήτηση νερού δε δύναται να καλυφθεί από τη μονάδα αφαλάτωσης, θεωρείται ότι καλύπτεται με μεταφορά βυτίων νερού. Επίσης, η πλεονάζουσα αιολική ενέργεια που δεν καταναλώνεται για αφαλάτωση θεωρήθηκε ότι διατίθεται στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται μια σύγκριση των τριών διαχειριστικών λύσεων σύμφωνα με δείκτες επίδοσης, έσοδα και κόστη που υπολογίστηκαν για κάθε λύση προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδοση των σχετικών έργων της μονάδας αφαλάτωσης. Τέλος, γίνεται μια παραμετρική ανάλυση όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κύριων υποδομών (παροχτευτικότητα αντλιών, χωρητικότητα δεξαμενών πόσιμου νερού και πλήθος ανεμογεννητριών) του συστήματος.



Σχήμα 5.1 Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου προσομοίωσης.

5.2. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

5.2.1. 1^η Διαχειριστική Λύση

Η πρώτη διαχειριστική λύση η οποία εφαρμόστηκε για τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης, θεωρήθηκε ως το μηδενικό σενάριο. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση,

η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί χωρίς την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας (όπως θα μπορούσε να λειτουργεί στο παρελθόν, πριν τη δημιουργία του αιολικού πάρκου), καταναλώνοντας έτσι ενέργεια μόνο από το δίκτυο της ΔΕΗ. Για τη συγκεκριμένη λύση θεωρήθηκε μια απαίτηση ωριαίας ποσότητας νερού για αφαλάτωση που είναι σταθερή και ισοκατανεμημένη μέσα στην ημέρα, μεταβάλλεται ανά ημέρα, και εξαρτάται από την ημερήσια ζήτηση νερού. Η ποσότητα που αφαλατώνεται εξαρτάται κάθε φορά από τη δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης και την παροχευτικότητα του αγωγού μεταφοράς, την απαίτηση της ποσότητας νερού για αφαλάτωση, όπως αυτή έχει υπολογιστεί προηγουμένως, και την χωρητικότητα των δεξαμενών αποθήκευσης νερού. Σε περίπτωση μη ικανοποίησης της ζήτησης νερού και της ύπαρξης ελλείμματος, αφαλατώνεται πρόσθετη ποσότητα νερού, λαμβάνοντας υπόψη την υπολειπόμενη δυναμικότητα του συστήματος. Σε κάθε περίπτωση, η μονάδα της αφαλάτωσης καταναλώνει ενέργεια μόνο από το δίκτυο της ΔΕΗ.

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με χρονικό βήμα 1h για συνολικό διάστημα 10 χρόνων (87,600 τιμές), με μήνα έναρξης τον Οκτώβριο. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι υπολογισμοί για διάφορα μεγέθη που χαρακτηρίζουν το σύστημα για την πρώτη ώρα (ώρα 0:00) της πρώτης ημέρας των 10 ετών με βάση τα εξής βήματα:

Βήμα 1: Υπολογισμός αρχικού αποθέματος νερού των δεξαμενών, $S_{αρχή}$ (m^3)

Το αρχικό απόθεμα νερού στις δεξαμενές ισούται με:

$$S_{αρχή} = S_0 \quad (5.1)$$

Βήμα 2: Υπολογισμός ωριαίας ζήτησης νερού για αφαλάτωση, Q_d (m^3/h)

Κατά το δεύτερο βήμα υπολογίζεται η ωριαία ποσότητα νερού Q_d που απαιτείται να αφαλατωθεί από τη μονάδα ως εξής:

$$Q_{d_{i,j,k}} = \left(\frac{1}{24} \sum_{i=0}^{23} Q_{i,j,k} \right) 3.6 \quad (5.2)$$

όπου,

$Q_{d_{i,j,k}}$: ωριαία ζήτηση νερού για αφαλάτωση της ημέρας (m^3/h)

$Q_{i,j,k}$: ωριαία ζήτηση νερού (L/s), όπως υπολογίζεται από την εξ. (4.3)

i : ώρα της εκάστοτε ημέρας του μήνα ενός έτους ($i = 0, 1, \dots, 23$)

j : ημέρα κάθε μήνα ($j = 1, 2, \dots, 30-31$)

k : εκάστοτε μήνας ($k = 1, 2, \dots, 12$)

Η ωριαία ποσότητα νερού Q_d που απαιτείται για αφαλάτωση για την κάθε ημέρα υπολογίστηκε με βάση τον μέσο όρο της συνολικής ζήτησης $Q_{i,j,k}$ της κάθε ημέρας. Συνεπώς, θεωρήθηκε ότι η ποσότητα νερού που απαιτείται για αφαλάτωση για την κάθε ώρα της ημέρας είναι σταθερή και μεταβάλλεται μόνο ανά ημέρα.

Έτσι, για την πρώτη ώρα της πρώτης ημέρας του Οκτωβρίου που ξεκινά η προσομοίωση η εξ. (5.2) για $i=0, \dots, 23$, $j=1$ και $k=10$ γίνεται ως εξής:

$$Q_{d0,1,10} = \left(\frac{1}{24} \sum_{i=0}^{23} Q_{i,1,10} \right) 3.6 \quad (5.3)$$

Επισημαίνεται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ποσότητα Q_d που υπολογίστηκε παραπάνω είναι ίδια για όλες τις ώρες ($i=0, \dots, 23$) της ημέρας $j=1$ του μήνα $k=10$.

Βήμα 3: Υπολογισμός αρχικής ποσότητας νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται καταναλώνοντας ενέργεια της ΔΕΗ, $V_{\Delta E H, 1}$ (m^3)

Η ποσότητα νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται στις δεξαμενές ισούται με:

$$V_{\Delta E H, 1} = \min (Q_d, Q_{M A}, Q_{\text{αντλιών}}, V_{\max} - S_{\text{αρχή}}) \quad (5.4)$$

Η ποσότητα νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται από το σύστημα κάθε φορά εξαρτάται από τη δυναμικότητα $Q_{M A}$ και παροχευετικότητα $Q_{\text{αντλιών}}$ του συστήματος, την ωριαία ζήτηση νερού για αφαλάτωση Q_d , όπως αυτή υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα, και της διαθέσιμης χωρητικότητας των δεξαμενών. Το αφαλατωμένο νερό $V_{\Delta E H, 1}$ που παράγεται ισούται με τη μικρότερη τιμή των παραπάνω παραμέτρων ώστε να καλύπτεται η κάθε περίπτωση και παράγεται καταναλώνοντας εξ' ολοκλήρου ενέργεια της ΔΕΗ.

Βήμα 4: Υπολογισμός ενδιάμεσου αποθέματος νερού στις δεξαμενές, S' (m^3)

Το ενδιάμεσο απόθεμα στις δεξαμενές αποθήκευσης ισούται με:

$$S' = S_{\text{αρχή}} + V_{\Delta E H, 1} \quad (5.5)$$

Βήμα 5: Υπολογισμός εκροής νερού, X_{water} (m^3)

Η ποσότητα νερού που εκρέει από τις δεξαμενές αποθήκευσης προκειμένου να καλυφθεί η αντίστοιχη ζήτηση αποτελεί την ελάχιστη τιμή της ωριαίας ζήτησης νερού $Q_{i,j,k}$ και του διαθέσιμου αποθέματός τους, και προκύπτει ως εξής:

$$X_{\text{water}} = \min (S' - V_{\min}, Q_{i,j,k}) \quad (5.6)$$

Για την πρώτη ώρα της πρώτης ημέρας του μήνα Οκτωβρίου χρησιμοποιείται η τιμή της ωριαίας ζήτησης Q έτσι όπως προκύπτει από την εξ. (4.3) για $i=0, j=1$ και $k=10$.

Βήμα 6: Υπολογισμός ελλείμματος, D_{water} (m^3)

Σε περίπτωση μη ικανοποίησης της ζήτησης από την εκροή X_{water} που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο βήμα, υπολογίζεται το έλλειμμα νερού ως εξής:

$$D_{\text{water}} = Q_{i,j,k} - X_{\text{water}} \quad (5.7)$$

όπου $Q_{i,j,k}$ η ωριαία ζήτηση νερού που προκύπτει από την εξ. (4.3) για $i=0, j=1$ και $k=10$.

Βήμα 7: Υπολογισμός αποθέματος νερού μετά την εκροή, S'' (m^3)

Το απόθεμα που προκύπτει στις δεξαμενές μετά την εκροή X_{water} ισούται με:

$$S'' = S' - X_{\text{water}} \quad (5.8)$$

Βήμα 8: Υπολογισμός πρόσθετης ποσότητας νερού που αφαλατώνεται με χρήση ενέργειας της ΔΕΗ, $V_{\Delta\text{EH},2}$ (m^3)

Στην περίπτωση ύπαρξης ελλείμματος, η πρόσθετη ποσότητα που αφαλατώνεται και μεταφέρεται καταναλώνοντας και πάλι ενέργεια της ΔΕΗ εξαρτάται από το έλλειμμα που έχει προκύψει, την υπολειπόμενη παροχτετευτικότητα του αγωγού μεταφοράς και δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης, καθώς έχει ήδη μεταφερθεί μια ποσότητα νερού ($V_{\Delta\text{EH},1}$), και τη διαθέσιμη χωρητικότητα των δεξαμενών. Η ποσότητα αυτή καλύπτει είτε όλο το έλλειμμα είτε μέρος αυτού. Η πρόσθετη, λοιπόν, ποσότητα που αφαλατώνεται, $V_{\Delta\text{EH},2}$, η οποία αποτελεί και τη δεύτερη εκροή, προκύπτει ως εξής:

$$V_{\Delta\text{EH},2} = \min (D_{\text{water}}, Q_{\text{αντλιών}} - V_{\Delta\text{EH},1}, Q_{\text{MA}} - V_{\Delta\text{EH},1}, V_{\text{max}} - S'') \quad (5.9)$$

Βήμα 9: Υπολογισμός τελικού αποθέματος νερού, $S_{\text{τελ}}$ (m^3)

Το τελικό απόθεμα νερού στις δεξαμενές ισούται με:

$$S_{\text{τελ}} = S'' \quad (5.10)$$

Το τελικό απόθεμα ισούται με το απόθεμα S'' καθώς η πρόσθετη ποσότητα $V_{\Delta\text{EH},2}$ που αφαλατώθηκε εισήλθε και εξήλθε κατευθείαν από τη δεξαμενή προκειμένου να καλυφθεί το έλλειμμα.

Βήμα 10: Υπολογισμός τελικού ελλείμματος νερού, D_{water}' (m^3)

Το τελικό έλλειμμα που προκύπτει ισούται με:

$$D_{water}' = D_{water} - V_{\Delta EH,2} \quad (5.11)$$

Βήμα 11: Υπολογισμός συνολικής ποσότητας νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται καταναλώνοντας ενέργειας της ΔΕΗ, $V_{\Delta EH}$ (m^3)

Η συνολική ποσότητα νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται καταναλώνοντας ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ ισούται με:

$$V_{\Delta EH} = V_{\Delta EH,1} + V_{\Delta EH,2} \quad (5.12)$$

Βήμα 12: Υπολογισμός συνολικής ποσότητας νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται, V_{tot} (m^3)

Η συνολική ποσότητα νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται στις δεξαμενές ισούται με:

$$V_{tot} = V_{\Delta EH} \quad (5.13)$$

Για τον υπολογισμό του επόμενου χρονικού βήματος $i+1$ της προσομοίωσης ακολουθείται η ίδια διαδικασία και πραγματοποιούνται οι ανάλογοι υπολογισμοί όπως αυτοί παρουσιάστηκαν στα παραπάνω βήματα, θέτοντας $S_{αρχή(i+1)} = S_{τελί}$

Στη συνέχεια, κατά την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος της 1^{ης} διαχειριστικής λύσης υπολογίστηκαν επιπλέον μεγέθη σε χρονικό βήμα 1 h. Για τον υπολογισμό τους χρησιμοποιήθηκαν κόστη και χαρακτηριστικά μεγέθη που αφορούν στη μονάδα αφαλάτωσης, οι τιμές των οποίων παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 4.8. Τα μεγέθη που υπολογίστηκαν είναι τα εξής:

Ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο της ΔΕΗ, $E_{\Delta EH}$ (kWh)

Η ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο της ΔΕΗ για την αφαλάτωση του νερού ισούται με :

$$E_{\Delta EH} = (V_{\Delta EH,1} + V_{\Delta EH,2}) E_{MA} = V_{\Delta EH} E_{MA} \quad (5.14)$$

Κόστος ενέργειας ΔΕΗ που καταναλώνεται για την αφαλάτωση, $C_{\Delta EH}$ (€)

Το κόστος που αφορά την ενέργεια που καταναλώνεται για να αφαλατωθεί και να μεταφερθεί το νερό ισούται με:

$$C_{\Delta E H} = (V_{\Delta E H,1} + V_{\Delta E H,2}) c_{\Delta E H} = V_{\Delta E H} c_{\Delta E H} \quad (5.15)$$

Λειτουργικό κόστος αφαλάτωσης, $C_{\text{ΛΕΙΤ.}}$ (€)

Για την αφαλάτωση του νερού θεωρήθηκε ένα λειτουργικό κόστος που αφορά τη συντήρηση και λειτουργία των έργων, το οποίο ισούται με:

$$C_{\text{ΛΕΙΤ.}} = (V_{\Delta E H,1} + V_{\Delta E H,2}) c_{\text{ΛΕΙΤ.}} = V_{\text{tot}} c_{\text{ΛΕΙΤ.}} \quad (5.16)$$

Κόστος από μεταφορά βυτίων, $C_{\text{βυτίων}}$ (€)

Στην περίπτωση εμφάνισης τελικού ελλείμματος $D_{\text{water}'}$ θεωρήθηκε ότι αυτό θα καλυφθεί με μεταφορά βυτίων νερού στο νησί. Το κόστος αυτό υπολογίζεται ως εξής:

$$C_{\text{βυτίων}} = c_{\text{βυτίων}} D_{\text{water}'} \quad (5.17)$$

Κόστος από ρήτρα, $C_{\text{ρήτρα}}$ (€)

Κατά την προσομοίωση έγινε η παραδοχή ότι κάθε φορά που το τελικό απόθεμα των δεξαμενών αποθήκευσης πέφτει κάτω των 100 m^3 (θεωρείται ότι αντιστοιχεί σε ένα απόθεμα ασφαλείας, π.χ. για πυρόσβεση) ορίζεται ένα εικονικό κόστος, υπό μορφή ποινής. Το κόστος αυτό υπολογίζεται ως εξής:

$$C_{\text{ρήτρα}} = c_{\text{πέναλι}} (100 - S_{\text{τελ}}) \quad (5.18)$$

Έσοδα αφαλάτωσης, R_{Swater} (€)

Τα έσοδα από την πώληση αφαλατωμένου νερού υπολογίζονται ως εξής:

$$R_{\text{Swater}} = (X_{\text{water}} + V_{\Delta E H,2}) P_{\text{water}} \quad (5.19)$$

5.2.2. 2^η Διαχειριστική Λύση

Η δεύτερη διαχειριστική λύση για τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης βασίστηκε στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας που παράγεται από τις Α/Γ και της αντίστοιχης ωριαίας ποσότητας νερού που δύναται να αφαλατωθεί και να μεταφερθεί στις δεξαμενές. Σύμφωνα με τη λύση αυτή, η ποσότητα που αφαλατώνεται σε κάθε χρονικό βήμα εξαρτάται από την παραγωγή αιολικής ενέργειας και την αντίστοιχη μέγιστη ποσότητα νερού που δύναται να αφαλατωθεί από τη μονάδα καταναλώνοντάς την, η οποία όμως δεν είναι σταθερή σε κάθε χρονική στιγμή. Εξαρτάται, επίσης, από

την παροχετευτικότητα του αγωγού μεταφοράς και την χωρητικότητα των δεξαμενών. Σημειώνεται ότι λόγω της μεταβλητότητας του ανέμου, και κατ' επέκταση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας, σε κάποια χρονικά βήματα είτε δεν αφαλατώνεται καθόλου νερό είτε αφαλατώνεται μια μικρή ποσότητα. Μόνο στην περίπτωση μη κάλυψης της ζήτησης και ύπαρξης υδατικού ελλείμματος αφαλατώνεται πρόσθετη ποσότητα νερού, με βάση την υπολειπόμενη δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης, καταναλώνοντας, όμως, πλέον ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ.

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε σε χρονικό βήμα 1h για συνολικό διάστημα 10 χρόνων (87,600 τιμές) με μήνα έναρξης τον Οκτώβριο. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι υπολογισμοί για διάφορα μεγέθη που χαρακτηρίζουν το σύστημα για την πρώτη ώρα (ώρα 0:00) της πρώτης ημέρας των 10 ετών με βάση τα εξής βήματα:

Βήμα 1: Υπολογισμός αρχικού αποθέματος νερού στις δεξαμενές, $S_{αρχή}$ (m^3)

Το αρχικό απόθεμα στις δεξαμενές, $S_{αρχή}$, τίθεται ίσο με S_0 σύμφωνα με την εξ. (5.1).

Βήμα 2: Υπολογισμός μέγιστης ποσότητας νερού που δύναται να αφαλατωθεί καταναλώνοντας αιολική ενέργεια από τις Α/Γ, $V_{wind,max}$ (m^3)

Κατά το δεύτερο βήμα υπολογίστηκε η μέγιστη ποσότητα νερού, $V_{wind,max}$, που δύναται να αφαλατωθεί από τη μονάδα καταναλώνοντας την παραγόμενη αιολική ενέργεια, $E_{tot,wind}$, με βάση και την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης ανά m^3 , E_{MA} . Η ποσότητα αυτή είναι ίση με:

$$V_{wind,max} = E_{tot,wind} / E_{MA} \quad (5.20)$$

Βήμα 3: Υπολογισμός ποσότητας νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται καταναλώνοντας αιολική ενέργεια, V_{wind} (m^3)

Η ποσότητα του αφαλατωμένου νερού, V_{wind} , που μεταφέρεται στις δεξαμενές καταναλώνοντας αιολική ενέργεια υπολογίζεται ως εξής:

$$V_{wind} = \min (V_{wind,max}, Q_{MA}, Q_{αντλιών}, V_{max} - S_{αρχή}) \quad (5.21)$$

Η ποσότητα νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται από το σύστημα κάθε φορά εξαρτάται από τη δυναμικότητα Q_{MA} και παροχετευτικότητα $Q_{αντλιών}$ του συστήματος, τη διαθέσιμη χωρητικότητα των δεξαμενών αποθήκευσης νερού καθώς και τη μέγιστη ποσότητα νερού $V_{wind,max}$ που δύναται να αφαλατωθεί από τη μονάδα καταναλώνοντας αιολική ενέργεια. Το αφαλατωμένο νερό V_{wind} που παράγεται ισούται με τη μικρότερη

τιμή των παραπάνω παραμέτρων ώστε να καλύπτεται η κάθε περίπτωση και παράγεται καταναλώνοντας μόνο αιολική ενέργεια.

Σημειώνεται ότι εφόσον δεν παράγεται αιολική ενέργεια ($V_{wind,max}=0$), το σύστημα αφαλάτωσης δεν λειτουργεί, συνεπώς δεν μεταφέρεται νερό στις δεξαμενές ($V_{wind}=0$).

Αν $V_{wind} = Q_{MA}$ ή $Q_{αντλιών}$ ή $(V_{max}-S_{αρχή})$, η μονάδα αφαλατώνει το νερό με ενεργειακή κάλυψη από τις Α/Γ, καθώς οι ποσότητες αυτές είναι μικρότερες του ορίου $V_{wind,max}$. Σε αυτή την περίπτωση, υπάρχει παραγόμενη αιολική ενέργεια που δεν έχει καταναλωθεί, η οποία, όμως, μπορεί πωληθεί και να διατεθεί στο δίκτυο.

Αν $V_{wind} = V_{wind,max}$, έχει μεταφερθεί η μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να αφαλατωθεί από τη μονάδα καταναλώνοντας αιολική ενέργεια. Στην περίπτωση αυτή, η μονάδα αφαλάτωσης δεν έχει αξιοποιήσει όλη την δυναμικότητά της, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η παραγωγή πρόσθετης ποσότητας νερού καταναλώνοντας ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ, όπως θα δούμε σε επόμενο βήμα.

Βήμα 4: Υπολογισμός ενδιάμεσου αποθέματος νερού στις δεξαμενές, S' (m^3)

Το ενδιάμεσο απόθεμα στις δεξαμενές αποθήκευσης ισούται με:

$$S' = S_{αρχή} + V_{wind} \quad (5.22)$$

Βήμα 5: Υπολογισμός εκροής νερού, X_{water} (m^3)

Η ποσότητα νερού που εκρέει από τις δεξαμενές προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση προκύπτει ως η ελάχιστη τιμή μεταξύ της ωριαίας ζήτησης νερού $Q_{i,j,k}$ και του διαθέσιμου αποθέματός τους, και εκτιμάται ως εξής:

$$X_{water} = \min (S' - V_{min}, Q_{i,j,k}) \quad (5.23)$$

Για την πρώτη ώρα της πρώτης ημέρας του μήνα Οκτωβρίου χρησιμοποιείται η τιμή της ωριαίας ζήτησης Q έτσι όπως προκύπτει από την εξ. (4.3) για $i=0$, $j=1$ και $k=10$.

Βήμα 6: Υπολογισμός αποθέματος νερού μετά την εκροή νερού, S'' (m^3)

Το απόθεμα που προκύπτει στις δεξαμενές μετά την εκροή X_{water} ισούται με:

$$S'' = S' - X_{water} \quad (5.24)$$

Βήμα 7: Υπολογισμός ελλείμματος, D_{water} (m^3)

Σε περίπτωση μη ικανοποίησης της ζήτησης από την εκροή X_{water} που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο βήμα, υπολογίζεται το έλλειμμα νερού ως εξής:

$$D_{\text{water}} = Q_{i,j,k} - X_{\text{water}} \quad (5.25)$$

όπου $Q_{i,j,k}$ η ωριαία ζήτηση νερού, όπως προκύπτει από την εξ. (4.3) για $i=0$, $j=1$ και $k=10$.

Βήμα 8: Υπολογισμός ποσότητας νερού που αφαλατώνεται καταναλώνοντας ενέργεια της ΔΕΗ, $V_{\Delta\text{EH}}$ (m^3)

Στην περίπτωση ύπαρξης ελλείμματος μπορεί να αφαλατωθεί και να μεταφερθεί πρόσθετη ποσότητα νερού, καταναλώνοντας ενέργεια της ΔΕΗ. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από το έλλειμμα που έχει προκύψει, την υπολειπόμενη παροχαρακτηριστική του αγωγού μεταφοράς και δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης, καθώς έχει ήδη μεταφερθεί μια ποσότητα νερού (V_{wind}), και τη διαθέσιμη χωρητικότητα των δεξαμενών. Η ποσότητα, λοιπόν, που αφαλατώνεται καταναλώνοντας ενέργεια της ΔΕΗ, $V_{\Delta\text{EH}}$, προκύπτει ως εξής:

$$V_{\Delta\text{EH}} = \min (D_{\text{water}}, Q_{\text{αντλιών}} - V_{\text{wind}}, Q_{\text{MA}} - V_{\text{wind}}, V_{\text{max}} - S'') \quad (5.26)$$

Επισημαίνεται ότι σε περίπτωση που ισχύει $V_{\text{wind}} = Q_{\text{αντλιών}}$ ή $V_{\text{wind}} = Q_{\text{MA}}$ δεν είναι δυνατή η αφαλάτωση και μεταφορά επιπλέον ποσότητας νερού από το σύστημα, επομένως τίθεται $V_{\Delta\text{EH}} = 0$.

Σε περίπτωση που $V_{\text{wind}} = V_{\text{wind,max}}$, δεν είναι δυνατή η αφαλάτωση πρόσθετης ποσότητας νερού με αιολική ενέργεια, και επομένως ισχύει $V_{\Delta\text{EH}} > 0$, οπότε αφαλατώνεται νερό καταναλώνοντας ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ.

Σε περίπτωση που $V_{\Delta\text{EH}} > 0$, η ποσότητα του νερού που παράγεται καλύπτει είτε όλο το έλλειμμα είτε μέρος αυτού, και ουσιαστικά αποτελεί και δεύτερη εκροή.

Βήμα 9: Υπολογισμός τελικού αποθέματος, $S_{\text{τελ}}$ (m^3)

Το τελικό απόθεμα νερού στις δεξαμενές αποθήκευσης ισούται με:

$$S_{\text{τελ}} = S'' \quad (5.27)$$

Το τελικό απόθεμα ισούται με το απόθεμα S'' καθώς στη περίπτωση που αφαλατώθηκε πρόσθετη ποσότητα νερού ($V_{\Delta\text{EH}} > 0$), αυτή διακινείται κατευθείαν από τη δεξαμενή στο δίκτυο διανομής, προκειμένου να καλυφθεί το έλλειμμα.

Βήμα 10: Υπολογισμός τελικού ελλείμματος νερού D_{water} (m^3)

Το τελικό έλλειμμα που προκύπτει μετά την αφαλάτωση και εκροή της πρόσθετης ποσότητας νερού ($V_{\Delta\text{EH}}$) ισούται με:

$$D_{\text{water}}' = D_{\text{water}} - V_{\Delta\text{EH}} \quad (5.28)$$

Βήμα 11: Υπολογισμός συνολικής ποσότητας νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται, V_{tot} (m^3)

Η συνολική ποσότητα νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται στις δεξαμενές ισούται με:

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{wind}} + V_{\Delta\text{EH}} \quad (5.29)$$

Για τον υπολογισμό του επόμενου χρονικού βήματος $i+1$ της προσομοίωσης ακολουθείται η ίδια διαδικασία, θέτοντας $S_{\text{αρχή}}(i+1) = S_{\text{τελί}}$

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν επιπλέον μεγέθη σε χρονικό βήμα 1 h, με βάση κόστη και χαρακτηριστικά μεγέθη που αφορούν τη μονάδα αφαλάτωσης, των οποίων οι τιμές παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 4.8. Τα μεγέθη που υπολογίστηκαν είναι τα εξής:

Αιολική ενέργεια που καταναλώνεται, E_{wind} (kWh)

Η αιολική ενέργεια που καταναλώνεται για την αφαλάτωση του νερού ισούται με :

$$E_{\text{wind}} = V_{\text{wind}} E_{\text{MA}} \quad (5.30)$$

Αιολική ενέργεια που διατίθεται στο δίκτυο, $E_{\text{wind,δίκτυο}}$ (kWh)

Η υπολειπόμενη αιολική ενέργεια, η οποία δεν καταναλώνεται για αφαλάτωση, διατίθεται στο κεντρικό δίκτυο και ισούται με :

$$E_{\text{wind,δίκτυο}} = E_{\text{tot,wind}} - E_{\text{wind}} \quad (5.31)$$

Ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο της ΔΕΗ, $E_{\Delta\text{EH}}$ (kWh)

Η ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο της ΔΕΗ για αφαλάτωση ισούται με:

$$E_{\Delta\text{EH}} = V_{\Delta\text{EH}} E_{\text{MA}} \quad (5.32)$$

Λειτουργικό κόστος αφαλάτωσης, $C_{\text{ΛΕΙΤ.}}$ (€)

Για την αφαλάτωση του νερού θεωρήθηκε ένα λειτουργικό κόστος για τη συντήρηση και λειτουργία των έργων της μονάδας, το οποίο ισούται με:

$$C_{\text{ΛΕΙΤ.}} = V_{\text{tot}} c_{\text{ΛΕΙΤ.}} \quad (5.33)$$

Κόστος από μεταφορά βυτίων, $C_{\text{βυτίων}}$ (€)

Στην περίπτωση εμφάνισης τελικού ελλείμματος D_{water} έγινε η παραδοχή ότι αυτό θα καλυφθεί με μεταφορά βυτίων νερού στο νησί, με κόστος:

$$C_{\text{βυτίων}} = c_{\text{βυτίων}} D_{\text{water}} \quad (5.34)$$

Κόστος ενέργειας ΔΕΗ που καταναλώνεται για την αφαλάτωση, $C_{\Delta\text{EH}}$ (€)

Το κόστος που αφορά την ενέργεια που καταναλώνεται για να αφαλατωθεί και να μεταφερθεί το νερό ισούται με:

$$C_{\Delta\text{EH}} = V_{\Delta\text{EH}} c_{\Delta\text{EH}} \quad (5.35)$$

Κόστος από ρήτρα, $C_{\text{ρήτρα}}$ (€)

Κατά την προσομοίωση έγινε η παραδοχή ότι κάθε φορά που το τελικό απόθεμα των δεξαμενών αποθήκευσης πέφτει κάτω από το απόθεμα ασφαλείας των 100 m^3 τίθεται ένα κόστος-ποινή. Το κόστος αυτό υπολογίζεται ως εξής:

$$C_{\text{ρήτρα}} = c_{\text{ρήτρα}} (100 - S_{\text{τελ}}) \quad (5.36)$$

Έσοδα αφαλάτωσης, R_{water} (€)

Τα έσοδα από την πώληση του αφαλατωμένου νερού υπολογίζονται ως εξής:

$$R_{\text{water}} = (X_{\text{water}} + V_{\Delta\text{EH}}) P_{\text{water}} \quad (5.37)$$

Έσοδα αιολικής ενέργειας, R_{swind} (€)

Τα έσοδα από την πώληση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας που δεν διατίθεται για αφαλάτωση αλλά διανέμεται στο ηλεκτρικό δίκτυο υπολογίζονται ως εξής:

$$R_{\text{swind}} = E_{\text{wind,δίκτυο}} P_{\text{wind}} \quad (5.38)$$

5.2.3. 3^η Διαχειριστική Λύση

Για την τρίτη διαχειριστική λύση θεωρήθηκε μια απαίτηση ωριαίας ποσότητας νερού για αφαλάτωση, η οποία είναι σταθερή και ισοκατανεμημένη μέσα στην ημέρα και μεταβάλλεται ανάλογα με τη συνολική ζήτηση κάθε ημέρας. Η μονάδα αφαλάτωσης καταναλώνει κατά προτεραιότητα αιολική ενέργεια και σε περίπτωση που αυτή δεν επαρκεί καταναλώνεται ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ. Προφανώς, η

ποσότητα αυτή εξαρτάται κάθε φορά από τη δυναμικότητα και παροχетеυτικότητα του συστήματος, την απαίτηση της ποσότητας νερού για αφαλάτωση και την χωρητικότητα των δεξαμενών. Σε περίπτωση εμφάνισης υδατικού ελλείμματος, αφαλατώνεται πρόσθετη ποσότητα νερού, με βάση την υπολειπόμενη δυναμικότητα του συστήματος. Και σε αυτή την περίπτωση καταναλώνεται κατά προτεραιότητα η αιολική ενέργεια που είναι διαθέσιμη, και έπειτα πρόσθετη ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ. Σκοπός της λύσης αυτής είναι να αξιοποιηθεί στο μέγιστο η παραγόμενη αιολική ενέργεια με βάση την ποσότητα νερού που αφαλατώνεται σε κάθε χρονικό βήμα και μόνο σε περίπτωση που αυτή δεν επαρκεί να καταναλωθεί ενέργεια από το δίκτυο.

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε σε χρονικό βήμα 1h για συνολικό διάστημα 10 χρόνων (87,600 τιμές), με μήνα έναρξης τον Οκτώβριο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι υπολογισμοί για την πρώτη ώρα (ώρα 0:00) της πρώτης ημέρας των 10 ετών με βάση τα εξής βήματα:

Βήμα 1: Υπολογισμός αρχικού αποθέματος νερού, $S_{αρχή}$ (m^3)

Το αρχικό απόθεμα νερού στις δεξαμενές αποθήκευσης, $S_{αρχή}$, τίθεται ίσο με S_0 σύμφωνα με την εξ. (5.1).

Βήμα 2: Υπολογισμός μέγιστης ποσότητας νερού που δύναται να αφαλατωθεί καταναλώνοντας αιολική ενέργεια από τις A/Γ , $V_{wind,max}$ (m^3)

Στο δεύτερο βήμα υπολογίστηκε η μέγιστη ποσότητα που δύναται να αφαλατωθεί από τη μονάδα, $V_{wind,max}$, καταναλώνοντας την παραγόμενη αιολική ενέργεια, $E_{tot,wind}$, με βάση και την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης ανά m^3 , E_{MA} . Συνεπώς, η ποσότητα $V_{wind,max}$ προκύπτει από την εξ. (5.20).

Βήμα 3: Υπολογισμός ωριαίας ζήτησης νερού για αφαλάτωση Q_d (m^3/h)

Στο βήμα αυτό, υπολογίζεται η ωριαία ποσότητα νερού Q_d που απαιτείται να αφαλατωθεί από τη μονάδα, με εφαρμογή της εξ. (5.2). Για την πρώτη ώρα της πρώτης ημέρας του Οκτωβρίου που ξεκινά η προσομοίωση η τιμή Q_d υπολογίζεται για $i=0, \dots, 23$, $j=1$ και $k=10$ όπως φαίνεται στην εξ. (5.3). Σημειώνεται ότι, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ποσότητα Q_d που υπολογίζεται είναι ίδια για όλες τις ώρες ($i=0, \dots, 23$) της ημέρας $j=1$ του μήνα $k=10$.

Η ωριαία ποσότητα νερού Q_d που απαιτείται για αφαλάτωση είναι σταθερή κατά τη διάρκεια της ημέρας και μεταβάλλεται μόνο ανά ημέρα.

Βήμα 4: Υπολογισμός ποσότητας νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται στις δεξαμενές αποθήκευσης, $V_{μετ.1}$ (m^3)

Η ποσότητα αφαλατωμένου νερού που μεταφέρεται στις δεξαμενές αποθήκευσης, $V_{μετ.1}$, υπολογίζεται ως εξής:

$$V_{μετ.1} = \min (Q_d, Q_{MA}, Q_{αντλιών}, V_{max} - S_{αρχή}) \quad (5.39)$$

Η ποσότητα νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται από το σύστημα κάθε φορά εξαρτάται από τη δυναμικότητα Q_{MA} και παροχетеυτικότητα $Q_{αντλιών}$ του συστήματος, τη διαθέσιμη χωρητικότητα των δεξαμενών αποθήκευσης νερού καθώς και την ωριαία ζήτηση νερού για αφαλάτωση Q_d , όπως αυτή υπολογίστηκε σε προηγούμενο βήμα. Το αφαλατωμένο νερό που μεταφέρεται, $V_{μετ.1}$, ισούται με τη μικρότερη τιμή των παραπάνω μεταβλητών, ώστε να καλύπτεται η ζήτηση σε κάθε περίπτωση, καταναλώνοντας είτε αιολική ενέργεια είτε ενέργεια της ΔΕΗ είτε συνδυασμό των δύο, όπως θα δούμε σε επόμενα βήματα.

Βήμα 5: Υπολογισμός αρχικής ποσότητας νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται καταναλώνοντας αιολική ενέργεια, $V_{wind,1}$ (m^3)

Η ποσότητα που αφαλατώνεται καταναλώνοντας αιολική ενέργεια είναι ίση με:

$$V_{wind,1} = \min (V_{wind,max}, V_{μετ.1}) \quad (5.40)$$

Προφανώς, αν δεν παράγεται αιολική ενέργεια ($V_{wind,max}=0$), τίθεται $V_{wind,1}=0$.

Στην περίπτωση που $V_{wind,1} = V_{wind,max}$, αφαλατώνεται όλη η ποσότητα νερού που δύναται καταναλώνοντας αιολική ενέργεια. Το σύστημα, όμως, μπορεί να αφαλατώσει και μεταφέρει και επιπλέον ποσότητα νερού καταναλώνοντας ενέργεια της ΔΕΗ, καθώς δεν έχει χρησιμοποιηθεί όλη η δυναμικότητα-παροχетеυτικότητα της μονάδας.

Εάν $V_{wind,1} = V_{μετ.1}$, η μονάδα αφαλατώνει το νερό με ενεργειακή κάλυψη από τις Α/Γ, καθώς οι ποσότητες αυτές είναι μικρότερες της ποσότητας $V_{wind,max}$. Σε αυτή την περίπτωση, υπάρχει παραγόμενη αιολική ενέργεια που δεν έχει καταναλωθεί, η οποία, όμως, μπορεί να πωληθεί και να διατεθεί στο δίκτυο.

Βήμα 6: Υπολογισμός αρχικής ποσότητας νερού που αφαλατώνεται καταναλώνοντας ενέργεια της ΔΕΗ, $V_{ΔΕΗ,1}$ (m^3)

Αφού έχει ήδη αφαλατωθεί η μέγιστη εφικτή ποσότητα νερού καταναλώνοντας αιολική ενέργεια, υπολογίζεται η ποσότητα νερού που αφαλατώνεται καταναλώνοντας, τώρα, ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ, ήτοι:

$$V_{\Delta EH,1} = V_{\mu\epsilon\tau,1} - V_{wind,1} \quad (5.41)$$

Η επιπλέον ποσότητα νερού για την οποία καταναλώνεται ενέργεια από τη ΔΕΗ αφαλατώνεται σε περίπτωση που $V_{wind} \neq V_{\mu\epsilon\tau,1}$.

Βήμα 7: Υπολογισμός ενδιάμεσου αποθέματος νερού στις δεξαμενές, S' (m^3)

Το ενδιάμεσο απόθεμα στις δεξαμενές αποθήκευσης ισούται με:

$$S' = S_{αρχή} + V_{\mu\epsilon\tau,1} \quad (5.42)$$

Βήμα 8: Υπολογισμός εκροής νερού, X_{water} (m^3)

Η ποσότητα νερού που εκρέει από τις δεξαμενές προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση αποτελεί την ελάχιστη τιμή της ωριαίας ζήτησης νερού $Q_{i,j,k}$ και του διαθέσιμου αποθέματος που υπάρχει στις δεξαμενές, και προκύπτει ως εξής:

$$X_{water} = \min (S' - V_{min}, Q_{i,j,k}) \quad (5.43)$$

Για την πρώτη ώρα της πρώτης ημέρας του μήνα Οκτωβρίου χρησιμοποιείται η τιμή της ωριαίας ζήτησης Q , όπως προκύπτει από την εξ. (4.3) για $i=0, j=1$ και $k=10$.

Βήμα 9: Υπολογισμός αποθέματος μετά την εκροή νερού, S'' (m^3)

Το απόθεμα που προκύπτει στις δεξαμενές μετά την εκροή X_{water} ισούται με:

$$S'' = S' - X_{water} \quad (5.44)$$

Βήμα 10: Υπολογισμός ελλείμματος, D_{water} (m^3)

Σε περίπτωση μη ικανοποίησης της ζήτησης από την εκροή X_{water} που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο βήμα, υπολογίζεται το έλλειμμα νερού:

$$D_{water} = Q_{i,j,k} - X_{water} \quad (5.45)$$

όπου $Q_{i,j,k}$ η ωριαία ζήτηση νερού, όπως προκύπτει από την εξ. (4.3) για $i=0, j=1$ και $k=10$.

Βήμα 11: Υπολογισμός πρόσθετης ποσότητας νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται, $V_{\mu\epsilon\tau,2}$ (m^3)

Σε περίπτωση εμφάνισης υδατικού ελλείμματος υπολογίζεται η πρόσθετη ποσότητα νερού που μπορεί να αφαλατωθεί και να μεταφερθεί στις δεξαμενές, ήτοι:

$$V_{\mu\epsilon\tau,2} = \min (D_{water}, Q_{αντλιών} - V_{\mu\epsilon\tau,1}, Q_{MA} - V_{\mu\epsilon\tau,1}, V_{max} - S'') \quad (5.46)$$

Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από το έλλειμμα που έχει προκύψει, την υπολειπόμενη παροχρητευτικότητα και δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης καθώς έχει ήδη μεταφερθεί μια ποσότητα νερού ($V_{μετ.1}$) και τη διαθέσιμη χωρητικότητα των δεξαμενών αποθήκευσης νερού. Το αφαλατωμένο νερό, $V_{μετ.2}$, που μεταφέρεται ισούται με τη μικρότερη εκ των παραπάνω τιμών, ώστε να καλύπτεται η ζήτηση σε κάθε περίπτωση και παράγεται καταναλώνοντας είτε τη διαθέσιμη αιολική ενέργεια που υπάρχει είτε ενέργεια της ΔΕΗ είτε συνδυασμό των δύο.

Να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που $V_{μετ.1} = Q_{αντλιών}$ ή $V_{μετ.1} = Q_{MA}$ δεν είναι δυνατή η αφαλάτωση και μεταφορά επιπλέον ποσότητας νερού από το σύστημα, και επομένως ισχύει $V_{μετ.2} = 0$.

Σε περίπτωση που $V_{μετ.1} \neq Q_{αντλιών}$ και $V_{μετ.1} \neq Q_{MA}$ είναι δυνατή η αφαλάτωση πρόσθετης ποσότητας νερού και επομένως ισχύει $V_{μετ.2} > 0$. Η ζητούμενη αυτή ποσότητα αφαλατώνεται καταναλώνοντας είτε τη διαθέσιμη αιολική ενέργεια είτε ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ είτε συνδυασμό των δύο.

Σε περίπτωση που $V_{μετ.2} > 0$, η ποσότητα αυτή του νερού που παράγεται καλύπτει είτε όλο το έλλειμμα που έχει εμφανιστεί είτε μέρος αυτού και ουσιαστικά αποτελεί και δεύτερη εκροή του συστήματος.

Βήμα 12: Υπολογισμός υπολειπόμενης ποσότητας που δύναται να αφαλατωθεί καταναλώνοντας την υπολειπόμενη διαθέσιμη αιολική ενέργεια, $V_{wind,max}'$ (m^3)

Σε περίπτωση εμφάνισης υδατικού ελλείμματος και εάν $V_{wind} \neq V_{wind,max}$, μπορεί να αφαλατωθεί πρόσθετη ποσότητα νερού, καταναλώνοντας την υπολειπόμενη αιολική ενέργεια που είναι διαθέσιμη.

Έτσι, η υπολειπόμενη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να αφαλατωθεί και να μεταφερθεί καταναλώνοντας την υπολειπόμενη αιολική ενέργεια που είναι διαθέσιμη, υπολογίζεται ως εξής:

$$V_{wind,max}' = V_{wind,max} - V_{wind} \quad (5.47)$$

Βήμα 13: Υπολογισμός πρόσθετης ποσότητας νερού που αφαλατώνεται καταναλώνοντας την υπολειπόμενη διαθέσιμη αιολική ενέργεια, $V_{wind,2}$ (m^3)

Σε περίπτωση εμφάνισης υδατικού ελλείμματος, υπολογίζεται η πρόσθετη ποσότητα νερού που τελικά αφαλατώνεται και μεταφέρεται καταναλώνοντας την υπολειπόμενη αιολική ενέργεια που είναι διαθέσιμη, σύμφωνα με την εξής εξίσωση:

$$V_{wind,2} = \min (V_{wind,max}' , V_{μετ.2}) \quad (5.48)$$

Αν δεν υπάρχει διαθέσιμη αιολική ενέργεια ($V_{wind,max}' = 0$), είναι προφανές ότι δεν αφαλατώνεται πρόσθετο νερό με αιολική ενέργεια ($V_{wind,2} = 0$).

Σε περίπτωση που $V_{wind,2} = V_{wind,max}'$, αφαλατώνεται η μέγιστη ποσότητα νερού που δύναται, καταναλώνοντας τη διαθέσιμη αιολική ενέργεια. Το σύστημα, όμως, μπορεί να αφαλατώσει και μεταφέρει και επιπλέον ποσότητα νερού καταναλώνοντας ενέργεια της ΔΕΗ, καθώς δεν έχει χρησιμοποιηθεί όλη η δυναμικότητα της μονάδας.

Εάν $V_{wind,2} = V_{μετ.2}$, η μονάδα αφαλατώνει νερό με ενεργειακή κάλυψη από τις Α/Γ, καθώς οι ποσότητα αυτή είναι μικρότερη της τιμής $V_{wind,max}'$. Σε αυτή την περίπτωση, υπάρχει διαθέσιμη αιολική ενέργεια που δεν έχει καταναλωθεί, η οποία, όμως, μπορεί πωληθεί και να διατεθεί στο δίκτυο.

Βήμα 14: Υπολογισμός της πρόσθετης ποσότητας νερού που αφαλατώνεται καταναλώνοντας ενέργεια της ΔΕΗ, $V_{ΔΕΗ,2}$ (m^3)

Εφόσον στο προηγούμενο βήμα υπολογίστηκε η πρόσθετη ποσότητα νερού που αφαλατώνεται καταναλώνοντας την υπολειπόμενη διαθέσιμη αιολική ενέργεια, $V_{wind,2}$, σε αυτό το βήμα θα υπολογιστεί η πρόσθετη ποσότητα νερού που αφαλατώνεται καταναλώνοντας ενέργεια της ΔΕΗ.

Έτσι, σε περίπτωση εμφάνισης υδατικού ελλείμματος και εάν $V_{wind,2} \neq V_{μετ.2}$, η επιπλέον ποσότητα νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται καταναλώνοντας ενέργεια της ΔΕΗ υπολογίζεται ως εξής:

$$V_{ΔΕΗ,2} = V_{μετ.2} - V_{wind,2} \quad (5.49)$$

Βήμα 15: Υπολογισμός τελικού αποθέματος, $S_{τελ}$ (m^3)

Το τελικό απόθεμα νερού στις δεξαμενές αποθήκευσης ισούται με:

$$S_{τελ} = S'' \quad (5.50)$$

Το τελικό απόθεμα ισούται με το απόθεμα S'' , καθώς στη περίπτωση που αφαλατώνεται πρόσθετη ποσότητα νερού ($V_{μετ.2} > 0$), αυτή διακινείται κατευθείαν από τη δεξαμενή προς το δίκτυο διανομής, προκειμένου να καλυφθεί το έλλειμμα.

Βήμα 16: Υπολογισμός τελικού ελλείμματος νερού, D_{water}' (m^3)

Το τελικό έλλειμμα που προκύπτει εφόσον έχει μεταφερθεί η πρόσθετη ποσότητα νερού $V_{μετ.2}$, ισούται με:

$$D_{\text{water}}' = D_{\text{water}} - V_{\text{μετ.2}} \quad (5.51)$$

Βήμα 17: Υπολογισμός συνολικής ποσότητας νερού που αφαιρώνεται και μεταφέρεται καταναλώνοντας ενέργειας της ΔΕΗ, $V_{\Delta\text{EH}}$ (m^3)

Η συνολική ποσότητα νερού που αφαιρώνεται και μεταφέρεται καταναλώνοντας ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ ισούται με:

$$V_{\Delta\text{EH}} = V_{\Delta\text{EH},1} + V_{\Delta\text{EH},2} \quad (5.52)$$

Βήμα 18: Υπολογισμός συνολικής ποσότητας νερού που αφαιρώνεται και μεταφέρεται καταναλώνοντας αιολική ενέργεια, V_{wind} (m^3)

Η συνολική ποσότητα νερού που αφαιρώνεται και μεταφέρεται καταναλώνοντας αιολική ενέργεια ισούται με:

$$V_{\text{wind}} = V_{\text{wind},1} + V_{\text{wind},2} \quad (5.53)$$

Βήμα 19: Υπολογισμός συνολικής ποσότητας νερού που αφαιρώνεται και μεταφέρεται, V_{tot} (m^3)

Η συνολική ποσότητα νερού που αφαιρώνεται και μεταφέρεται τελικά στις δεξαμενές αποθήκευσης ισούται με:

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{wind},1} + V_{\Delta\text{EH},1} + V_{\text{wind},2} + V_{\Delta\text{EH},2} = V_{\text{μετ.1}} + V_{\text{μετ.2}} \quad (5.54)$$

Για τον υπολογισμό του επόμενου χρονικού βήματος $i+1$ της προσομοίωσης ακολουθείται η ίδια διαδικασία και πραγματοποιούνται ανάλογοι υπολογισμοί με τα παραπάνω βήματα, με θέτοντας $S_{\text{αρχή}}(i+1) = S_{\text{τελ}}(i)$.

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν επιπλέον μεγέθη σε χρονικό βήμα 1 h, με βάση κόστη και χαρακτηριστικά μεγέθη της μονάδας αφαλάτωσης που δίνονται στον Πίνακα 4.8. Τα μεγέθη που υπολογίστηκαν είναι τα εξής:

Αιολική ενέργεια που καταναλώνεται, E_{wind} (kWh)

Η αιολική ενέργεια που καταναλώνεται για την αφαλάτωση του νερού ισούται με:

$$E_{\text{wind}} = V_{\text{wind}} E_{\text{MA}} \quad (5.55)$$

Αιολική ενέργεια που διατίθεται στο δίκτυο, $E_{wind,δίκτυο}$ (kWh)

Η αιολική ενέργεια που δεν καταναλώνεται για αφαλάτωση διατίθεται στο κεντρικό δίκτυο και ισούται με:

$$E_{wind,δίκτυο} = E_{tot,wind} - E_{wind} \quad (5.56)$$

Ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο της ΔΕΗ, $E_{ΔΕΗ}$ (kWh)

Η ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο της ΔΕΗ για αφαλάτωση ισούται με:

$$E_{ΔΕΗ} = V_{ΔΕΗ} E_{MA} \quad (5.57)$$

Λειτουργικό κόστος αφαλάτωσης, $C_{ΛΕΙΤ.}$ (€)

Για την αφαλάτωση του νερού θεωρήθηκε ένα λειτουργικό κόστος που αφορά τη συντήρηση και λειτουργία των έργων της μονάδας, το οποίο ισούται με:

$$C_{ΛΕΙΤ.} = V_{tot} c_{ΛΕΙΤ.} \quad (5.58)$$

Κόστος από μεταφορά βυτίων, $C_{βυτίων}$ (€)

Στην περίπτωση εμφάνισης τελικού ελλείμματος D_{water}' έγινε η παραδοχή ότι αυτό θα καλυφθεί με μεταφορά βυτίων νερού στο νησί. Έτσι, το κόστος από τη μεταφορά βυτίων υπολογίζεται ως εξής:

$$C_{βυτίων} = c_{βυτίων} D_{water}' \quad (5.59)$$

Κόστος καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ για αφαλάτωση, $C_{ΔΕΗ}$ (€)

Το κόστος που αφορά την ενέργεια που καταναλώνεται για να αφαλατωθεί και να μεταφερθεί το νερό ισούται με:

$$C_{ΔΕΗ} = V_{ΔΕΗ} c_{ΔΕΗ} \quad (5.60)$$

Κόστος από ρήτρα, $C_{ρήτρα}$ (€)

Κατά την προσομοίωση έγινε η παραδοχή ότι κάθε φορά που το τελικό απόθεμα των δεξαμενών πέφτει κάτω των 100 m^3 ορίζεται ένα κόστος-ρήτρα, ως εξής:

$$C_{ρήτρα} = c_{ρήτρα} (100 - S_{τελ}) \quad (5.61)$$

Έσοδα αφαλάτωσης, R_{swater} (€)

Τα έσοδα από την πώληση του αφαλατωμένου νερού υπολογίζονται ως εξής:

$$R_{\text{Swater}} = (X_{\text{water}} + V_{\text{μετ.2}}) P_{\text{water}} \quad (5.62)$$

Έσοδα αιολικής ενέργειας, R_{swind} (€)

Τα έσοδα από την πώληση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας που δεν καταναλώνεται για αφαλάτωση και διατίθεται στο δίκτυο υπολογίζονται ως εξής:

$$R_{\text{Swind}} = E_{\text{wind,δίκτυο}} P_{\text{wind}} \quad (5.63)$$

5.3. ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Ολοκληρώνοντας το χρονικό διάστημα προσομοίωσης των 10 ετών, υπολογίζονται διάφορα αθροιστικά μεγέθη και τεχνοοικονομικοί δείκτες αξιολόγησης Εκτός των ωριαίων μεγεθών που υπολογίστηκαν παραπάνω για τη κάθε μια διαχειριστική λύση ξεχωριστά κατά τη διάρκεια των 10 ετών, στη συγκεκριμένη υποενότητα ορίζονται κάποιοι δείκτες που προκύπτουν από τα παραπάνω ωριαία μεγέθη στο τέλος των επαναλήψεων, και χρησιμοποιούνται για την τεχνοοικονομική αξιολόγηση του συστήματος. Τα παραπάνω είναι ενδεικτικά της αποδοτικότητας του συστήματος.

Σύνολο χρονικών βημάτων (ωρών) με έλλειμμα νερού: HD

Αξιοπιστία Αφαλάτωσης (Ποσοστό κάλυψης ζήτησης σε πόσιμο νερό):

$$a = 1 - (HD/87600) \quad (5.64)$$

Μέσο ετήσιο τελικό έλλειμμα νερού (m^3):

$$AD_{\text{water}} = \sum_{i=0}^{87600} D_{\text{water}}'(i)/10 \quad (5.65)$$

Μέση ετήσια ποσότητα νερού που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια (m^3):

$$AV_{\text{wind}} = \sum_{i=0}^{87600} V_{\text{wind}}(i)/10 \quad (5.66)$$

Μέση ετήσια ποσότητα νερού που αφαλατώνεται με ενέργεια της ΔΕΗ (m^3):

$$AV_{\Delta EH} = \sum_{i=0}^{87600} V_{\Delta EH}(i)/10 \quad (5.67)$$

Συνολική μέση ετήσια ποσότητα νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται (m³):

$$AV_{tot} = \sum_{i=0}^{87600} V_{tot}(i)/10 \quad (5.68)$$

Μέση ετήσια καταναλισκόμενη αιολική ενέργεια για αφαλάτωση (kWh):

$$AE_{wind} = \sum_{i=0}^{87600} E_{wind}(i)/10 \quad (5.69)$$

Μέση ετήσια αιολική ενέργεια που διατίθεται στο δίκτυο (kWh):

$$AE_{wind,δίκτυο} = \sum_{i=0}^{87600} E_{wind,δίκτυο}(i)/10 \quad (5.70)$$

Μέση ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια από ΔΕΗ για αφαλάτωση (kWh):

$$AE_{\Delta EH} = \sum_{i=0}^{87600} E_{\Delta EH}(i)/10 \quad (5.71)$$

Ποσοστό συμμετοχής αιολικής ενέργειας στην ετήσια παραγωγή νερού:

$$p_{water,wind} = AE_{wind} / (AE_{wind} + AE_{\Delta EH}) \quad (5.72)$$

Σύνολο ωρών που δεν καταναλώνεται ενέργεια: HE₀

Ποσοστό χρόνου που δεν καταναλώνεται ενέργεια:

$$p_{E0} = HE_0/87600 \quad (5.73)$$

Σύνολο ωρών που καταναλώνεται ταυτόχρονα αιολική ενέργεια και ενέργεια από τη ΔΕΗ: HE_{ΔΕΗ+wind}

Ποσοστό χρόνου που καταναλώνεται ταυτόχρονα ενέργεια ΔΕΗ και αιολική:

$$p_{\Delta EH+wind} = HE_{\Delta EH+wind}/87600 \quad (5.74)$$

Σύνολο ωρών που καταναλώνεται ενέργεια της ΔΕΗ: HE_{ΔΕΗ}

Ποσοστό χρόνου καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ για αφαλάτωση:

$$p_{\Delta EH} = HE_{\Delta EH}/87600 \quad (5.75)$$

Ποσοστό χρόνου που καταναλώνεται ενέργεια ΔΕΗ όταν δεν παράγεται αιολική:

$$p_{\Delta E H, w i n d 0} = p_{\Delta E H} - p_{\Delta E H + w i n d} \quad (5.76)$$

Σύνολο ωρών που καταναλώνεται αιολική ενέργεια: HE_{wind}

Ποσοστό χρόνου καταναλισκόμενης αιολικής ενέργειας για αφαλάτωση:

$$p_{w i n d} = H E_{w i n d} / 87600 \quad (5.77)$$

Σύνολο ωρών που εμφανίζεται $S_{τελ}<100$: HS_{100}

Ποσοστό χρόνου που εμφανίζεται $S_{τελ}<100$:

$$p_{S 100} = H S_{100} / 87600 \quad (5.78)$$

Σύνολο ωρών που εμφανίζεται $S_{τελ}=0$: HS_0

Ποσοστό χρόνου που εμφανίζεται $S_{τελ}=0$:

$$p_{S 0} = H S_0 / 87600 \quad (5.79)$$

Μέσο ετήσιο λειτουργικό κόστος αφαλάτωσης (€):

$$A C_{\Delta E I T} = \sum_{i=0}^{87600} C_{\Delta E I T}(i) / 10 \quad (5.80)$$

Μέσο ετήσιο κόστος καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ για αφαλάτωση (€):

$$A C_{\Delta E H} = \sum_{i=0}^{87600} C_{\Delta E H}(i) / 10 \quad (5.81)$$

Μέσο ετήσιο κόστος από ρήτρα (€):

$$A C_{\rho \eta \tau \rho \alpha} = \sum_{i=0}^{87600} C_{\rho \eta \tau \rho \alpha}(i) / 10 \quad (5.82)$$

Μέσο ετήσιο κόστος από μεταφορά βυτίων (€):

$$A C_{\beta \upsilon \tau \iota \omega \nu} = \sum_{i=0}^{87600} C_{\beta \upsilon \tau \iota \omega \nu}(i) / 10 \quad (5.83)$$

Συνολικό μέσο ετήσιο κόστος αφαλάτωσης (€):

$$AC = AC_{\text{ΛΕΙΤ.}} + AC_{\text{ΔΕΗ}} + AC_{\text{ρήτρα}} + AC_{\text{βυτίων}} \quad (5.84)$$

Μέσο ετήσιο έσοδο αφαλάτωσης (€):

$$AR_{\text{Swater}} = \sum_{i=0}^{87600} R_{\text{Swater}}(i)/10 \quad (5.85)$$

Μέσο ετήσιο έσοδο αιολικής ενέργειας (€):

$$AR_{\text{Swind}} = \sum_{i=0}^{87600} R_{\text{Swind}}(i)/10 \quad (5.86)$$

Συνολικό μέσο ετήσιο έσοδο συστήματος (€):

$$AR_s = AR_{\text{Swater}} + AR_{\text{Swind}} \quad (5.87)$$

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του συστήματος αφαλάτωσης για την κάθε διαχειριστική λύση, σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τις παραδοχές που παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται μια σύγκριση των λύσεων και γίνεται μια παραμετρική ανάλυση, όπου παρουσιάζεται η ευαισθησία των διαφόρων δεικτών αξιολόγησης σε σχέση με τη μεταβολή της τιμής των παραμέτρων σχεδιασμού και λειτουργίας για τη 2^η και 3^η λύση.

Αρχικά, για κάθε λύση παρατίθενται διαγράμματα στα οποία παρουσιάζεται η χρονική μεταβολή των πιο χαρακτηριστικών μεγεθών λειτουργίας του συστήματος, για το χρονικό διάστημα των 10 χρόνων της προσομοίωσης. Μάλιστα, προκειμένου να διαμορφωθεί μια σαφέστερη και πιο ξεκάθαρη αντίληψη της λειτουργίας του συστήματος, επιλέχθηκε να παρουσιαστούν ετήσια διαγράμματα που αφορούν στο τελευταίο έτος της προσομοίωσης. Επίσης, για την κάθε λύση παρουσιάζονται οι τιμές των αθροιστικών μεγεθών, καθώς και οι τιμές των τεχνοοικονομικών δεικτών αξιολόγησης, όπως υπολογίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Στην επόμενη υποενότητα γίνεται σύγκριση των τριών διαχειριστικών λύσεων όσον αφορά τους δείκτες αξιολόγησης και κάποια από τα πιο χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας του συστήματος.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η παραμετρική ανάλυση του συστήματος για τις δύο λύσεις που καταναλώνουν αολική ενέργεια. Κρατώντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους, μεταβάλλουμε την τιμή της υπό μελέτη παραμέτρου και παρακολουθούμε την μεταβολή των σημαντικότερων δεικτών αξιολόγησης. Έτσι, δίνονται τα διαγράμματα που αποτυπώνουν την επίδραση της μεταβολής της κάθε παραμέτρου ξεχωριστά στους τεχνοοικονομικούς δείκτες αξιολόγησης, οι οποίοι χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά και την απόδοση του συστήματος.

Τέλος, παρουσιάζεται ο βέλτιστος συνδυασμός των παραμέτρων σε σχέση με τους βασικότερους τεχνοοικονομικούς δείκτες του συστήματος για τη λύση που θεωρήθηκε ως η πιο αξιόπιστη στην κάλυψη των υδατικών αναγκών.

6.2. 1^η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δεικτών αξιολόγησης και χαρακτηριστικών μεγεθών λειτουργίας του συστήματος που αφορούν στην πρώτη διαχειριστική λύση.

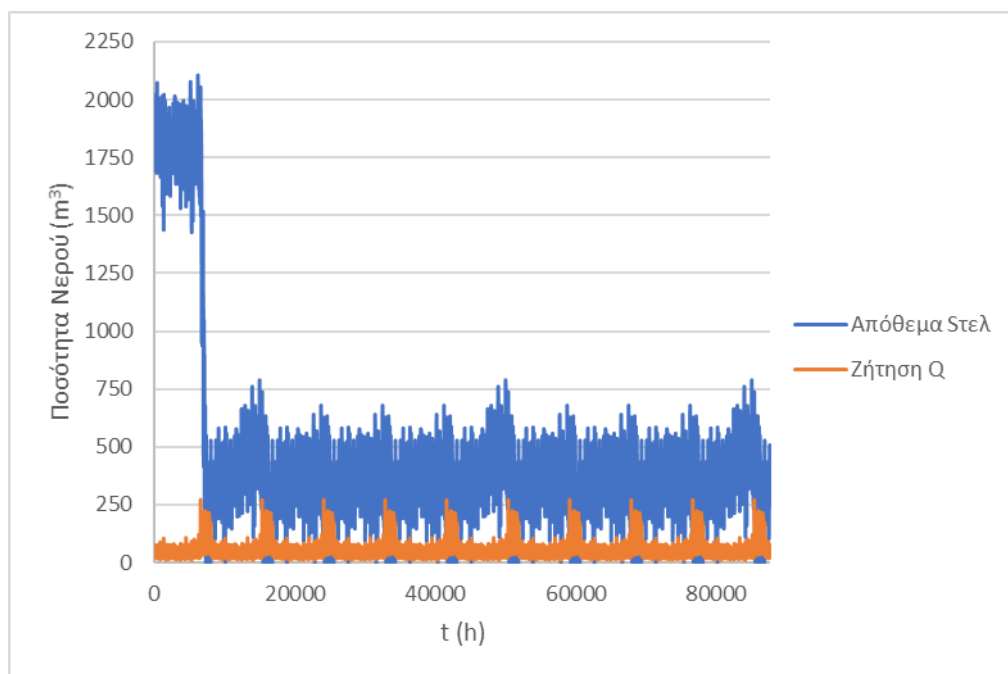
Πίνακας 6.1 Τιμές Δεικτών Αξιολόγησης 1^{ης} Λύσης.

Δείκτες	Τιμή
Σύνολο Αστοχιών-ελλειμμάτων, HD (h)	1,607
Ποσοστό χρόνου εμφάνισης ελλειμμάτων	2%
Αξιοπιστία Αφαλάτωσης, a	98%
Ποσοστό χρόνου $S_{τελ}<100$, p_{s100}	6%
Ποσοστό χρόνου $S_{τελ}=0$, p_{s0}	2%
Μέσο ετήσιο έλλειμμα, AD_{water} (m ³)	4,985
Μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια, AV_{wind} (m ³)	0
Μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται με ενέργεια της ΔΕΗ, $AV_{ΔΕΗ}$ (m ³)	464,571
Συνολικό μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται, AV_{tot} (m ³)	464,571
Ποσοστό συμμετοχής αιολικής ενέργειας σε ετήσια παραγωγή νερού, $p_{water,wind}$	0
Μέση ετήσια καταναλισκόμενη αιολική ενέργεια για αφαλάτωση, AE_{wind} (kWh)	0
Μέση ετήσια αιολική ενέργεια που διατίθεται στο δίκτυο, $AE_{wind,δίκτυο}$ (kWh)	0
Μέση ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια ΔΕΗ για αφαλάτωση, $AE_{ΔΕΗ}$ (kWh)	1,858,284
Ποσοστό χρόνου αιολικής ενέργειας, p_{wind}	0%
Ποσοστό χρόνου ενέργειας ΔΕΗ, $p_{ΔΕΗ}$	100%
Ποσοστό χρόνου μηδενικής καταναλισκόμενης ενέργειας (δεν αφαλατώνεται καθόλου νερό) p_{EO}	0%
Ποσοστό χρόνου καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ για μη μηδενική αιολική, $p_{ΔΕΗ+wind}$	0%
Ποσοστό χρόνου καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ για μηδενική αιολική, $p_{ΔΕΗ,wind0}$	100%
Ποσοστό χρόνου μηδενικής παραγόμενης αιολικής ενέργειας	100%
Μέσο ετήσιο λειτουργικό κόστος αφαλάτωσης, $AC_{ΛΕΙΤ.}$ (€)	232,095
Μέσο ετήσιο κόστος ενέργειας ΔΕΗ αφαλάτωσης, $AC_{ΔΕΗ}$ (€)	185,676
Μέσο ετήσιο κόστος μεταφοράς βυτίων, $AC_{βυτίων}$ (€)	24,904
Μέσο ετήσιο κόστος από ρήτρα, $AC_{ρήτρα}$ (€)	6,805
Συνολικό μέσο ετήσιο κόστος, AC (€)	449,480
Μέσο ετήσιο έσοδο αφαλάτωσης, AR_{water} (€)	877,600
Μέσο ετήσιο έσοδο αιολικής ενέργειας, AR_{Swind} (€)	0
Συνολικό μέσο ετήσιο έσοδο συστήματος, ARs (€)	877,600

Διαγράμματα 10 ετών

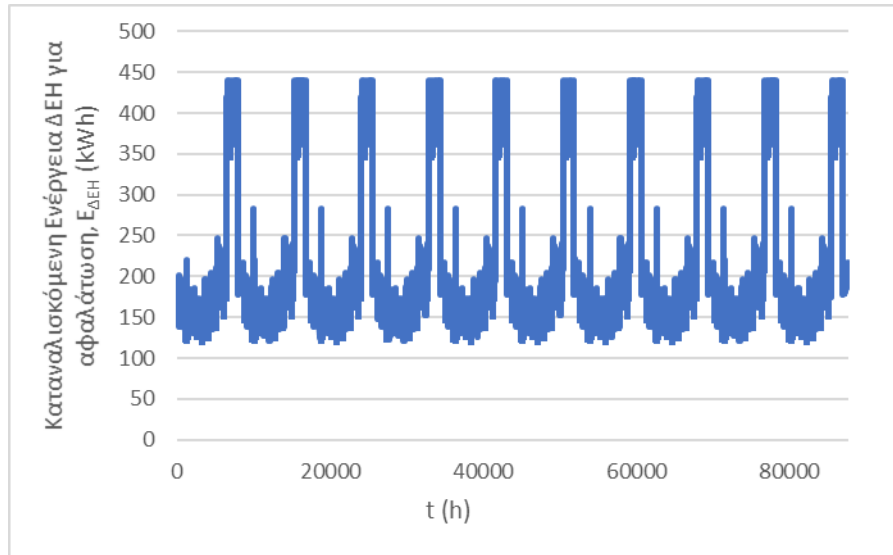
Στη συνέχεια παρατίθενται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα που αφορούν στην προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε για μήκος 10 χρόνων σε χρονικό βήμα 1h (87,600 τιμές).

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.1, το απόθεμα της δεξαμενής διατηρείται σε υψηλά επίπεδα για τον πρώτο χρόνο αφού κατά την έναρξη της προσομοίωσης η αρχική αποθήκευση νερού έχει θεωρηθεί υψηλή ($S_0=2,000 \text{ m}^3$). Στα επόμενα χρόνια, το απόθεμα ελαττώνεται αλλά κατά τη διάρκεια των 10 χρόνων της προσομοίωσης φαίνεται να παρουσιάζει τις ίδιες αυξομειώσεις ανά χρόνο. Σημειώνεται ότι το απόθεμα στις δεξαμενές ελαττώνεται ή και μηδενίζεται όταν η ζήτηση είναι ιδιαίτερα υψηλή.



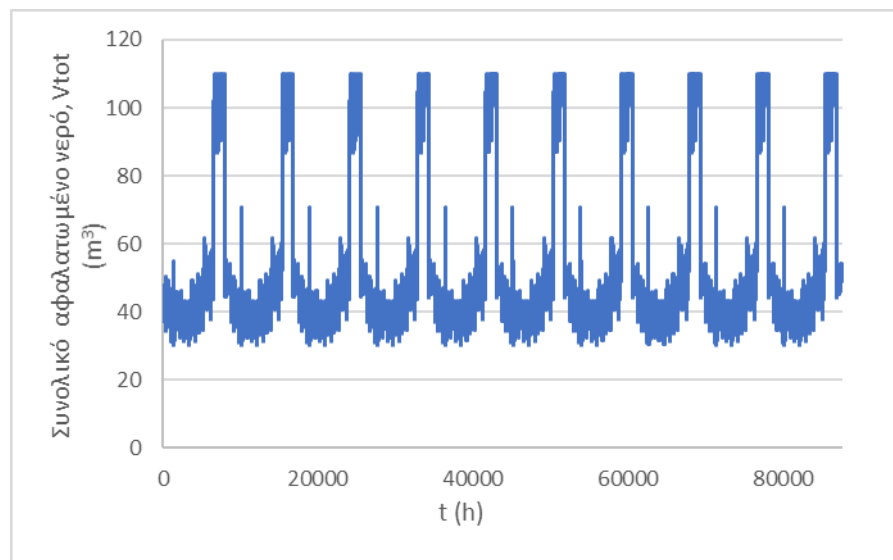
Σχήμα 6.1 Χρονοσειρά αποθέματος/ζήτησης νερού 10 ετών 1^{ης} λύσης.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.2, η ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο της ΔΕΗ ($E_{\Delta\epsilon\eta}$) είναι υψηλή κατά τη διάρκεια όλων των χρόνων αφού κατά την πρώτη λύση θεωρήθηκε ότι η μονάδα τροφοδοτείται ενεργειακά μόνο από το δίκτυο. Παρουσιάζει, μάλιστα, μια τάση κατά τη διάρκεια των 10 χρόνων και φαίνεται να αυξάνεται ιδιαίτερα ανά έτος σε συγκεκριμένα διαστήματα.



Σχήμα 6.2 Χρονοσειρά καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ 10 ετών 1^{ης} λύσης.

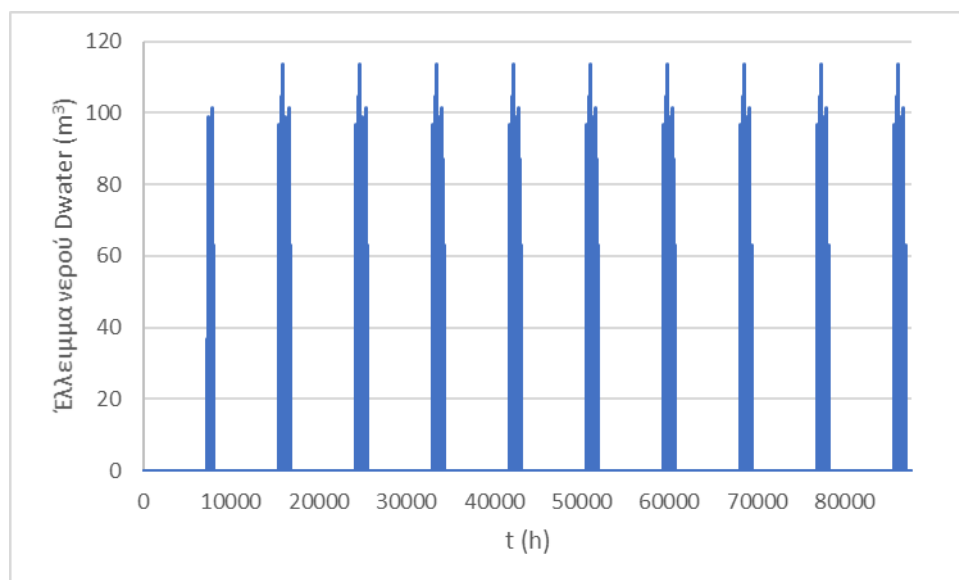
Το διάγραμμα του συνολικού νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται στις δεξαμενές αποθήκευσης νερού είναι της ίδιας μορφής με το αντίστοιχο της ενέργειας, καθώς για την παραγωγή του καταναλώνεται ενέργεια μόνο από το δίκτυο της ΔΕΗ (Σχήμα 6.3). Επισημαίνεται ότι κατά τη περίοδο της προσομοίωσης αφαλατώνεται και μεταφέρεται πάντα κάποια ποσότητα νερού στις δεξαμενές.



Σχήμα 6.3 Χρονοσειρά συνολικού αφαλατωμένου νερού 10 ετών 1^{ης} λύσης.

Στο Σχήμα 6.4 παρουσιάζονται τα υδατικά ελλείμματα D_{water} που προκύπτουν όταν το σύστημα δεν δύναται να καλύψει τη ζήτηση νερού. Συνολικά, φαίνεται ότι η μονάδα

αφαλάτωσης δεν παρουσιάζει πολλά ελλείμματα κατά τη λειτουργία της. Ελλείμματα παρουσιάζονται μόνο ανά συγκεκριμένα διαστήματα των θερινών μηνών, και είναι της τάξης των 100 m^3 περίπου.



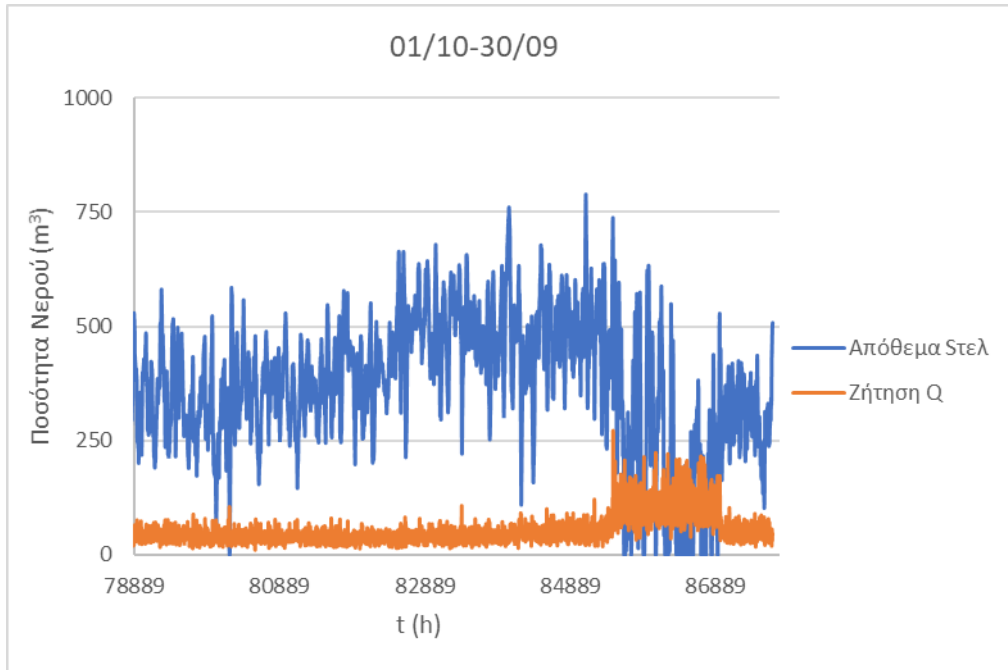
Σχήμα 6.4 Χρονοσειρά ελλείμματος νερού 10 ετών 1^{ης} λύσης.

Διαγράμματα τελευταίου έτους προσομοίωσης

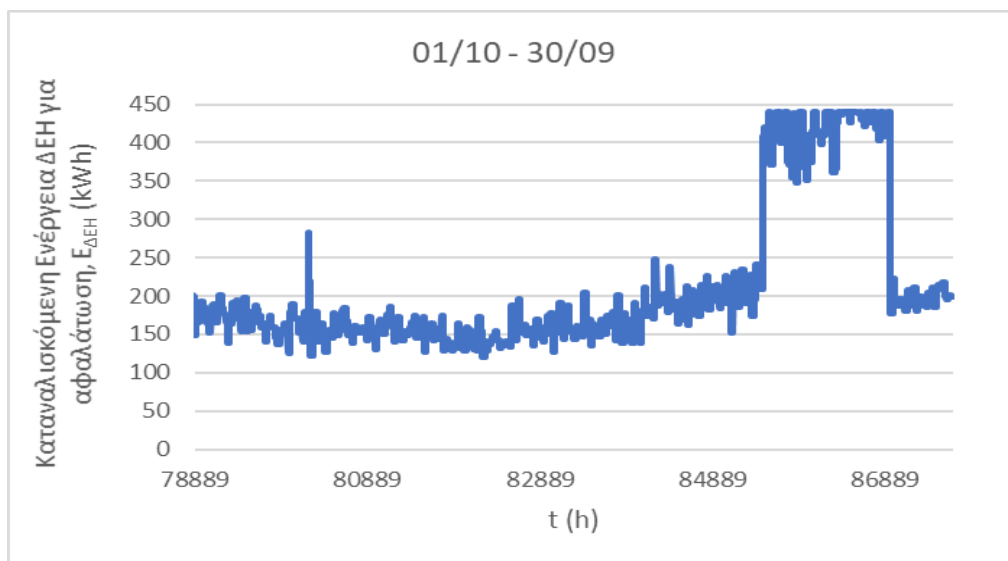
Στη συνέχεια παρατίθενται τα ετήσια διαγράμματα που αφορούν την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε για το τελευταίο υδρολογικό έτος από 01/10 έως 30/09 σε χρονικό βήμα 1h (8,760 τιμές) ώστε να είναι πιο εμφανής η μεταβολή των μεγεθών κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Στο Σχήμα 6.5 φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια του έτους οι δεξαμενές έχουν συνεχώς κάποιο απόθεμα νερού. Η στάθμη τους ελαττώνεται και φτάνει ακόμη και το μηδέν τους καλοκαιρινούς μόνο μήνες, όταν η εκροή νερού είναι υψηλή ώστε να καλυφθεί η ζήτηση η οποία αυξάνεται αισθητά εκείνη την περίοδο.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.6, καταναλώνεται συνεχώς ενέργεια από το δίκτυο αφού σύμφωνα με τη συγκεκριμένη λύση η μονάδα τροφοδοτείται ενεργειακά μόνο από το δίκτυο της ΔΕΗ. Επίσης, η ενέργεια που καταναλώνεται από το δίκτυο της ΔΕΗ ($E_{\Delta\text{ΕΗ}}$) αυξάνεται ραγδαία τους καλοκαιρινούς μήνες όταν αφαλατώνονται μεγάλες ποσότητες νερού. Μάλιστα, μια μικρή αύξηση παρουσιάζει και λίγο πριν το καλοκαίρι, ενώ αμέσως μετά οι τιμές καταναλισκόμενης ενέργειας ελαττώνονται.



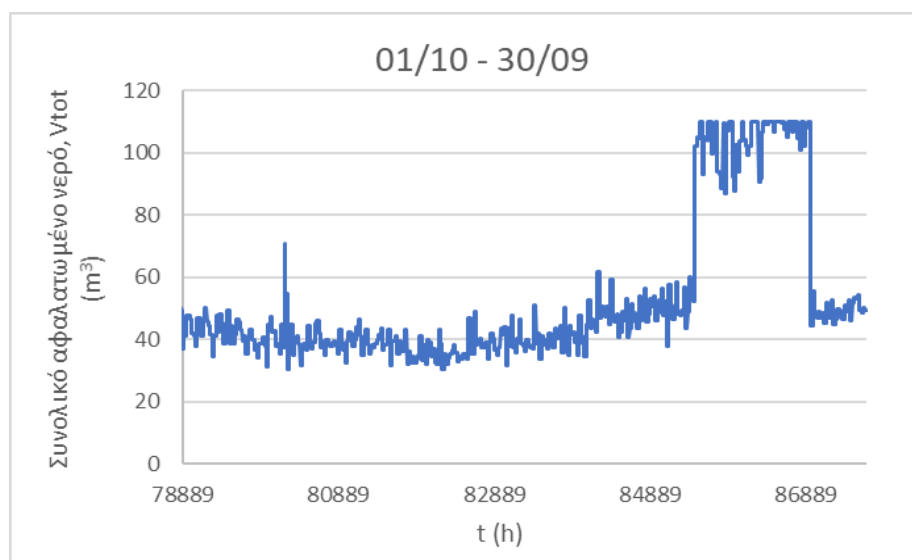
Σχήμα 6.5 Χρονοσειρά μεταβολής αποθέματος/ζήτησης νερού 1^{ης} λύσης.



Σχήμα 6.6 Χρονοσειρά μεταβολής καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ 1^{ης} λύσης.

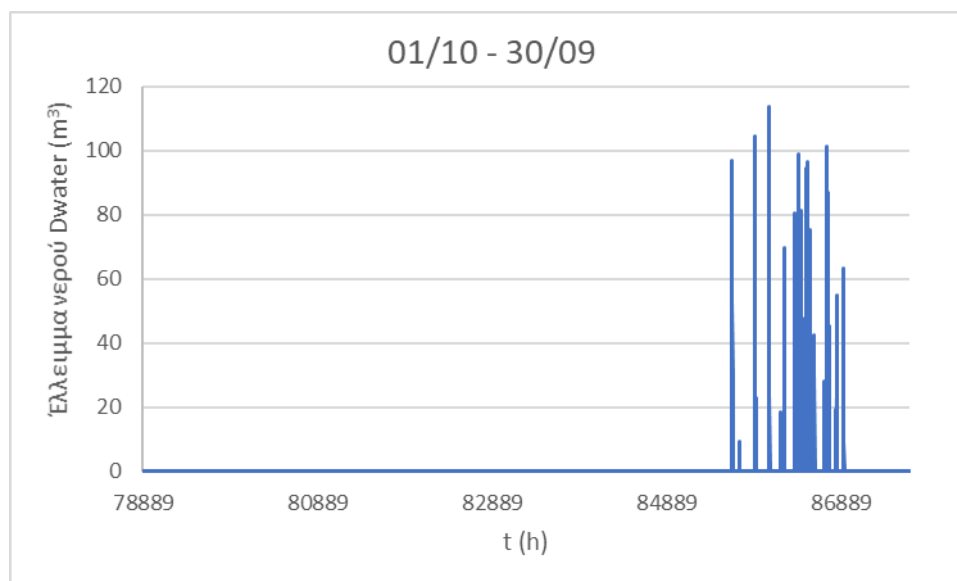
Το διάγραμμα του Σχήματος 6.7, που αφορά στο σύνολο του νερού που αφαλατώνεται από τη μονάδα, είναι ακριβώς της ίδιας μορφής με το αντίστοιχο της ενέργειας, αφού η μονάδα τροφοδοτείται ενεργειακά εξ' ολοκλήρου από το δίκτυο της ΔΕΗ. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, η μονάδα αφαλάτωσης παράγει συνεχώς νερό, και μάλιστα την καλοκαιρινή περίοδο αρκετά μεγάλες ποσότητες νερού (φτάνει ακόμη

και τη μέγιστη παροχαρακτηριστικότητα της των $110 \text{ m}^3/\text{h}$), ενώ τον υπόλοιπο χρόνο αφαλατώνονται αρκετά μικρότερες ποσότητες νερού, της τάξης των $50 \text{ m}^3/\text{h}$ περίπου.



Σχήμα 6.7 Χρονοσειρά μεταβολής συνολικού αφαλατωμένου νερού 1^{ης} λύσης.

Στο Σχήμα 6.8 παρουσιάζεται η μεταβολή του ελλείμματος κατά τη διάρκεια του έτους. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, τα υδατικά ελλείμματα εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών όταν η ζήτηση νερού είναι ιδιαίτερα υψηλή. Κατά τη διάρκεια του υπόλοιπου έτους είναι μηδενικά, το οποίο σημαίνει ότι η μονάδα καλύπτει επαρκώς τη ζήτηση του νερού.



Σχήμα 6.8 Χρονοσειρά μεταβολής ελλείμματος νερού 1^{ης} λύσης.

6.3. 2^η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δεικτών αξιολόγησης και χαρακτηριστικών μεγεθών λειτουργίας του συστήματος που αφορούν στη δεύτερη διαχειριστική λύση.

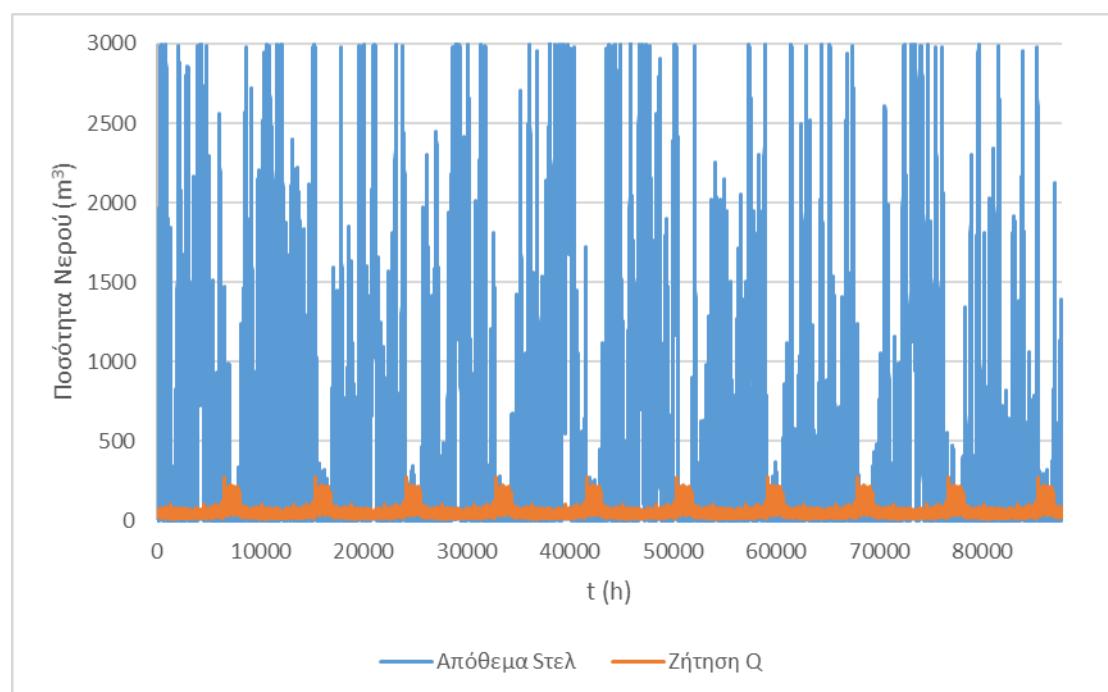
Πίνακας 6.2 Τιμές Δεικτών Αξιολόγησης 2^{ης} Λύσης.

Δείκτες	Τιμή
Σύνολο Αστοχιών-ελλειμμάτων, HD (h)	5,426
Ποσοστό χρόνου εμφάνισης ελλειμμάτων	6%
Αξιοπιστία Αφαλάτωσης, a	94%
Ποσοστό χρόνου $S_{\text{τελ}} < 100$, p_{s100}	51%
Ποσοστό χρόνου $S_{\text{τελ}} = 0$, p_{s0}	42%
Μέσο ετήσιο έλλειμμα AD_{water} (m ³)	12,842
Μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια, AV_{wind} (m ³)	276,288
Μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται με ενέργεια της ΔΕΗ, $AV_{\text{ΔΕΗ}}$ (m ³)	180,374
Συνολικό μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται, AV_{tot} (m ³)	456,663
Ποσοστό συμμετοχής αιολικής ενέργειας σε ετήσια παραγωγή νερού, $p_{\text{water,wind}}$	61%
Μέση ετήσια καταναλισκόμενη αιολική ενέργεια για αφαλάτωση, AE_{wind} (kWh)	1,105,153
Μέση ετήσια αιολική ενέργεια που διατίθεται στο δίκτυο, $AE_{\text{wind,δίκτυο}}$ (kWh)	1,198,854
Μέση ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια ΔΕΗ για αφαλάτωση, $AE_{\text{ΔΕΗ}}$ (kWh)	721,497
Ποσοστό χρόνου αιολικής ενέργειας, p_{wind}	62%
Ποσοστό χρόνου ενέργειας ΔΕΗ, $p_{\text{ΔΕΗ}}$	41%
Ποσοστό χρόνου μηδενικής καταναλισκόμενης ενέργειας (δεν αφαλατώνεται καθόλου νερό) $p_{\text{Ε0}}$	15%
Ποσοστό χρόνου καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ για μη μηδενική αιολική, $p_{\text{ΔΕΗ+wind}}$	18%
Ποσοστό χρόνου καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ για μηδενική αιολική, $p_{\text{ΔΕΗ,wind0}}$	23%
Ποσοστό χρόνου μηδενικής παραγόμενης αιολικής ενέργειας	38%
Μέσο ετήσιο λειτουργικό κόστος αφαλάτωσης, $AC_{\text{ΛΕΙΤ.}}$ (€)	228,144
Μέσο ετήσιο κόστος ενέργειας ΔΕΗ αφαλάτωσης, $AC_{\text{ΔΕΗ}}$ (€)	72,090
Μέσο ετήσιο κόστος μεταφοράς βυτίων, $AC_{\text{βυτίων}}$ (€)	64,160
Μέσο ετήσιο κόστος από ρήτρα, $AC_{\text{ρήτρα}}$ (€)	82,742
Συνολικό μέσο ετήσιο κόστος, AC (€)	447,136
Μέσο ετήσιο έσοδο αφαλάτωσης, ARs_{water} (€)	862,761
Μέσο ετήσιο έσοδο αιολικής ενέργειας, ARs_{wind} (€)	107,808
Συνολικό μέσο ετήσιο έσοδο συστήματος, ARs (€)	970,570

Διαγράμματα 10 χρόνων

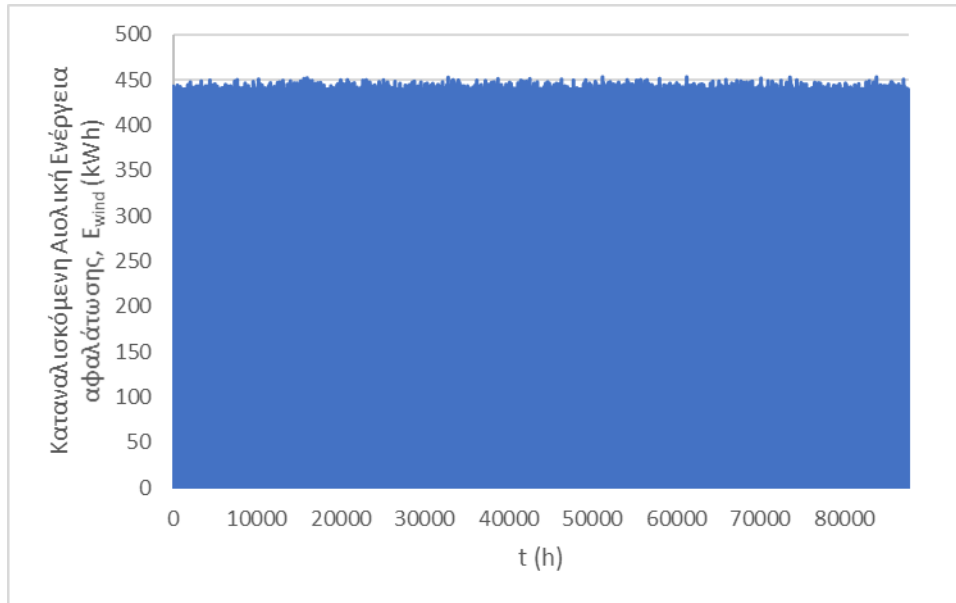
Παρακάτω παρατίθενται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα που αφορούν την προσομοίωση της 2^{ης} διαχειριστικής λύσης που πραγματοποιήθηκε για το διάστημα 10 χρόνων σε χρονικό βήμα 1h (87,600 τιμές).

Στο Σχήμα 6.9 παρουσιάζεται η μεταβολή του αποθέματος της δεξαμενής κατά τη διάρκεια των 10 ετών. Όπως φαίνεται, το απόθεμα φτάνει ανά διαστήματα τα 3,000 m³ όση είναι δηλαδή και η μέγιστη χωρητικότητα τους (V_{max}). Αρκετές φορές, όμως, κατά τη διάρκεια των 10 ετών, το απόθεμα εμφανώς ελαττώνεται έως και μηδενίζεται. Σημειώνεται ότι τα χρονικά βήματα που η ζήτηση (Q) είναι ιδιαίτερα υψηλή, το απόθεμα ($S_{τελ}$) στις δεξαμενές ελαττώνεται ή και μηδενίζεται.



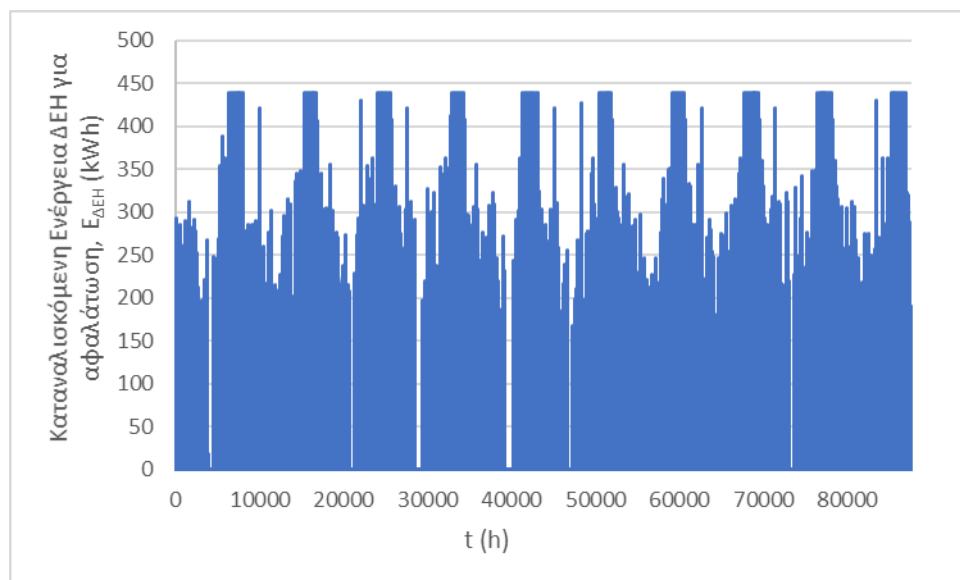
Σχήμα 6.9 Χρονοσειρά αποθέματος/ζήτησης νερού 10 ετών 2^{ης} λύσης.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.10, η αιολική ενέργεια που καταναλώνεται για την αφαλάτωση του νερού (E_{wind}) είναι αρκετές φορές μηδενική κατά τη διάρκεια των 10 χρόνων ενώ άλλες παρουσιάζει υψηλή τιμή. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι η παραγωγή ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες είναι ιδιαίτερα μεταβαλλόμενη καθώς άλλες φορές είναι μηδενική και άλλες παρουσιάζει αιχμή.



Σχήμα 6.10 Χρονοσειρά καταναλισκόμενης αιολικής ενέργειας 10 ετών 2^{ης} λύσης.

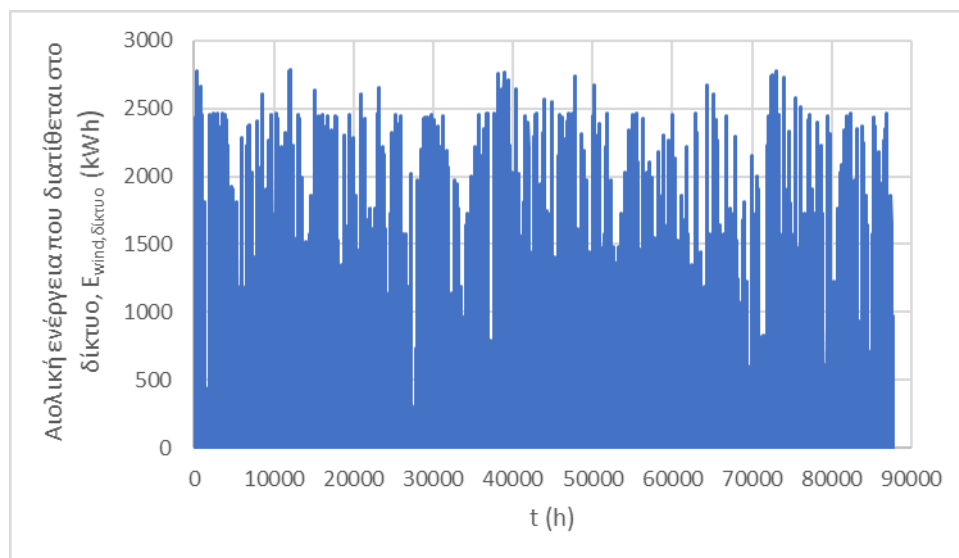
Στο Σχήμα 6.11 παρουσιάζεται η μεταβολή της καταναλισκόμενης ενέργειας της ΔΕΗ ($E_{\Delta\text{ΕΗ}}$). Όπως φαίνεται από το διάγραμμα, καταναλώνονται υψηλές τιμές ενέργειας της ΔΕΗ για την παραγωγή του αφαλατωμένου νερού όταν δεν είναι διαθέσιμη αιολική ενέργεια ή όταν αυτή δεν επαρκεί για να καλυφθεί η ζήτηση.



Σχήμα 6.11 Χρονοσειρά καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ 10 ετών 2^{ης} λύσης.

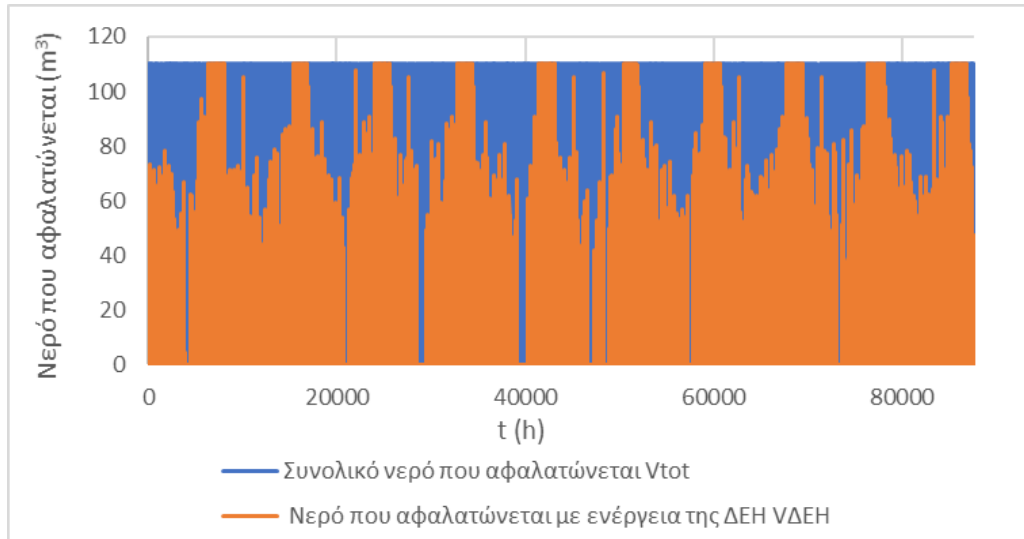
Στο Σχήμα 6.12 παρουσιάζεται η μεταβολή της αιολικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο όταν αυτή δεν δύναται να καταναλωθεί από τη μονάδα αφαλάτωσης

($E_{wind,δίκτυο}$). Όπως φαίνεται από το διάγραμμα, οι τιμές της αιολικής ενέργειας που διατίθεται είναι αρκετά υψηλές.

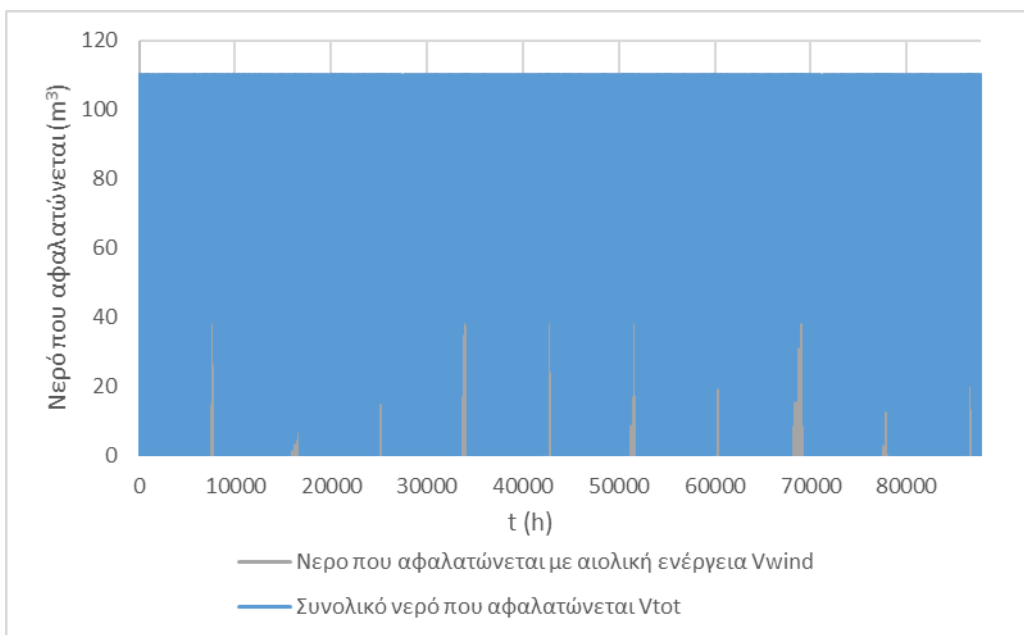


Σχήμα 6.12 Χρονοσειρά αιολικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο 10 ετών 2^{ης} λύσης.

Στα επόμενα δύο διαγράμματα παρουσιάζεται η παραγωγή νερού από τη μονάδα αφαλάτωσης, σε σχέση με το νερό που παράγεται χρησιμοποιώντας αιολική ενέργεια και ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ. Όπως φαίνεται, υπάρχουν πολλές φορές που η μονάδα δεν παράγει καθόλου αφαλατωμένο νερό, ενώ άλλες παράγει το μέγιστο που δύναται λόγω της παροχετευτικότητας του συστήματος ($110 \text{ m}^3/\text{h}$). Μάλιστα, είναι εμφανής και η έντονη παραγωγή νερού που υπάρχει καταναλώνοντας ενέργεια της ΔΕΗ. Όπως αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, σύμφωνα με τη συγκεκριμένη διαχειριστική λύση η ποσότητα νερού που αφαλατώνεται εξαρτάται από την παραγόμενη αιολική ενέργεια και σε περίπτωση εμφάνισης ελλείμματος και εφόσον έχει καταναλωθεί όλη η διαθέσιμη αιολική, καταναλώνεται επιπλέον ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ. Έτσι εξηγείται και το γεγονός ότι υπάρχουν περιόδους που δεν αφαλατώνεται καθόλου νερό, περιόδους που το νερό παράγεται μόνο με ενέργεια της ΔΕΗ, καθώς είναι μηδενική η αιολική ενέργεια, και περιόδους που αφαλατώνεται νερό καταναλώνοντας και αιολική ενέργεια και ενέργεια της ΔΕΗ.

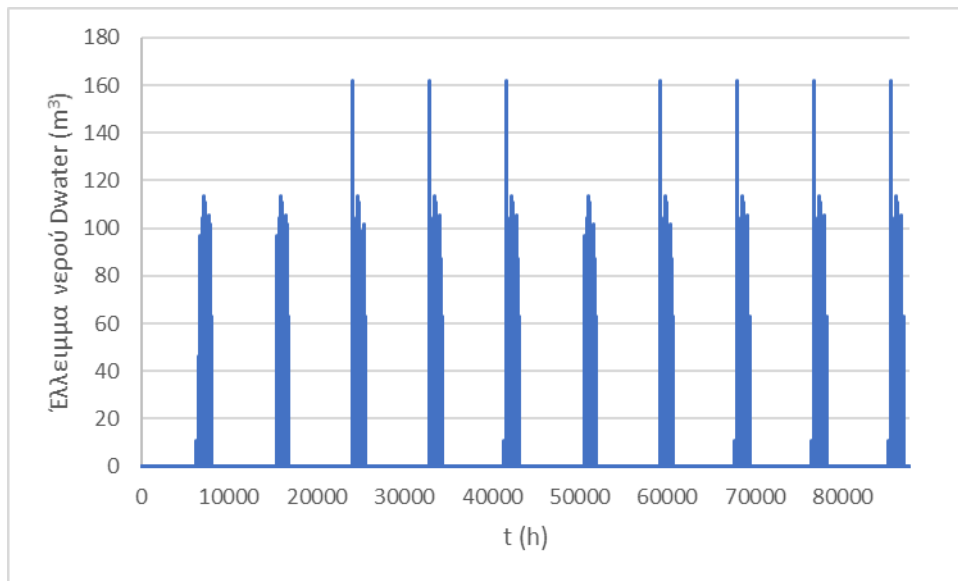


Σχήμα 6.13 Χρονοσειρά συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερού που αφαλατώνεται με ΔΕΗ 10 ετών 2^{ης} λύσης.



Σχήμα 6.14 Χρονοσειρά συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερού που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια 10 ετών 2^{ης} λύσης.

Στο τελευταίο διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή του ελλείμματος D_{water} κατά τη διάρκεια των 10 χρόνων. Προκύπτει ότι εμφανίζονται αρκετά υψηλά ελλείμματα σε συγκεκριμένα διαστήματα κάθε χρόνο, που μάλιστα, ξεπερνούν τα 160 m^3 .



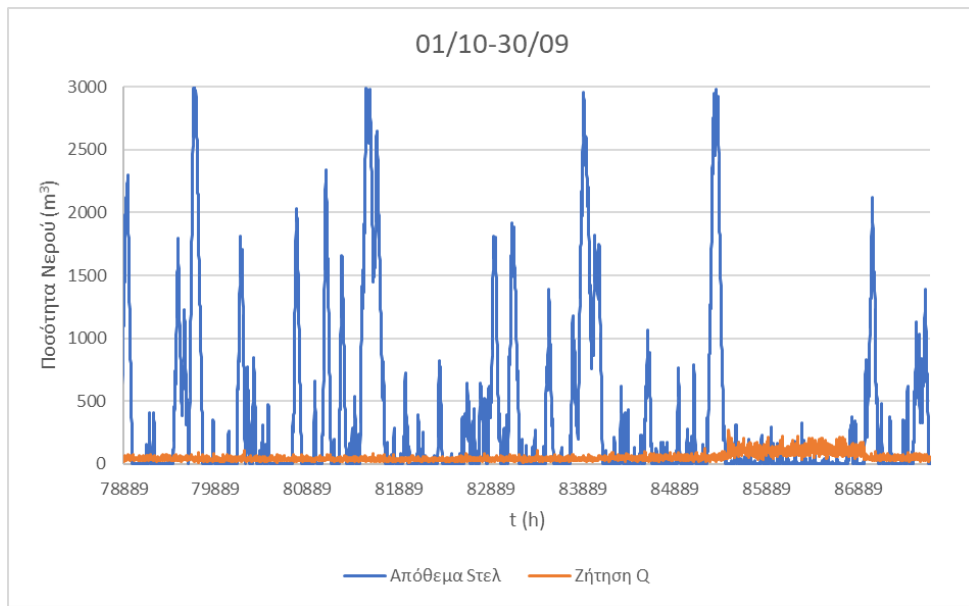
Σχήμα 6.15 Χρονοσειρά ελλείμματος νερού 10 ετών 2^{ης} λύσης.

Διαγράμματα τελευταίου έτους προσομοίωσης

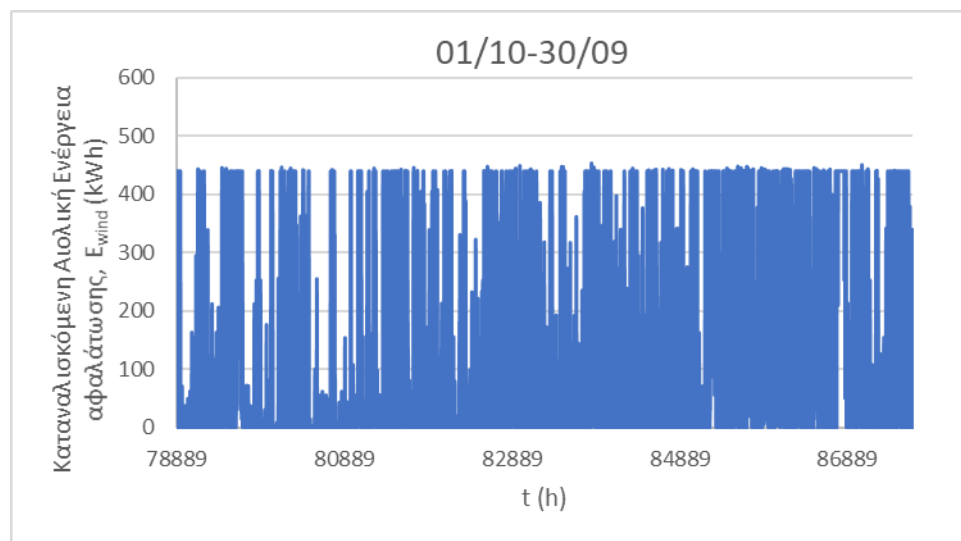
Στη συνέχεια παρατίθενται τα ετήσια διαγράμματα που αφορούν στην προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε για το τελευταίο υδρολογικό έτος από 01/10 έως 30/09 σε χρονικό βήμα 1h (8,760 τιμές), ώστε να είναι πιο εμφανής η μεταβολή των μεγεθών κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Στο Σχήμα 6.16 φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια του έτους το απόθεμα στις δεξαμενές παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση, το οποίο οφείλεται στη μεταβλητότητα του ανέμου από τον οποίο εξαρτάται η παραγωγή του νερού. Τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται ότι το απόθεμα ελαττώνεται και πολλές φορές μηδενίζεται, ενώ η ζήτηση είναι αρκετά αυξημένη κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής με αποτέλεσμα αυτή να μην μπορεί να καλυφθεί.

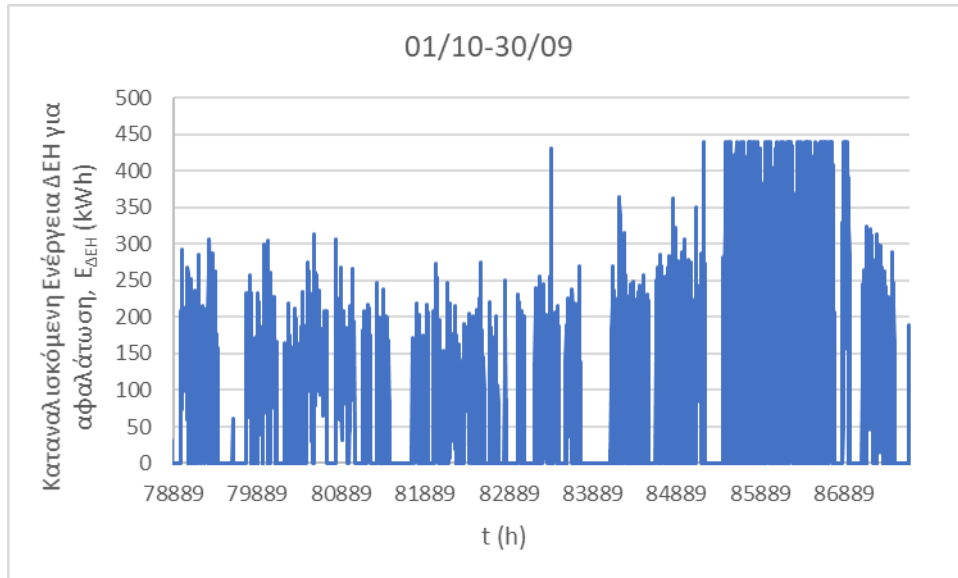
Στα επόμενα δύο διαγράμματα παρουσιάζεται η μεταβολή της καταναλισκόμενης αιολικής και ενέργειας από το δίκτυο της ΔΕΗ για αφαλάτωση. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 6.17, κατά τη διάρκεια του χρόνου είναι αρκετές οι περίοδοι που είτε δεν καταναλώνεται καθόλου αιολική ενέργεια για αφαλάτωση και καταναλώνεται ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ είτε η αιολική ενέργεια που καταναλώνεται είναι αιφνιδίως πολύ υψηλή. Κατά την περίοδο του καλοκαιριού, μάλιστα, φαίνεται ότι η κατανάλωση ενέργειας της ΔΕΗ να αυξάνεται κατακόρυφα.



Σχήμα 6.16 Χρονοσειρά μεταβολής αποθέματος/ζήτησης νερού 2^{ης} λύσης.

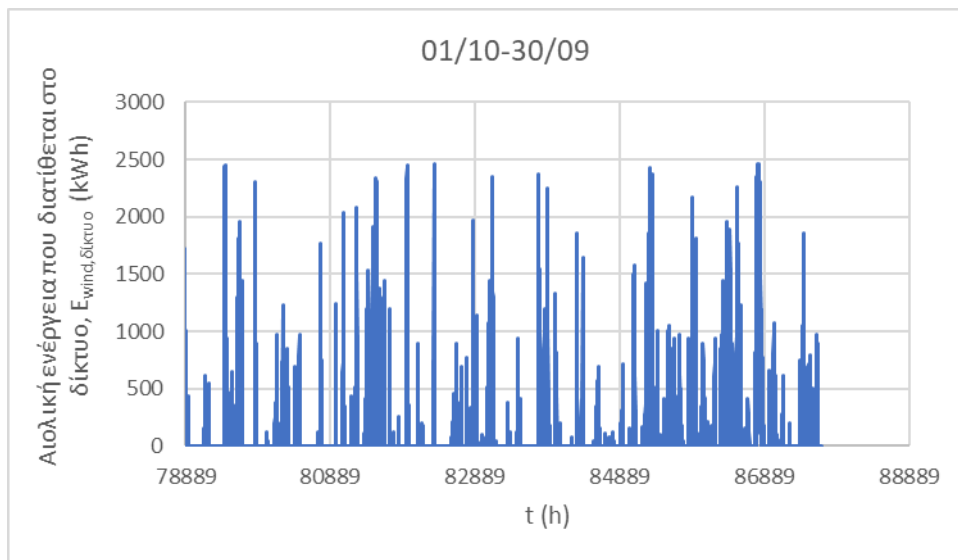


Σχήμα 6.17 Χρονοσειρά μεταβολής καταναλισκόμενης αιολικής ενέργειας 2^{ης} λύσης.



Σχήμα 6.18 Χρονοσειρά μεταβολής καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ 2^{ης} λύσης.

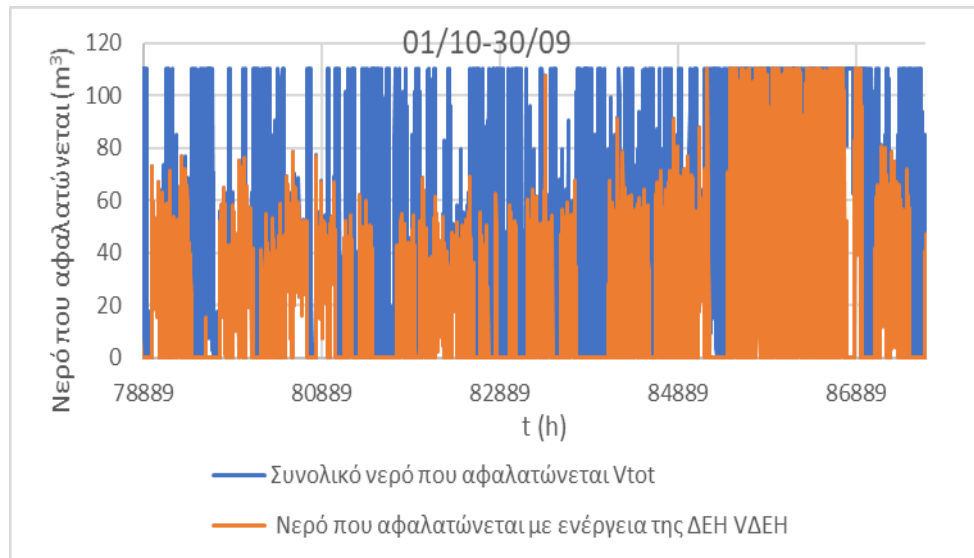
Στο Σχήμα 6.19 απεικονίζεται η χρονοσειρά της αιολικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο κατά τη διάρκεια του έτους, η οποία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Το γεγονός αυτό αντανακλά και τη μεταβλητότητα του ανέμου σε ωριαία βάση.



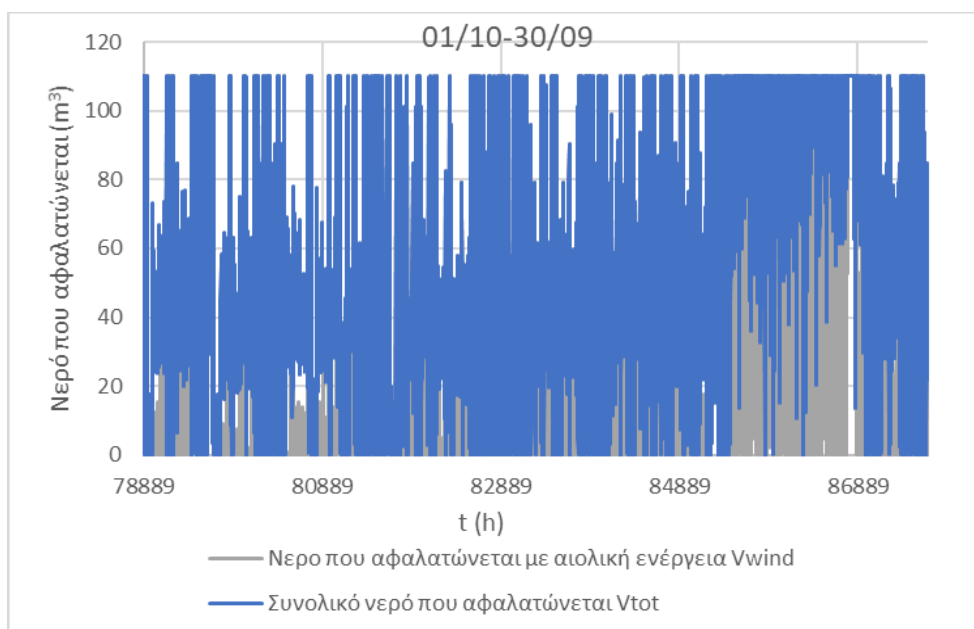
Σχήμα 6.19 Χρονοσειρά μεταβολής αιολικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο 2^{ης} λύσης.

Στα Σχήματα 6.20 και 6.21 φαίνεται η διακύμανση του συνολικού αφαλατωμένου νερού σε ετήσια βάση. Παρατηρείται ότι κατά τη διάρκεια του έτους μεταφέρεται συχνά το μέγιστο νερό που δύναται ($110 \text{ m}^3/\text{h}$). Σε εκείνα τα βήματα, το νερό παράγεται

καταναλώνοντας μόνο αιολική ενέργεια, το οποίο σημαίνει ότι η διαθεσιμότητα της είναι αρκετά υψηλή. Την περίοδο, όμως, του καλοκαιριού αφαλατώνεται νερό ταυτόχρονα με αιολική ενέργεια και ενέργεια της ΔΕΗ.

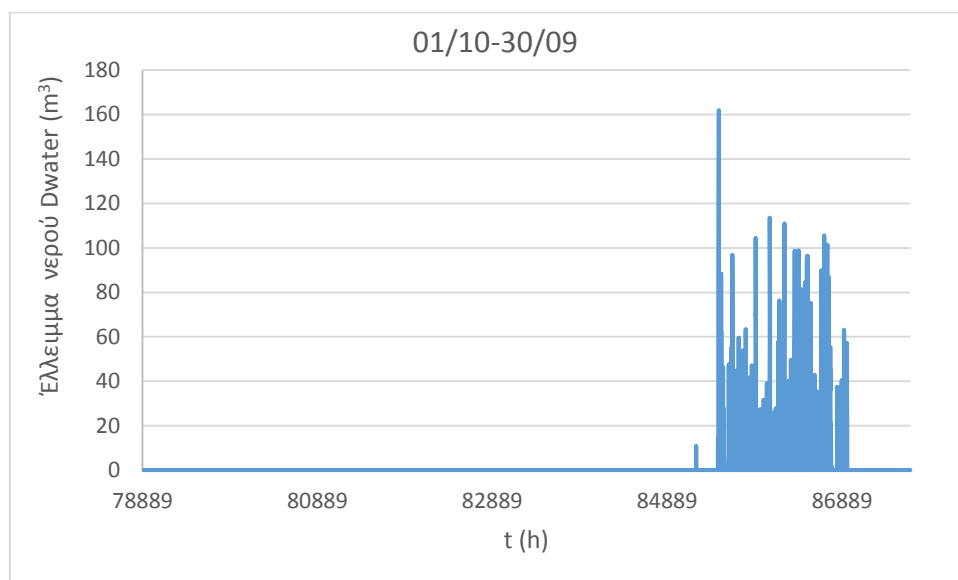


Σχήμα 6.20 Χρονοσειρά μεταβολής συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερού που αφαλατώνεται με ΔΕΗ 2^{ης} λύσης.



Σχήμα 6.21 Χρονοσειρά μεταβολής συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερού που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια 2^{ης} λύσης.

Το τελευταίο ετήσιο διάγραμμα είναι αυτό του ελλείμματος. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.22, κατά τη διάρκεια του έτους δεν εμφανίζονται υδατικά ελλείμματα παρά μόνο την περίοδο του καλοκαιριού, τα οποία, όμως, είναι αρκετά συχνά. Φαίνεται, μάλιστα, ότι οι τιμές των ελλειμμάτων είναι ιδιαίτερα υψηλές και ξεπερνούν συχνά τα $100 \text{ m}^3/\text{h}$.



Σχήμα 6.22 Χρονοσειρά μεταβολής ελλείμματος νερού 2^{ης} λύσης.

6.4. 3^η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δεικτών αξιολόγησης και χαρακτηριστικών μεγεθών λειτουργίας του συστήματος που αφορούν την τρίτη διαχειριστική λύση.

Πίνακας 6.3 Τιμές Δεικτών Αξιολόγησης 3^{ης} Λύσης.

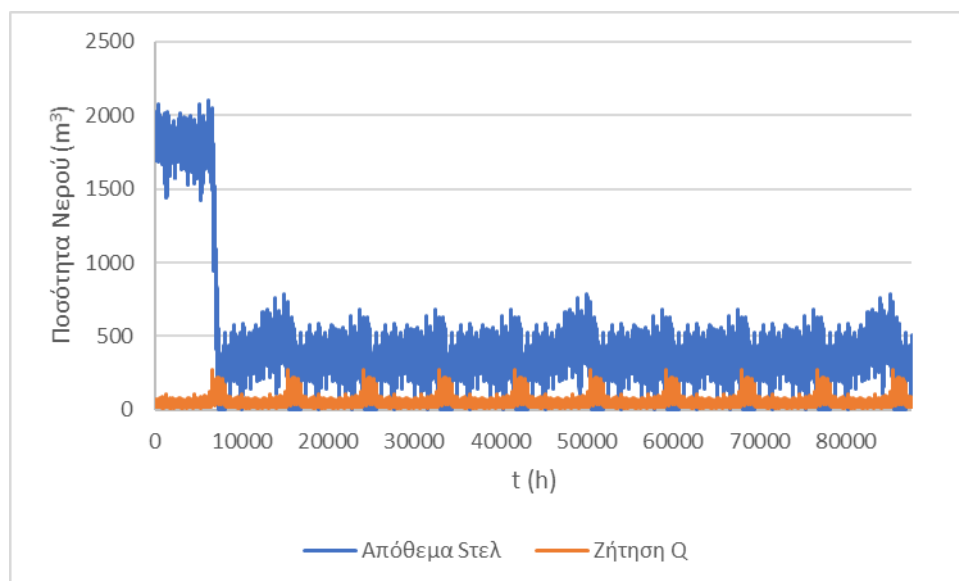
Δείκτες	Τιμή
Σύνολο Αστοχιών-ελλειμμάτων, HD (h)	1,607
Ποσοστό χρόνου εμφάνισης ελλειμμάτων	2%
Αξιοπιστία Αφαλάτωσης, a	98%
Ποσοστό χρόνου $S_{\text{τελ}} < 100$, p_{s100}	6%
Ποσοστό χρόνου $S_{\text{τελ}} = 0$, p_{s0}	2%
Μέσο ετήσιο έλλειμμα AD_{water} (m ³)	4,985
Μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια, AV_{wind} (m ³)	178,554
Μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται με ενέργεια της ΔΕΗ, $AV_{\text{ΔΕΗ}}$ (m ³)	286,017
Συνολικό μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται, AV_{tot} (m ³)	464,571
Ποσοστό συμμετοχής αιολικής ενέργειας σε ετήσια παραγωγή νερού, $p_{\text{water,wind}}$	38%
Μέση ετήσια καταναλισκόμενη αιολική ενέργεια για αφαλάτωση, AE_{wind} (kWh)	714,217
Μέση ετήσια αιολική ενέργεια που διατίθεται στο δίκτυο, $AE_{\text{wind,δίκτυο}}$ (kWh)	1,589,790
Μέση ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια ΔΕΗ για αφαλάτωση, $AE_{\text{ΔΕΗ}}$ (kWh)	1,144,067
Ποσοστό χρόνου αιολικής ενέργειας, p_{wind}	62%
Ποσοστό χρόνου ενέργειας ΔΕΗ, $p_{\text{ΔΕΗ}}$	72%
Ποσοστό χρόνου μηδενικής καταναλισκόμενης ενέργειας (δεν αφαλατώνεται καθόλου νερό) p_{EO}	0%
Ποσοστό χρόνου καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ για μη μηδενική αιολική, $p_{\text{ΔΕΗ+wind}}$	34%
Ποσοστό χρόνου καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ για μηδενική αιολική, $p_{\text{ΔΕΗ,wind0}}$	38%
Ποσοστό χρόνου μηδενικής παραγόμενης αιολικής ενέργειας	38%
Μέσο ετήσιο λειτουργικό κόστος αφαλάτωσης, $AC_{\text{ΛΕΙΤ.}}$ (€)	232,095
Μέσο ετήσιο κόστος ενέργειας ΔΕΗ αφαλάτωσης, $AC_{\text{ΔΕΗ}}$ (€)	114,313
Μέσο ετήσιο κόστος μεταφοράς βυτίων, $AC_{\text{βυτίων}}$ (€)	24,904
Μέσο ετήσιο κόστος από ρήτρα, $AC_{\text{ρήτρα}}$ (€)	6,805
Συνολικό μέσο ετήσιο κόστος, AC (€)	378,117
Μέσο ετήσιο έσοδο αφαλάτωσης, AR_{water} (€)	877,600
Μέσο ετήσιο έσοδο αιολικής ενέργειας, AR_{Swind} (€)	142,964
Συνολικό μέσο ετήσιο έσοδο συστήματος, ARs (€)	1,020,563

Διαγράμματα 10 χρόνων

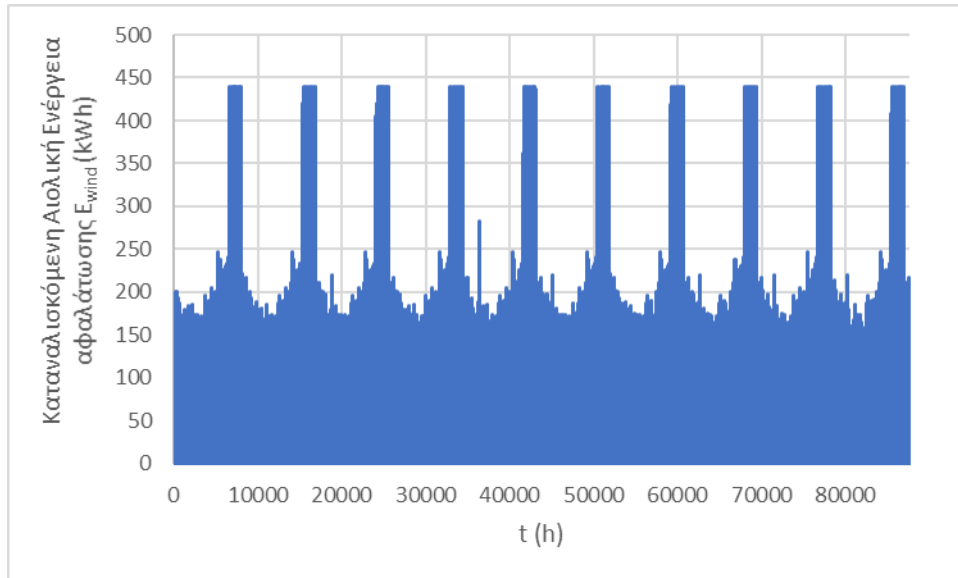
Παρακάτω παρατίθενται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα που αφορούν την προσομοίωση της 3^{ης} διαχειριστικής λύσης που πραγματοποιήθηκε για το διάστημα 10 χρόνων σε χρονικό βήμα 1h (87,600 τιμές).

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή του αποθέματος κατά τη διάρκεια των 10 ετών. Αυτό φαίνεται να είναι σε υψηλά επίπεδα για τον πρώτο χρόνο αφού κατά την έναρξη της προσομοίωσης έχει θεωρηθεί υψηλό ($S_0=2,000 \text{ m}^3$). Στα επόμενα χρόνια το απόθεμα ελαττώνεται αλλά κατά τη διάρκεια των 10 χρόνων της προσομοίωσης φαίνεται να παρουσιάζει τις ίδιες αυξομειώσεις ανά χρόνο. Σημειώνεται ότι το απόθεμα ($S_{\text{τελ}}$) στις δεξαμενές ελαττώνεται ή και μηδενίζεται τις χρονικές στιγμές που η ζήτηση (Q) είναι ιδιαίτερα υψηλή. Όπως φαίνεται, επίσης, από το διάγραμμα, το απόθεμα νερού στις δεξαμενές αποθήκευσης δε φτάνει η μέγιστη χωρητικότητα τους (V_{max}) καθώς για κάθε ώρα της ημέρας αφαλατώνεται μια σταθερή κατά βάση ποσότητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι δεξαμενές να μη γεμίζουν καθώς δεν εισέρχονται μεγάλες ποσότητες νερού σε αυτές.

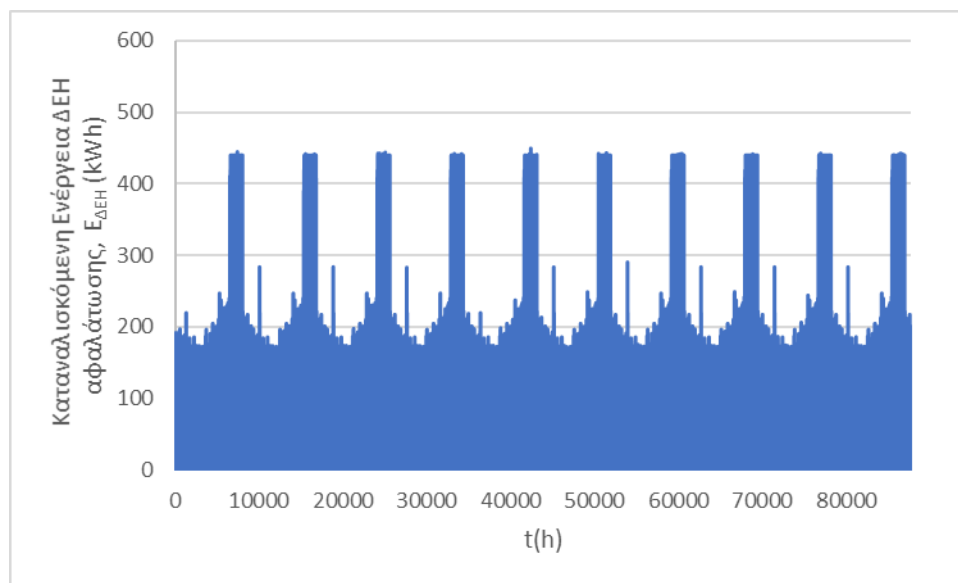
Όπως φαίνεται στα Σχήματα 6.24 και 6.25 η αιολική ενέργεια και η ενέργεια της ΔΕΗ που καταναλώνεται για αφαλάτωση παρουσιάζει μια τάση κατά τη διάρκεια των 10 χρόνων. Μάλιστα, φαίνεται να αυξάνεται κατακόρυφα ανά έτος σε συγκεκριμένα διαστήματα.



Σχήμα 6.23 Χρονοσειρά αποθέματος/ζήτησης νερού 10 ετών 3^{ης} λύσης.

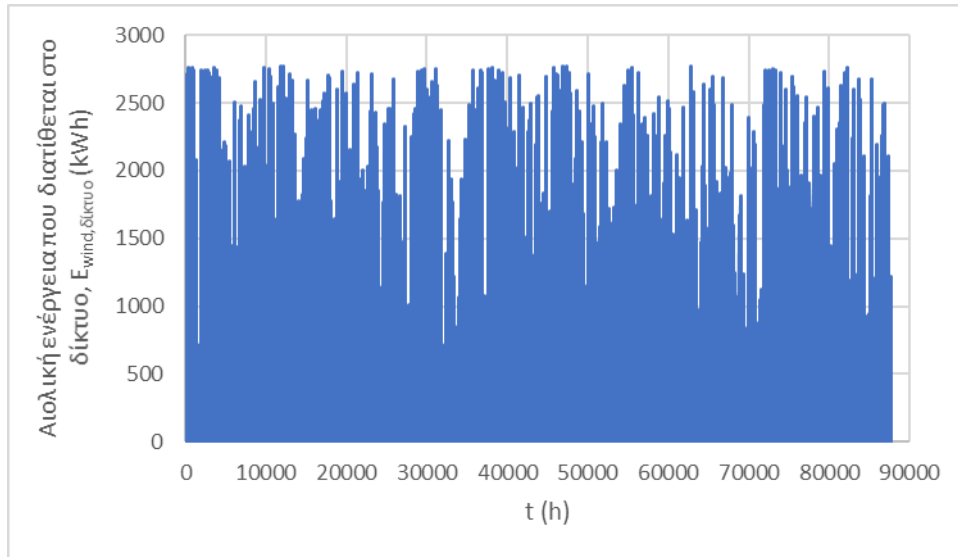


Σχήμα 6.24 Χρονοσειρά καταναλισκόμενης αιολικής ενέργειας 10 ετών 3^{ης} λύσης.



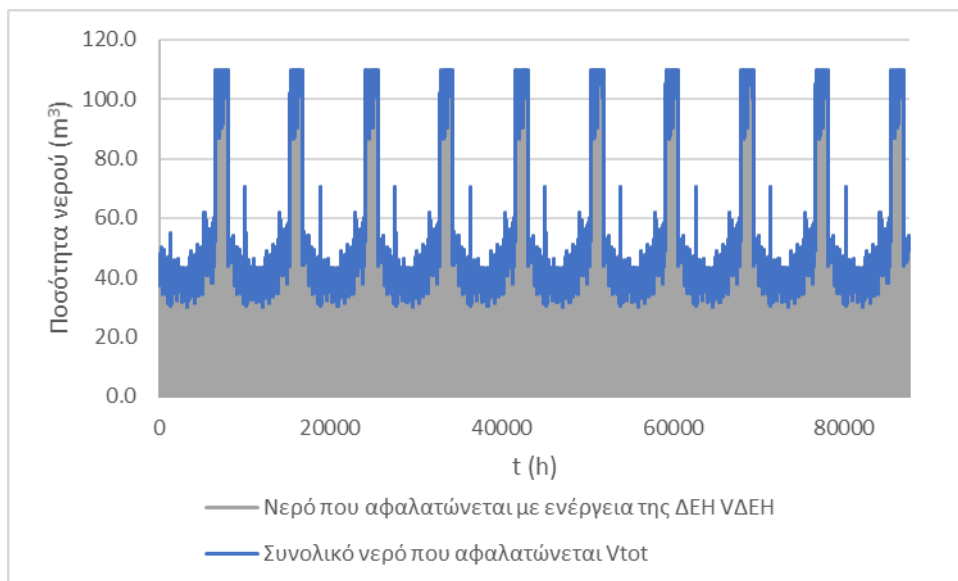
Σχήμα 6.25 Χρονοσειρά καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ 10 ετών 3^{ης} λύσης.

Στο Σχήμα 6.26 παρουσιάζεται η αιολική ενέργεια που διατίθεται στο δίκτυο όταν αυτή δεν δύναται να καταναλωθεί από τη μονάδα αφαλάτωσης ($E_{wind,δίκτυο}$). Σημειώνεται ότι οι ποσότητες αιολικής ενέργειας που διατίθενται στο δίκτυο είναι αρκετά υψηλά.

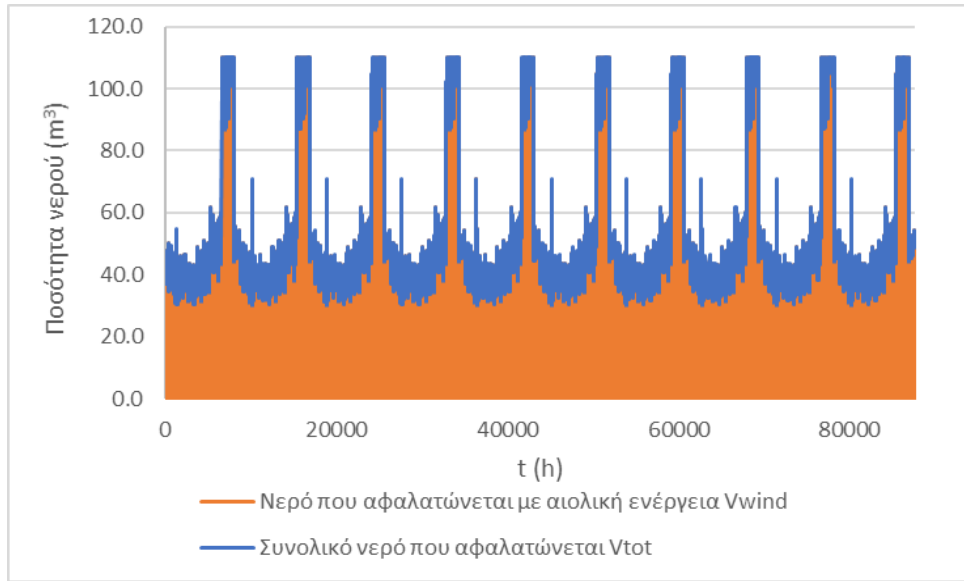


Σχήμα 6.26 Χρονοσειρά αιολικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο 10 ετών 3^{ης} λύσης.

Όπως φαίνεται στα Σχήματα 6.27 και 6.28 το συνολικό νερό που αφαλατώνεται κατά τη διάρκεια των 10 ετών παρουσιάζει μια τάση. Μάλιστα, κατά τη διάρκεια των 10 ετών παράγεται συνεχώς αφαλατωμένο νερό ενώ παρατηρείται κάθε χρόνο σε συγκεκριμένα διαστήματα η παραγωγή του να αυξάνεται ραγδαία. Για εκείνα τα διαστήματα φαίνεται να υπάρχει ταυτόχρονη παραγωγή νερού με κατανάλωση αιολικής και ενέργειας της ΔΕΗ.

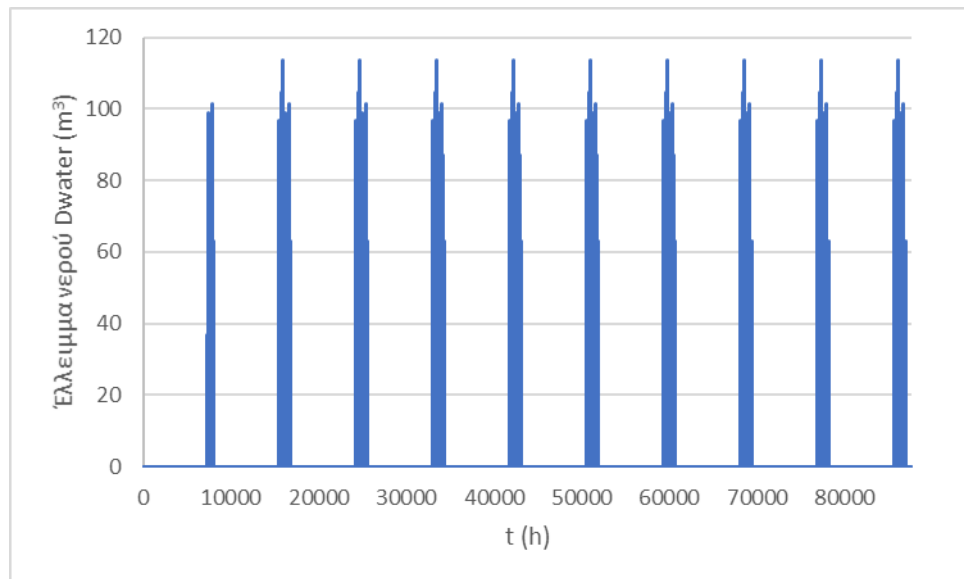


Σχήμα 6.27 Χρονοσειρά συνολικού νερού/νερού που αφαλατώνεται με ΔΕΗ 10 ετών 3^{ης} λύσης.



Σχήμα 6.28 Χρονοσειρά συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερού που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια 10 ετών 3^{ης} λύσης.

Στο Σχήμα 6.29 παρουσιάζονται τα υδατικά ελλείμματα D_{water} που προκύπτουν όταν το σύστημα δεν δύναται να καλύψει τη ζήτηση νερού. Φαίνεται ότι η μονάδα αφαλάτωσης δεν παρουσιάζει πολλά ελλείμματα κατά τη λειτουργία της, με εξαίρεση συγκεκριμένα διαστήματα. Τα ελλείμματα αυτά είναι της τάξης των 100 m^3 περίπου.

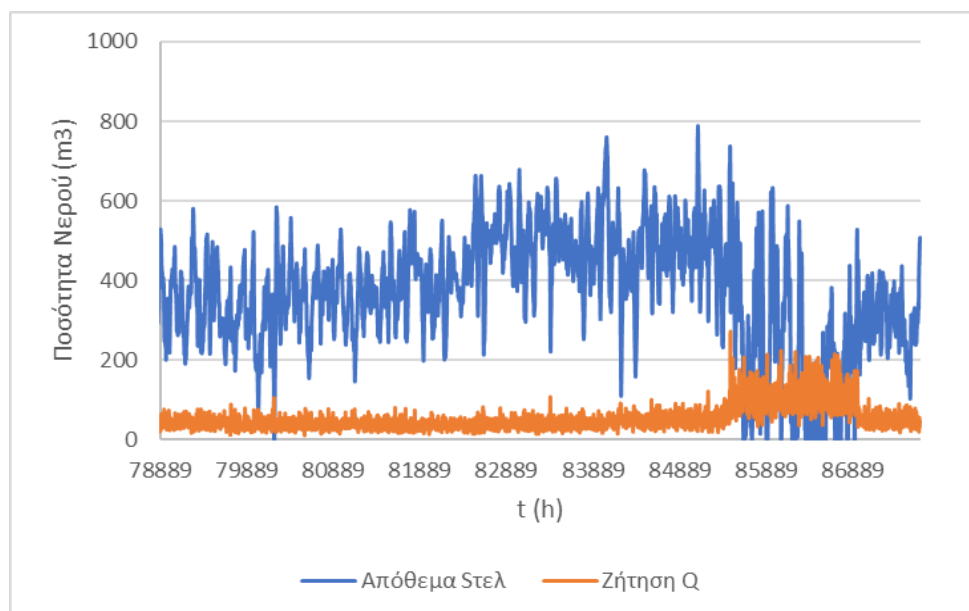


Σχήμα 6.29 Χρονοσειρά ελλείμματος νερού 10 ετών 3^{ης} λύσης.

Διαγράμματα τελευταίου έτους προσομοίωσης

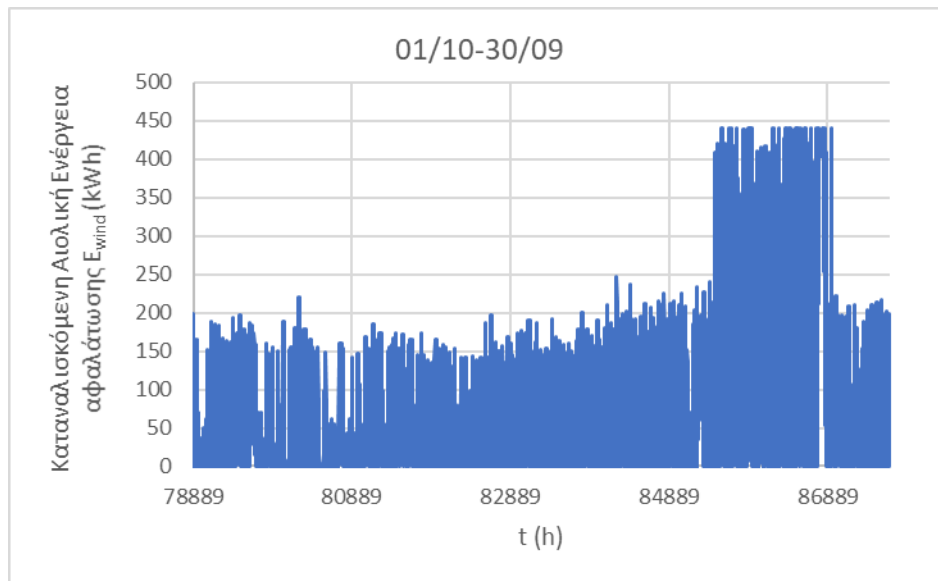
Στη συνέχεια παρατίθενται τα ετήσια διαγράμματα που αφορούν την προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε για το τελευταίο υδρολογικό έτος από 01/10 έως 30/09 σε χρονικό βήμα 1h (8,760 τιμές), ώστε να είναι πιο εμφανής η μεταβολή των μεγεθών κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Στο σχήμα 6.30 φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια του έτους οι δεξαμενές αποθήκευσης νερού έχουν απόθεμα, αφού σύμφωνα με τη συγκεκριμένη λύση σε κάθε χρονικό βήμα αφαλατώνεται μια ποσότητα νερού. Μόνο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η στάθμη τους ελαττώνεται και φτάνει ακόμη και το μηδέν όταν η εκροή νερού είναι υψηλή, ώστε να καλυφθεί η ζήτηση η οποία αυξάνεται αισθητά εκείνη την περίοδο.

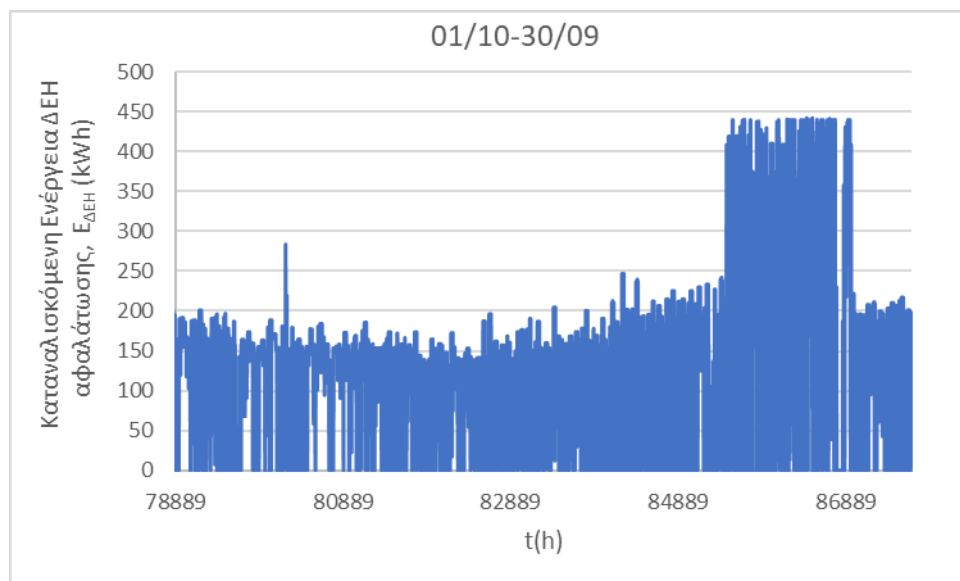


Σχήμα 6.30 Χρονοσειρά μεταβολής αποθέματος/ζήτησης νερού 3^{ης} λύσης.

Στα Σχήματα 6.31 και 6.32 φαίνεται ότι υπάρχει ταυτόχρονη κατανάλωση αιολικής ενέργειας και ενέργειας από το δίκτυο της ΔΕΗ τόσο την καλοκαιρινή περίοδο όσο και κατά τη διάρκεια του υπόλοιπου έτους. Επίσης, τα διαστήματα που δε χρησιμοποιείται αιολική ενέργεια για την αφαλάτωση, χρησιμοποιείται ενέργεια της ΔΕΗ ώστε να παραχθεί η ποσότητα νερού που απαιτείται σε κάθε χρονικό βήμα.

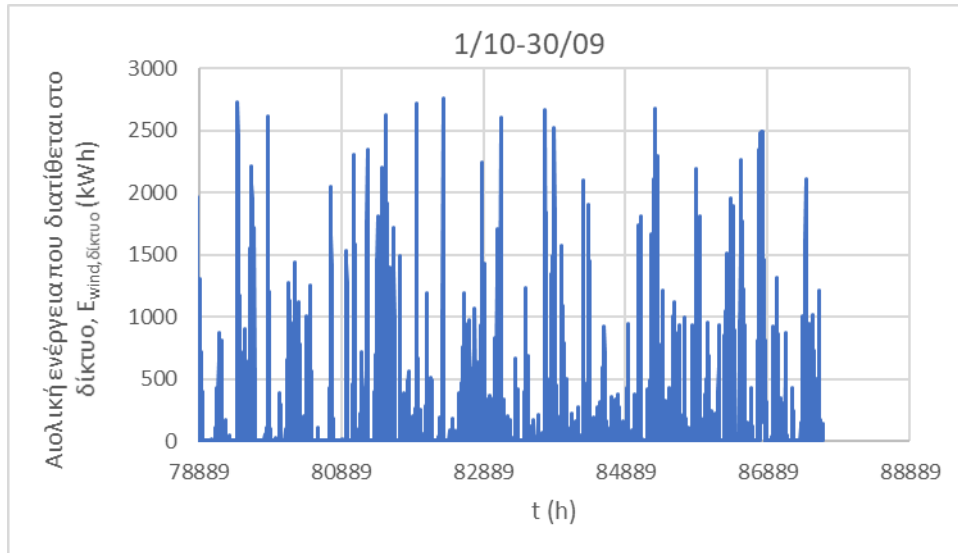


Σχήμα 6.31 Χρονοσειρά μεταβολής καταναλισκόμενης αιολικής ενέργειας 3^{ης} λύσης.



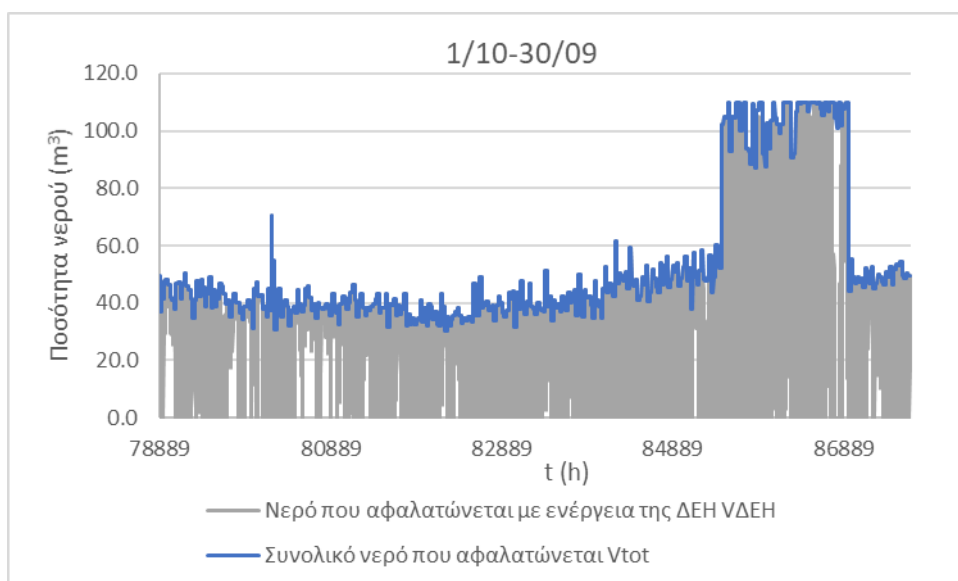
Σχήμα 6.32 Χρονοσειρά μεταβολής καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ 3^{ης} λύσης.

Στο Σχήμα 6.33 απεικονίζεται η σημαντική διακύμανση της αιολικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο κατά τη διάρκεια του έτους, που αποτυπώνει και τη μεταβλητότητα του ανέμου σε ωριαία βάση.

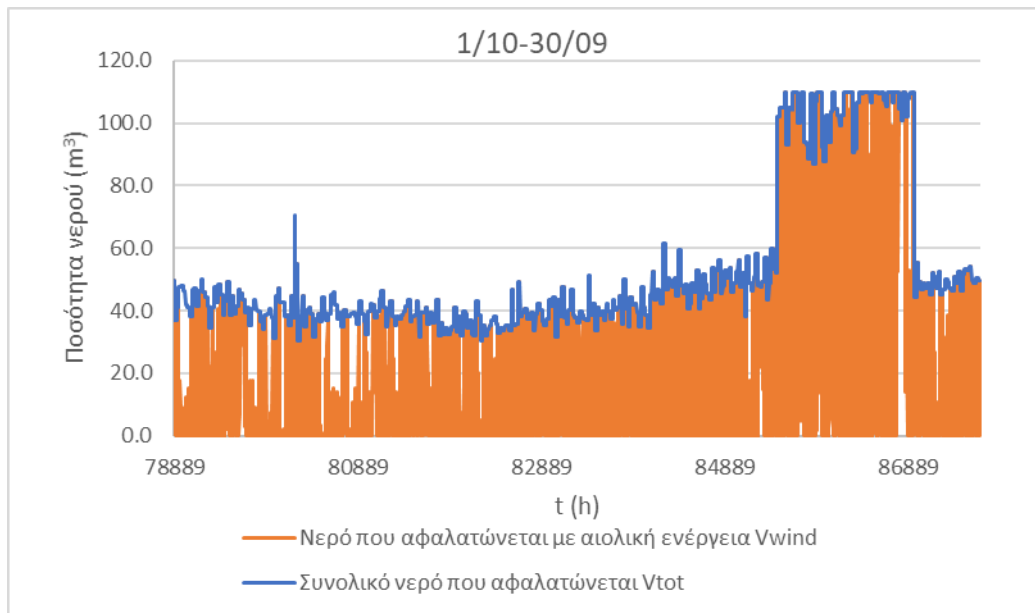


Σχήμα 6.33 Χρονοσειρά μεταβολής αιολικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο 3^{ης} λύσης.

Στο Σχήμα 6.34 φαίνεται ότι αφαλατώνεται και μεταφέρεται σε κάθε χρονικό βήμα νερό με σχετικά σταθερό ρυθμό. Η παραγωγή του νερού αυξάνεται ραγδαία τους καλοκαιρινούς μήνες που φτάνει ακόμη και τη μέγιστη παροχτευτικότητα των 110 m³/h ενώ τον υπόλοιπο χρόνο αφαλατώνονται αρκετά μικρότερες ποσότητες νερού, της τάξης των 50 m³/h περίπου. Μάλιστα, για μεγάλο διάστημα του έτους φαίνεται να αφαλατώνεται νερό και με κατανάλωση αιολικής αλλά και με κατανάλωση ενέργειας της ΔΕΗ, το οποίο σημαίνει ότι κάποιες ώρες η παραγόμενη αιολική ενέργεια δεν επαρκεί για να αφαλατωθεί η ποσότητα νερού που έχει θεωρηθεί ότι απαιτείται.

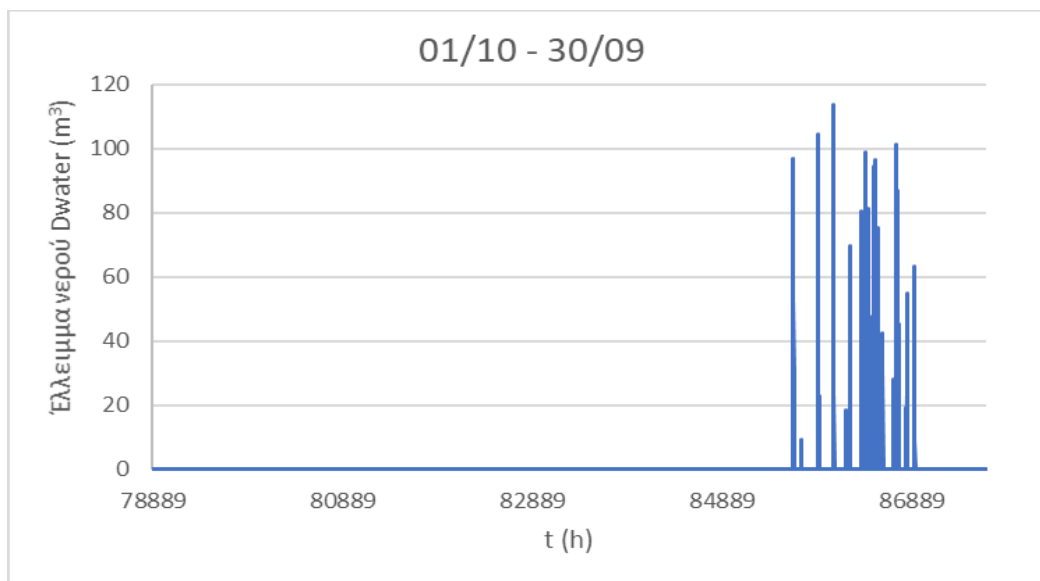


Σχήμα 6.34 Χρονοσειρά μεταβολής συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερού που αφαλατώνεται με ΔΕΗ 3^{ης} λύσης.



Σχήμα 6.35 Χρονοσειρά μεταβολής συνολικού αφαλατωμένου νερού/νερου που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια 3^{ης} λύσης.

Στο Σχήμα 6.36 παρουσιάζεται η μεταβολή του ελλείμματος κατά τη διάρκεια του έτους. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, τα υδατικά ελλείμματα εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών όταν η ζήτηση νερού είναι ιδιαίτερα υψηλή. Κατά τη διάρκεια του υπόλοιπου έτους είναι μηδενικά, το οποίο σημαίνει ότι η μονάδα καλύπτει επαρκώς τη ζήτηση του νερού.



Σχήμα 6.36 Χρονοσειρά μεταβολής ελλείμματος νερού 3^{ης} λύσης.

6.5. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΛΥΣΕΩΝ

Στον Πίνακα 6.4 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που αφορούν τους τεχνοοικονομικούς δείκτες και τα χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας του συστήματος για την κάθε λύση.

Πίνακας 6.4 Συγκεντρωτικός Πίνακας Τιμών Αξιολόγησης των λύσεων.

Δείκτες/Λύσεις	S1	S2	S3
Σύνολο Αστοχιών-ελλειμμάτων, HD (h)	1,607	5,426	1,607
Ποσοστό χρόνου εμφάνισης ελλειμμάτων	2%	6%	2%
Αξιοπιστία Αφαλάτωσης, a	98%	94%	98%
Ποσοστό χρόνου $S_{TEΛ}<100$, p_{s100}	6%	51%	6%
Ποσοστό χρόνου $S_{TEΛ}=0$, p_{s0}	2%	42%	2%
Μέσο ετήσιο έλλειμμα, AD_{water} (m ³)	4,985	12,842	4,985
Μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια, AV_{wind} (m ³)	0	276,288	178,554
Μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται με ενέργεια της ΔΕΗ, $AV_{ΔΕΗ}$ (m ³)	464,571	180,374	286,017
Συνολικό μέσο ετήσιο νερό που αφαλατώνεται, AV_{tot} (m ³)	464,571	456,663	464,571
Ποσοστό συμμετοχής αιολικής ενέργειας σε ετήσια παραγωγή νερού, $p_{water,wind}$	0	61%	38%
Μέση ετήσια καταναλισκόμενη αιολική ενέργεια για αφαλάτωση, AE_{wind} (kWh)	0	1,105,153	714,217
Μέση ετήσια αιολική ενέργεια που διατίθεται στο δίκτυο, $AE_{wind,δίκτυο}$ (kWh)	0	1,198,854	1,589,790
Μέση ετήσια καταναλισκόμενη ενέργεια ΔΕΗ για αφαλάτωση, $AE_{ΔΕΗ}$ (kWh)	1,858,284	721,497	1,144,067
Ποσοστό χρόνου αιολικής ενέργειας, p_{wind}	0%	62%	62%
Ποσοστό χρόνου ενέργειας ΔΕΗ, $p_{ΔΕΗ}$	100%	41%	72%
Ποσοστό χρόνου μηδενικής καταναλισκόμενης ενέργειας (δεν αφαλατώνεται καθόλου νερό) p_{E0}	0%	15%	0%
Ποσοστό χρόνου καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ για μη μηδενική αιολική, $p_{ΔΕΗ+wind}$	0%	18%	34%
Ποσοστό χρόνου καταναλισκόμενης ενέργειας ΔΕΗ για μηδενική αιολική, $p_{ΔΕΗ,wind0}$	100%	23%	38%
Ποσοστό χρόνου μηδενικής παραγόμενης αιολικής ενέργειας	100%	38%	38%
Μέσο ετήσιο λειτουργικό κόστος αφαλάτωσης, $AC_{ΛΕΙΤ.}$ (€)	232,095	228,144	232,095
Μέσο ετήσιο κόστος ενέργειας ΔΕΗ αφαλάτωσης, $AC_{ΔΕΗ}$ (€)	185,676	72,090	114,313
Μέσο ετήσιο κόστος μεταφοράς βυτίων, $AC_{βυτίων}$ (€)	24,904	64,160	24,904
Μέσο ετήσιο κόστος από ρήτρα, $AC_{ρήτρα}$ (€)	6,805	82,742	6,805
Συνολικό μέσο ετήσιο κόστος, AC (€)	449,480	447,136	378,117
Μέσο ετήσιο έσοδο αφαλάτωσης, $AR_{s_{water}}$ (€)	877,600	862,761	877,600
Μέσο ετήσιο έσοδο αιολικής ενέργειας, $AR_{s_{wind}}$ (€)	0	107,808	142,964
Συνολικό μέσο ετήσιο έσοδο συστήματος, ARs (€)	877,600	970,570	1,020,563

Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση των λύσεων 2 και 3, δεδομένου ότι η 1^η διαχειριστική λύση αναφέρεται σε ένα υποθετικό σενάριο μηδενικής παραγωγής αιολικής ενέργειας.

Από τον παραπάνω πίνακα, παρατηρείται ότι για την τρίτη διαχειριστική λύση η αξιοπιστία κάλυψης της ζήτησης από τη μονάδα αφαλάτωσης είναι υψηλή ενώ το σύνολο των ελλειμμάτων που εμφανίζονται είναι μικρό, καθώς έχει θεωρηθεί για κάθε χρονικό βήμα να αφαλατώνεται μια συγκεκριμένη ποσότητα νερού ανεξάρτητα του είδους της καταναλισκόμενης ενέργειας. Τα ελλείμματα που εμφανίζονται στη δεύτερη λύση, όμως, είναι εμφανώς περισσότερα, επομένως και η αξιοπιστία είναι χαμηλότερη, καθώς η ποσότητα που αφαλατώνεται σε κάθε χρονικό βήμα εξαρτάται αποκλειστικά από την παραγόμενη αιολική ενέργεια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν ώρες που δεν αφαλατώνεται κάποια ποσότητα νερού ή αυτή να είναι πολύ μικρή (όταν υπάρχει μικρή ή και μηδενική παραγόμενη αιολική), με αποτέλεσμα η στάθμη στις δεξαμενές να ελαττώνεται συνεχώς και να μην μπορεί να καλυφθεί η ζήτηση νερού. Όπως, μάλιστα, φαίνεται και στον πίνακα, για τη 2^η λύση το 40% του συνολικού χρόνου προσομοίωσης η στάθμη στις δεξαμενές νερού είναι μηδενική σε αντίθεση με την 3^η λύση όπου είναι της τάξης του 2%. Κατά την τρίτη διαχειριστική λύση του συστήματος προστίθεται συνεχώς νερό στις δεξαμενές με αποτέλεσμα η στάθμη να κυμαίνεται γενικά σε υψηλά επίπεδα και επομένως το σύστημα να ανταποκρίνεται καλύτερα στις περιπτώσεις υψηλής ζήτησης.

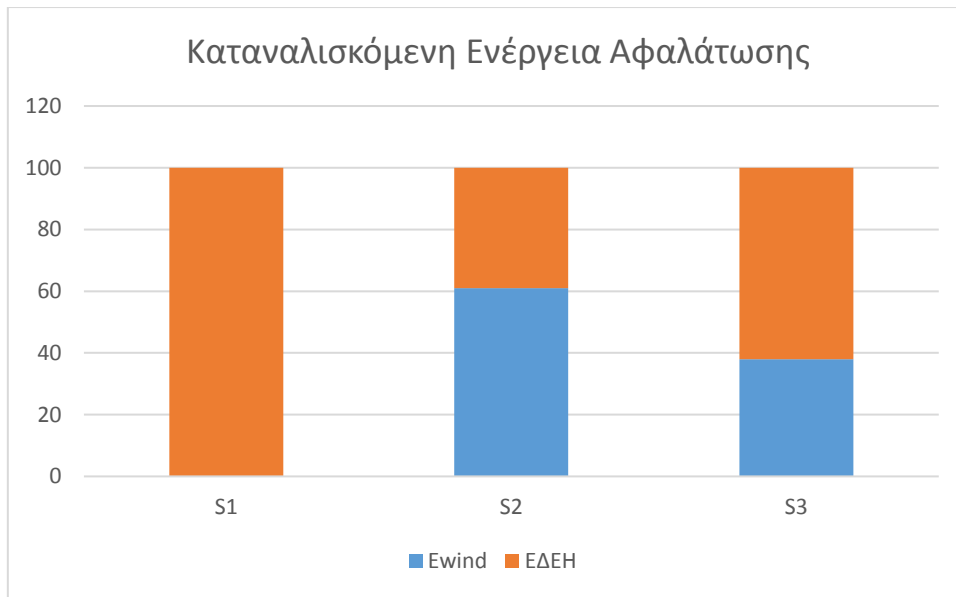
Επίσης, όσον αφορά την ποσότητα του νερού που αφαλατώνεται, στην 3^η λύση είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τη 2^η. Στη 2^η λύση, η μονάδα αφαλάτωσης, για το μεγαλύτερο μέρος παραγωγής του νερού, καταναλώνει αιολική ενέργεια κάτι το οποίο διαπιστώνεται και από την υψηλή μέση ετήσια καταναλισκόμενη αιολική ενέργεια (Σχήμα 6.37 και Σχήμα 6.38) και το ποσοστό του χρόνου της αιολικής. Κατά τη λειτουργία της 2^{ης} λύσης, όταν η διαθεσιμότητα της αιολικής ενέργειας είναι υψηλή, αφαλατώνεται το μέγιστο δυνατό νερό, επομένως καταναλώνονται και μεγάλα ποσοστά αυτής της ενέργειας. Στην 3^η λύση, όμως, η μονάδα καταναλώνει ετησίως μεγάλες ποσότητες ενέργειας της ΔΕΗ και μικρότερες αιολικής (Σχήματα 6.37 και 6.38), καθώς σε κάθε βήμα, ανεξάρτητα με τη διαθεσιμότητα της παραγόμενης αιολικής ενέργειας, αφαλατώνει μια συγκεκριμένη ποσότητα νερού. Φαίνεται, μάλιστα, και στον Πίνακα 6.4 ότι για ένα ποσοστό του χρόνου καταναλώνεται ταυτόχρονα αιολική ενέργεια και ενέργεια του δικτύου της ΔΕΗ, όταν η ενέργεια που παράγεται από τις Α/Γ δεν επαρκεί. Σημειώνεται ότι στη 2^η και 3^η λύση το ποσοστό του χρόνου της αιολικής ενέργειας είναι το ίδιο και για τις δύο λύσεις καθώς σε κάθε

βήμα που παράγεται ενέργεια από τις Α/Γ, αυτή αξιοποιείται στο μέγιστο που δύναται για την κάθε λύση. Για την 3^η λύση, για όλο το ποσοστό του χρόνου που οι Α/Γ δεν παράγουν ενέργεια (p=38%), η μονάδα τροφοδοτείται από το δίκτυο της ΔΕΗ προκειμένου να αφαλατώσει την απαιτούμενη ποσότητα. Στη 2^η λύση, αντίθετα, η μονάδα αφαλάτωσης δε χρησιμοποιεί ενέργεια της ΔΕΗ κάθε φορά που οι Α/Γ δεν παράγουν ενέργεια, αλλά μόνο όταν δεν μπορεί να καλύψει τη ζήτηση και δημιουργείται έλλειμμα (p=23%).

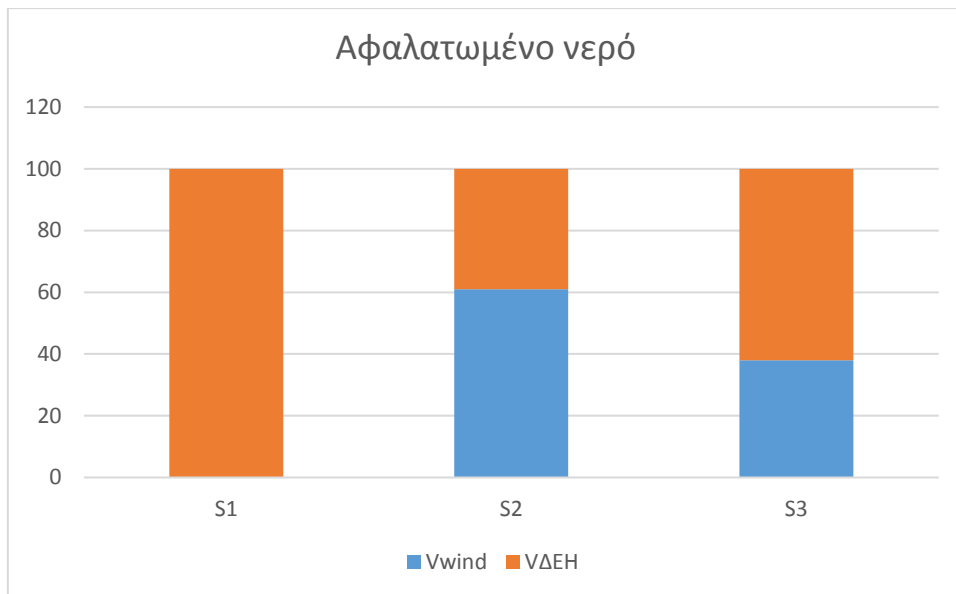
Επισημαίνεται ότι και για τις δύο λύσεις το ποσό της αιολικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο, όταν αυτή δεν μπορεί να καταναλωθεί για την αφαλάτωση, είναι υψηλό. Στη 2^η λύση, αυτό το ποσό ενέργειας είναι μικρότερο από το αντίστοιχο για την 3^η λύση καθώς το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης αιολικής καταναλώνεται για την αφαλάτωση.

Τέλος, όσον αφορά τα κόστη και έσοδα του συστήματος, σημειώνεται ότι πιο κερδοφόρα λύση φαίνεται να αποτελεί η 3^η καθώς έχει το μικρότερο κόστος και ταυτόχρονα τα περισσότερα έσοδα (Πίνακας 6.4). Η μεγαλύτερη διαφορά ανάμεσα στη 2^η και 3^η λύση αφορά στα κόστη της ρήτρας και το κόστος μεταφοράς βυτίων. Στη 2^η διαχειριστική λύση μεγάλο μέρος του κόστους αφορά τη ρήτρα για κάθε φορά που η στάθμη των δεξαμενών πέφτει κάτω των 100 m³, κάτι το οποίο συμβαίνει συχνά στη συγκεκριμένη λύση. Αντιθέτως, στην 3^η λύση το συγκεκριμένο κόστος είναι εμφανώς μικρότερο αφού μεταφέρεται συνεχώς αφαλατωμένο νερό στις δεξαμενές με αποτέλεσμα η στάθμη να μην πέφτει συχνά κάτω των 100 m³. Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, τα ελλείμματα που εμφανίζονται στη 2^η λύση είναι περισσότερα, επομένως και το κόστος από τη μεταφορά βυτίων μέσω των οποίων έχει θεωρηθεί ότι θα καλυφθούν είναι σαφώς μεγαλύτερο. Επίσης, το κόστος ενέργειας της ΔΕΗ που καταναλώνεται για αφαλάτωση για τη 2^η λύση είναι πολύ μικρότερο με το αντίστοιχο της 3^{ης} καθώς στην τελευταία καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια του δικτύου. Τέλος, το λειτουργικό κόστος κυμαίνεται και για τις δύο λύσεις σε παρόμοια επίπεδα καθώς η συνολική ποσότητα νερού που αφαλατώνεται και μεταφέρεται παρουσιάζει μικρή διαφορά. Στην 3^η λύση, βέβαια, είναι κάπως μεγαλύτερη γιατί αφαλατώνεται και μεγαλύτερη ποσότητα νερού (Σχήμα 6.40).

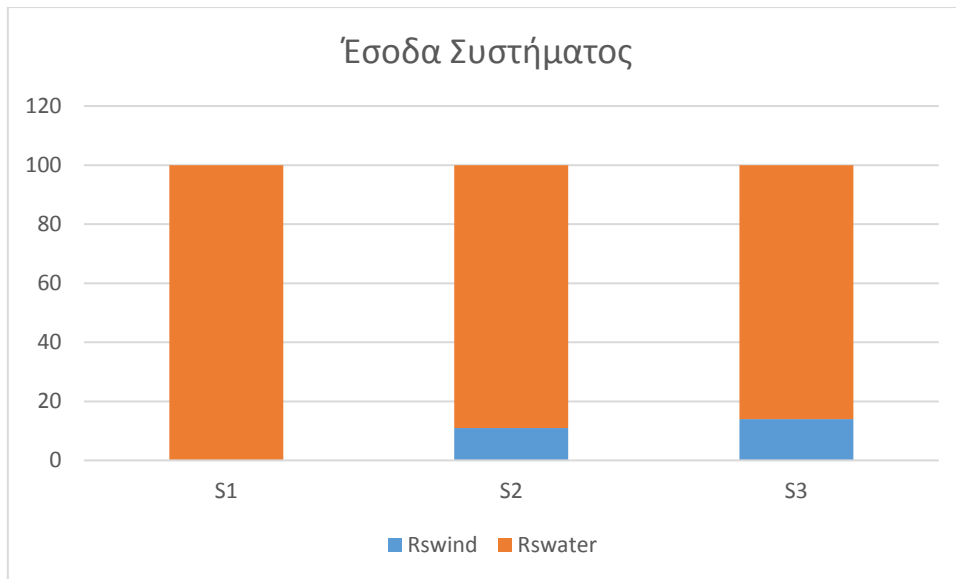
Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα στα οποία παρουσιάζεται η συγκεντρωτικά μεταβολή των πιο χαρακτηριστικών μεγεθών για την κάθε διαχειριστική λύση.



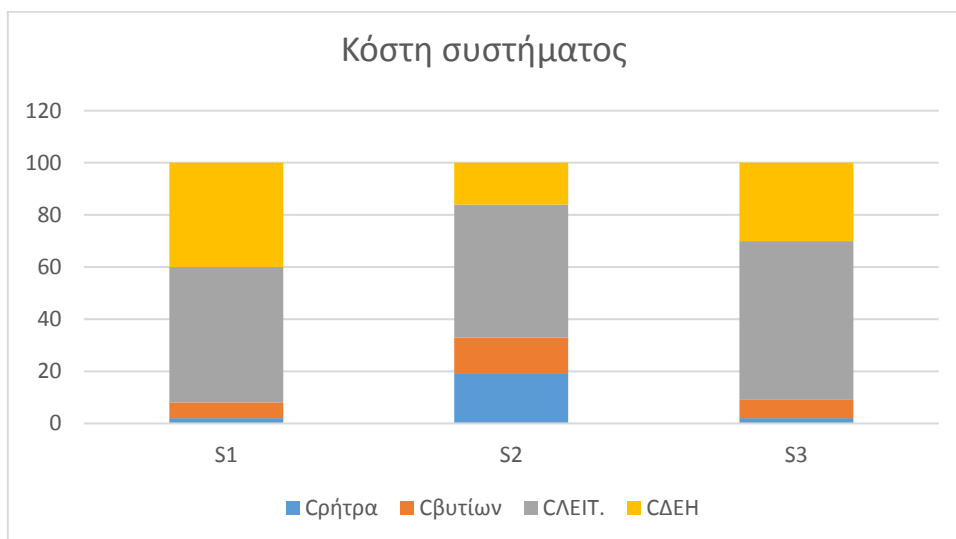
Σχήμα 6.37 Διάγραμμα καταναλισκόμενης ενέργειας αφαλάτωσης τριών λύσεων.



Σχήμα 6.38 Διάγραμμα ποσότητας νερού που αφαλατώνεται τριών λύσεων.



Σχήμα 6.39 Διάγραμμα εσόδων συστήματος τριών λύσεων.



Σχήμα 6.40 Διάγραμμα κόστους συστήματος τριών λύσεων.

6.6. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στη συγκεκριμένη υποενοότητα μελετάται η επίδραση που έχουν οι πιο κύριοι παράμετροι (Πίνακας 6.5) στην λειτουργία του συστήματος. Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για την ανάλυση αφορούν κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος, συγκεκριμένα τη χωρητικότητα της δεξαμενής, την παροχευτικότητα των αντλιών καθώς και τον αριθμό των ανεμογεννητριών, θεωρώντας ότι η δυναμικότητα αφαλάτωσης της μονάδας παραμένει σταθερή. Σημειώνεται ότι όσον

αφορά τις ανεμογεννήτριες θεωρήθηκε ότι το αιολικό πάρκο θα αποτελείται από τα ίδια μοντέλα και ισχύ των ήδη εγκατεστημένων ανεμογεννητριών (Vestas V52-850 kW και Vestas V42-600 kW). Η μεταβολή αφορά τον αριθμό των συγκεκριμένων ανεμογεννητριών.

Πίνακας 6.5 Παράμετροι ανάλυσης.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ
Χωρητικότητα Δεξαμενής αποθήκευσης πόσιμου νερού	V_{\max}
Παροχτευτικότητα Αντλιών	$Q_{\text{αντλιών}}$
Αριθμός Ανεμογεννητριών	n

Αλλάζοντας κάθε φορά την τιμή μιας παραμέτρου διατηρώντας τις υπόλοιπες στις αρχικές τους τιμές, μπορούμε να παρακολουθήσουμε το πώς μεταβάλλονται κάποιοι σημαντικοί δείκτες, όπως το ποσοστό ικανοποίησης των αναγκών σε πόσιμο νερό, το συνολικά κόστη και έσοδα συναρτήσει των κύριων παραμέτρων αλλά και να εντοπίσουμε την παράμετρο που επηρεάζει περισσότερο το σύστημα.

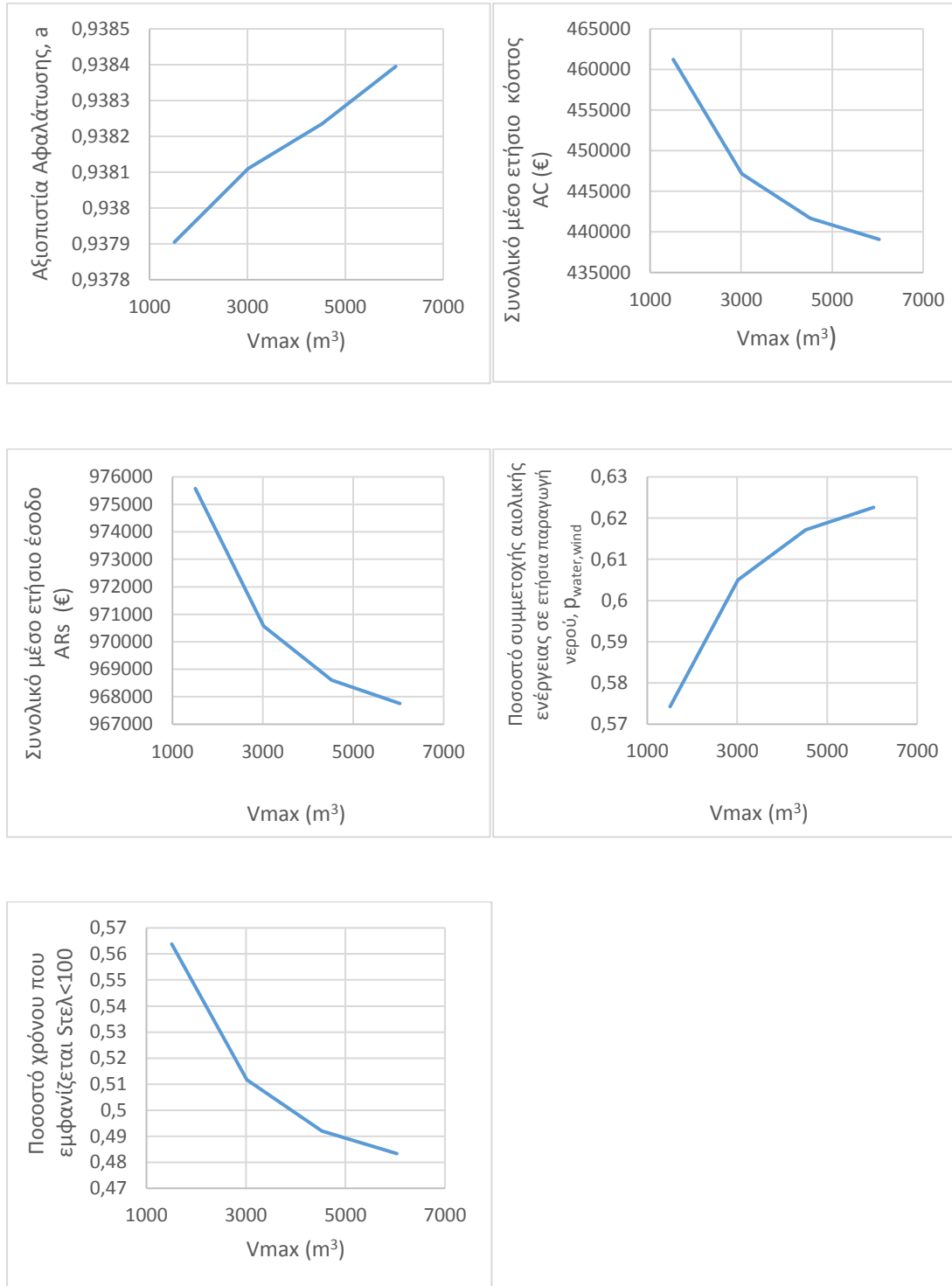
Για τη 2^η και 3^η διαχειριστική λύση, των οποίων τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν παραπάνω, αναλύεται, λοιπόν, η μεταβολή των εξής σημαντικών δεικτών αξιολόγησης, μεταβάλλοντας την τιμή κάθε παραμέτρου ξεχωριστά:

- Αξιοπιστία Αφαλάτωσης, a
- Συνολικό μέσο ετήσιο κόστος, AC
- Συνολικό μέσο ετήσιο έσοδο, ARs
- Ποσοστό συμμετοχής αιολικής ενέργειας στην μέση ετήσια παραγωγή νερού, $p_{\text{water, wind}}$
- Ποσοστό χρόνου που εμφανίζεται $S_{\text{τελ}} < 100$, p_{S100}

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα διαγράμματα για την κάθε παράμετρο συναρτήσει των δεικτών για τη 2^η και 3^η διαχειριστική λύση.

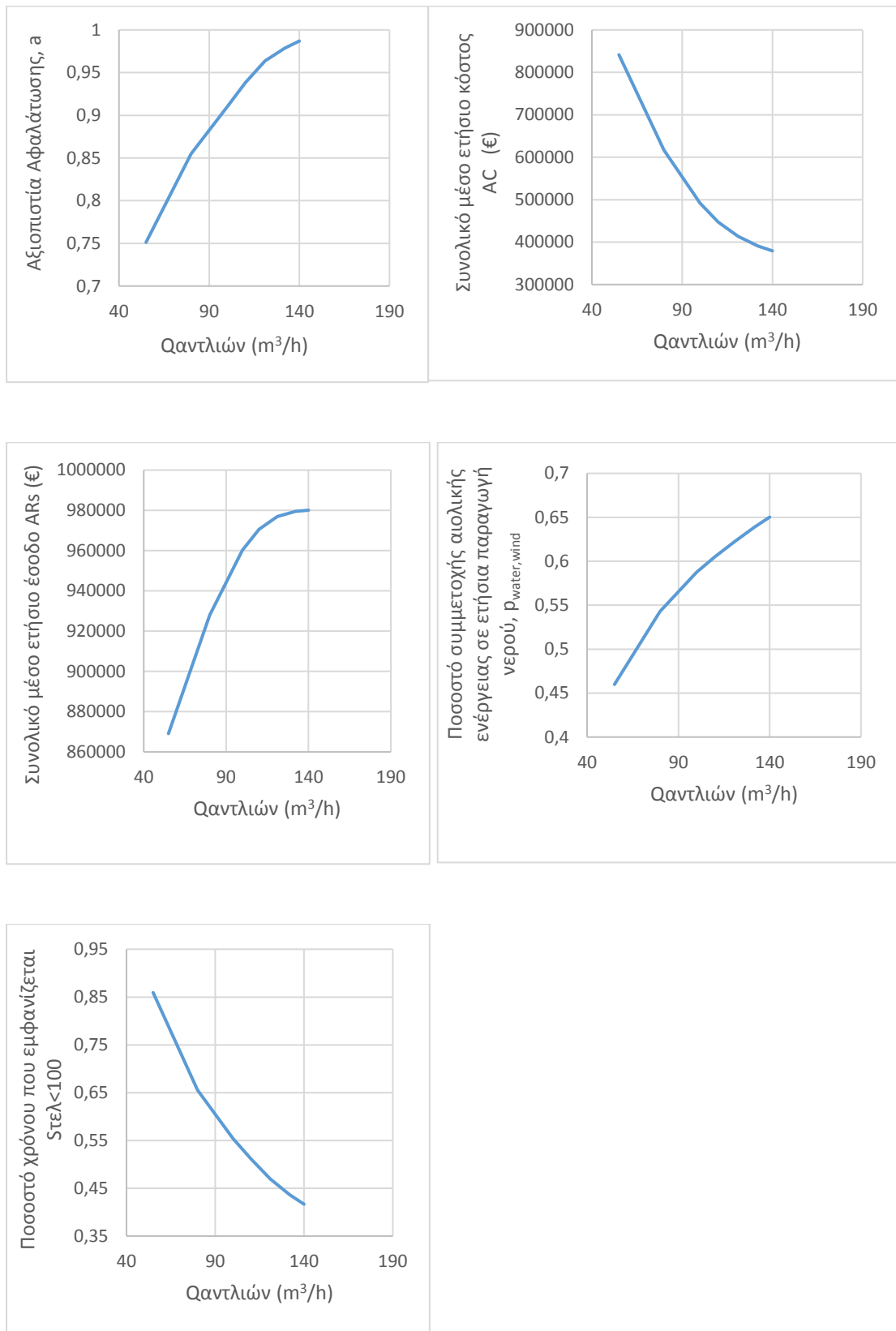
6.6.1. 2^η Διαχειριστική λύση

Χωρητικότητα δεξαμενών νερού, V_{max}



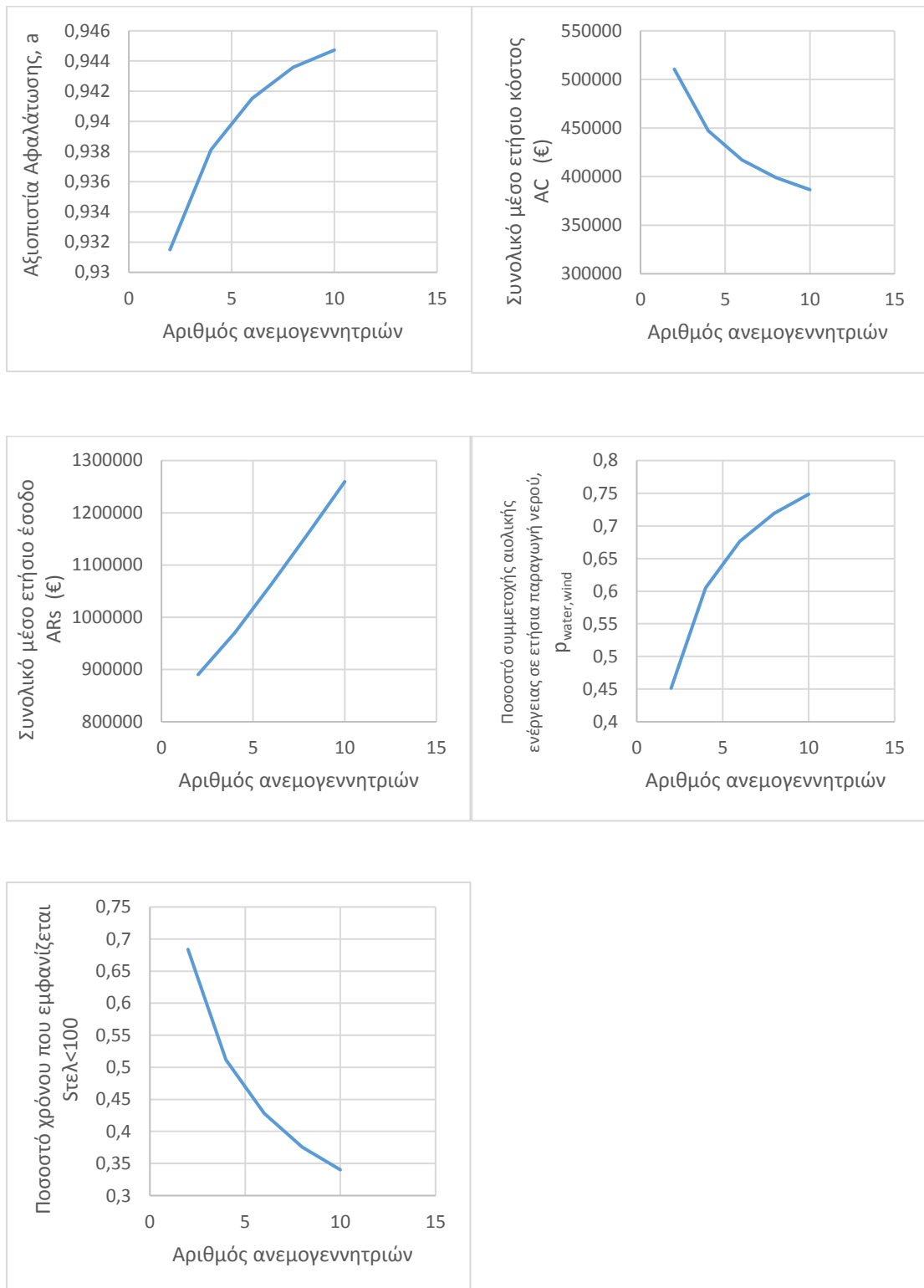
Σχήμα 6.41 Επίδραση χωρητικότητας δεξαμενής αποθήκευσης νερού για 2^η λύση.

Παροχευτικότητα αντλιών, $Q_{\text{αντλιών}}$



Σχήμα 6.42 Επίδραση παροχευτικότητας αντλιών για 2^η λύση.

Αριθμός ανεμογεννητριών, n



Σχήμα 6.43 Επίδραση αριθμού ανεμογεννητριών για 2^η λύση.

Χωρητικότητα δεξαμενής πόσιμου νερού (Σχήμα 6.41)

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.41 η μεταβολή της χωρητικότητας δεξαμενής πόσιμου νερού για την 2^η λύση δεν επιδρά σε μεγάλο βαθμό στις τιμές των δεικτών που εξετάζονται. Συγκεκριμένα, η αύξηση της χωρητικότητας προκαλεί αμελητέα αύξηση στην αξιοπιστία της μονάδας αφαλάτωσης ($a=93.79-93.84\%$), ενώ παρατηρείται ότι τα έσοδα απροσδόκητα μειώνονται. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι τα έσοδα από την πώληση του αφαλατωμένου νερού δεν αυξάνονται σε μεγάλο βαθμό (η κάλυψη της ζήτησης παραμένει σχεδόν σταθερή), ενώ ταυτόχρονα τα έσοδα από την πώληση της αιολικής ενέργειας μειώνονται, αφού η αύξηση της χωρητικότητας της δεξαμενής συνεπάγεται με την αύξηση της αιολικής ενέργειας που καταναλώνεται για αφαλάτωση όταν αυτή είναι διαθέσιμη. Έτσι εξηγείται και η μικρή αύξηση που παρουσιάζει το ποσοστό συμμετοχής της αιολικής ενέργειας στην ετήσια παραγωγή του αφαλατωμένου νερού. Επίσης, το συνολικό κόστος ελαττώνεται σε μικρό βαθμό ενώ μικρή ελάττωση παρουσιάζει και το ποσοστό χρόνου που το τελικό απόθεμα στις δεξαμενές είναι μικρότερο της στάθμης ασφαλείας των 100 m³.

Παροχτευτικότητα αντλιών (Σχήμα 6.42)

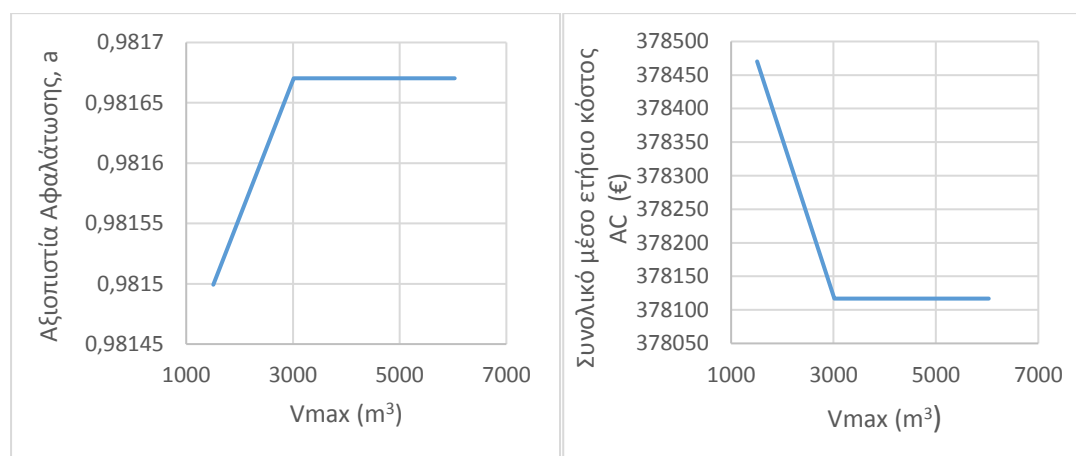
Από τα διαγράμματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η αύξηση της συγκεκριμένης παραμέτρου στα πλαίσια της 2^{ης} διαχειριστικής λύσης επιδρά σημαντικά στους δείκτες λειτουργίας του συστήματος. Μάλιστα, όταν η παροχτευτικότητα των αντλιών ισούται με τη δυναμικότητα της μονάδας, φτάνει δηλαδή τη μέγιστη τιμή που δύναται ($Q_{\text{αντλιών}} = 140 \text{ m}^3/\text{h}$), η αξιοπιστία της αφαλάτωσης για την κάλυψη της ζήτησης φτάνει τη βέλτιστη τιμή της ($a= 98.7 \%$). Όπως έχει ήδη αναλυθεί για τη συγκεκριμένη λύση, η ποσότητα που αφαλατώνεται σε κάθε βήμα εξαρτάται από την ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας, επομένως είναι προφανές ότι καθώς αυξάνεται η παροχτευτικότητα των αντλιών είναι δυνατή η μεταφορά μεγαλύτερης ποσότητας νερού στις δεξαμενές, με αποτέλεσμα τα μεγάλα ποσά παραγόμενης αιολικής ενέργειας να μπορούν να αξιοποιηθούν. Γι' αυτό και το ποσοστό συμμετοχής της αιολικής ενέργειας στην παραγωγή νερού φτάνει και το 65%. Επίσης, τα κόστη μειώνονται σημαντικά ενώ σημαντική αύξηση παρουσιάζουν τα έσοδα του συστήματος.

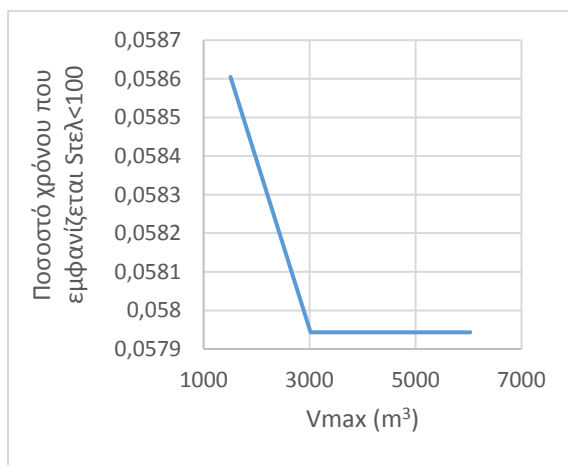
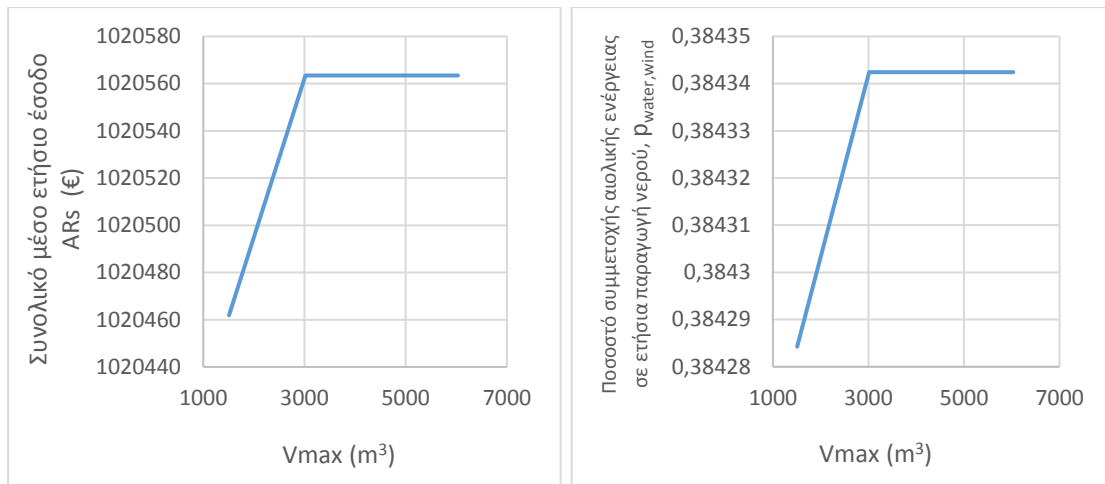
Αριθμός ανεμογεννητριών (Σχήμα 6.43)

Από τα διαγράμματα, παρατηρούμε ότι η αύξηση του αριθμού των ανεμογεννητριών στο αιολικό πάρκο και επομένως και της παραγόμενης αιολικής ενέργειας δεν έχει ουσιαστική επίδραση στο ποσοστό ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό λαμβάνοντας τη μέγιστη τιμή του 94.4% για αριθμό ανεμογεννητριών ίσο με 10. Για τη συγκεκριμένη τιμή της παραμέτρου ($n=10$), το κόστος παρουσιάζει μείωση καθώς ενώ αυξάνεται η παραγόμενη αιολική ενέργεια, μειώνεται η ενέργεια από ΔΕΗ που χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση. Γι' αυτό και το ποσοστό συμμετοχής της αιολικής ενέργειας στην παραγωγή νερού φτάνει τη τιμή 75%. Ταυτόχρονα, τα έσοδα φαίνεται ότι εκτοξεύονται στα ύψη, αφού η αιολική ενέργεια που δεν καταναλώνεται για την αφαλάτωση και διατίθεται στο δίκτυο αυξάνεται σημαντικά.

6.6.2. 3^η Διαχειριστική λύση

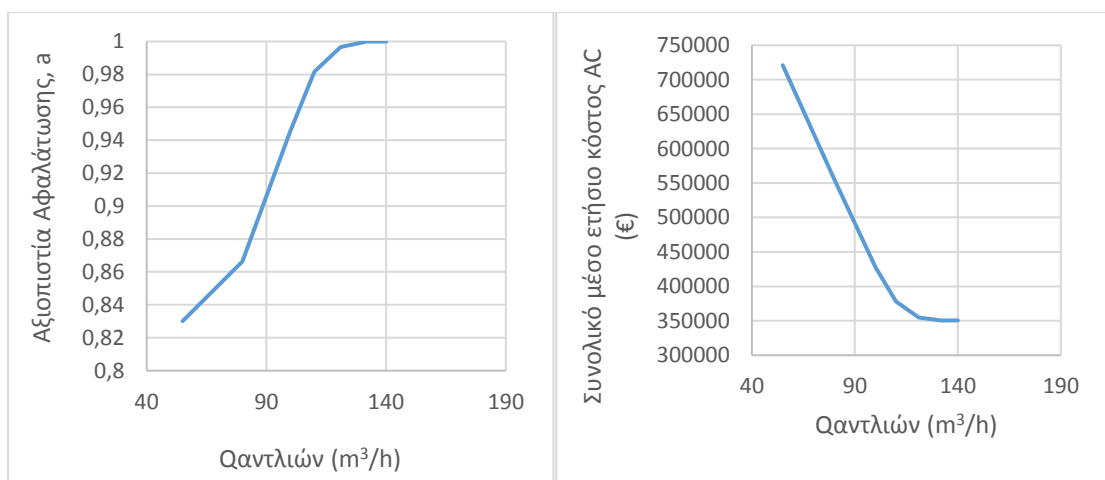
Χωρητικότητα δεξαμενών νερού, V_{max}

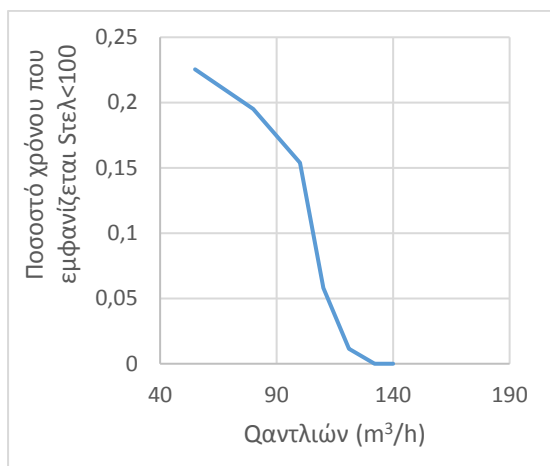
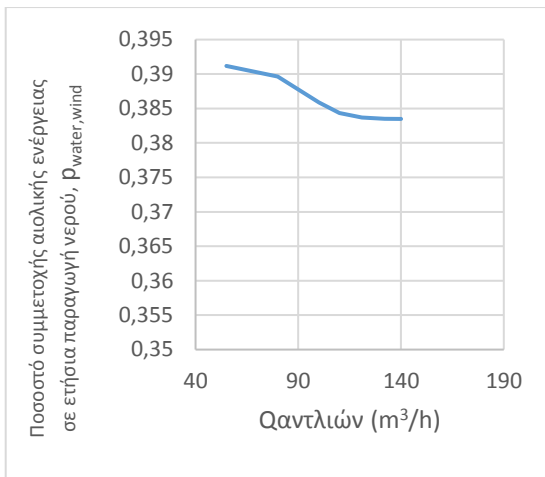
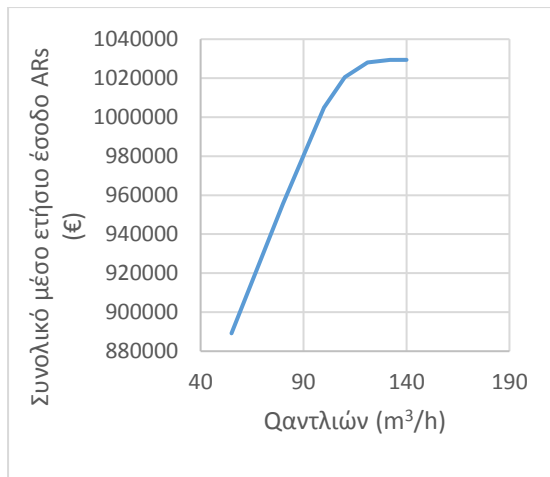




Σχήμα 6.44 Επίδραση χωρητικότητας δεξαμενής αποθήκευσης νερού για 3^η λύση.

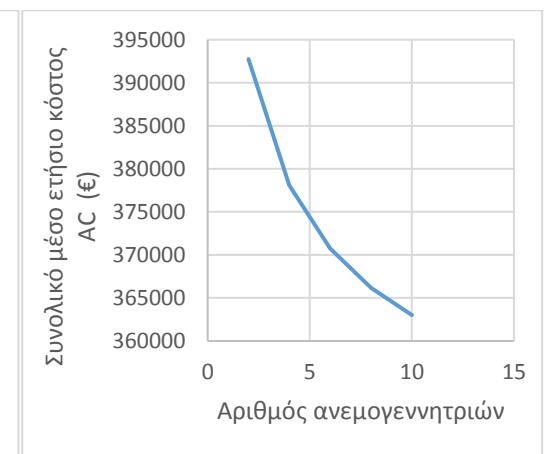
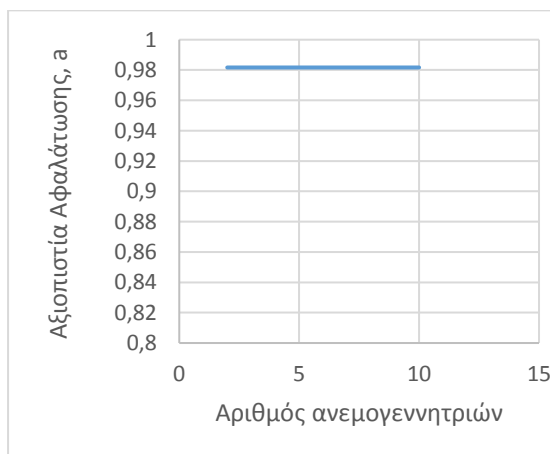
Παρογετευτικότητα αντλιών, Q_{αντλιών}

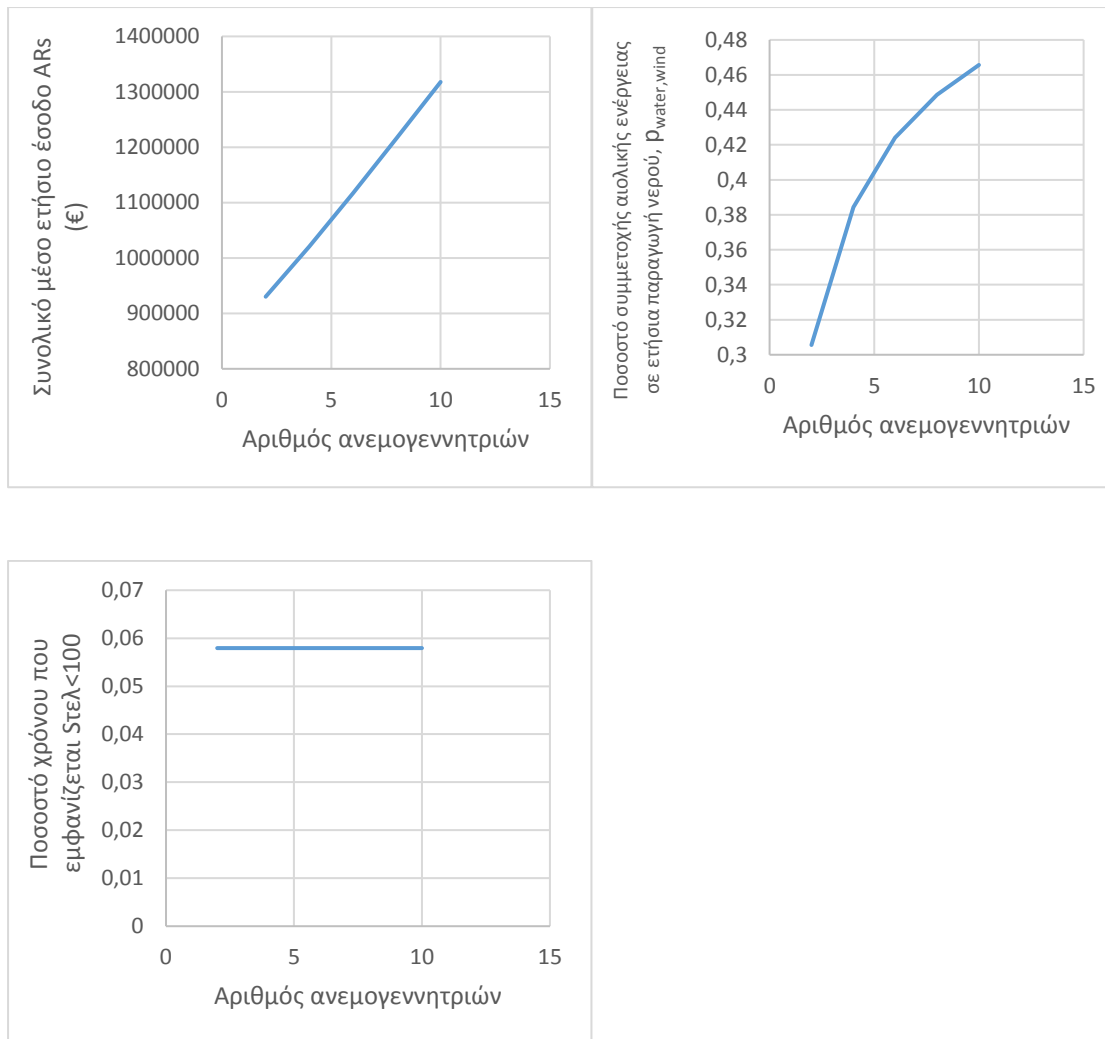




Σχήμα 6.45 Επίδραση παροχευτικότητας αντλιών για 3^η λύση.

Αριθμός ανεμογεννητριών, n





Σχήμα 6.46 Επίδραση αριθμού ανεμογεννητριών για 3^η λύση.

Χωρητικότητα δεξαμενής πόσιμου νερού (Σχήμα 6.44)

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.44 η μεταβολή της χωρητικότητας δεξαμενής πόσιμου νερού για την 3^η λύση δεν επιδρά σε μεγάλο βαθμό στις τιμές των δεικτών που εξετάζονται. Συγκεκριμένα, η αύξηση της χωρητικότητας προκαλεί αμελητέα αύξηση στην αξιοπιστία της μονάδας αφαλάτωσης ($a = 98.15 - 98.16\%$) ενώ έπειτα από μια τιμή, αυτή παραμένει σταθερή. Ανάλογη είναι και η μεταβολή των εσόδων και του ποσοστού συμμετοχής της αιολικής ενέργειας στην παραγωγή νερού. Παρουσιάζουν μια πολύ μικρή αύξηση και έπειτα παραμένουν σταθερά ενώ η χωρητικότητα αυξάνεται. Αντιθέτως, το κόστος και το ποσοστό χρόνου που το τελικό απόθεμα στις δεξαμενές είναι μικρότερο των 100 m^3 παρουσιάζουν μικρού βαθμού ελάττωση και έπειτα παραμένουν και αυτά σταθερά.

Παροχτευτικότητα αντλιών (Σχήμα 6.45)

Από τα διαγράμματα που αφορούν την μεταβολή της παροχτευτικότητας των αντλιών συμπεραίνουμε ότι η αύξηση της συγκεκριμένης παραμέτρου στα πλαίσια της 3^{ης} διαχειριστικής λύσης επιδρά σημαντικά στους δείκτες λειτουργίας του συστήματος. Μάλιστα, όταν η παροχτευτικότητα των αντλιών ισούται με τη δυναμικότητα της μονάδας, φτάνει δηλαδή τη μέγιστη τιμή που δύναται ($Q_{\text{αντλιών}} = 140 \text{ m}^3/\text{h}$), η αξιοπιστία της αφαλάτωσης φτάνει τη βέλτιστη τιμή της ($a=100\%$) που σημαίνει ότι η μονάδα καλύπτει πλήρως τη ζήτηση νερού. Καθώς αυξάνεται η παροχτευτικότητα των αντλιών, είναι δυνατή η μεταφορά μεγαλύτερων ποσοτήτων αφαλατωμένου νερού στις δεξαμενές αποθήκευσης με αποτέλεσμα τα έσοδα να αυξάνονται και το ποσοστό χρόνου που το τελικό απόθεμα στις δεξαμενές είναι μικρότερο των 100 m^3 να μηδενίζεται. Επίσης, μείωση παρουσιάζει το κόστος (αφού μηδενίζεται το κόστος από ρήτρα και μεταφορά βυτίων), ενώ το ποσοστό συμμετοχής της αιολικής ενέργειας στην παραγωγή νερού παραμένει σχεδόν σταθερό αφού για τη συγκεκριμένη λύση η απαιτούμενη ποσότητα για αφαλάτωση σε κάθε βήμα είναι σταθερή και δεν εξαρτάται από την παραγόμενη αιολική ενέργεια.

Αριθμός ανεμογεννητριών (Σχήμα 6.46)

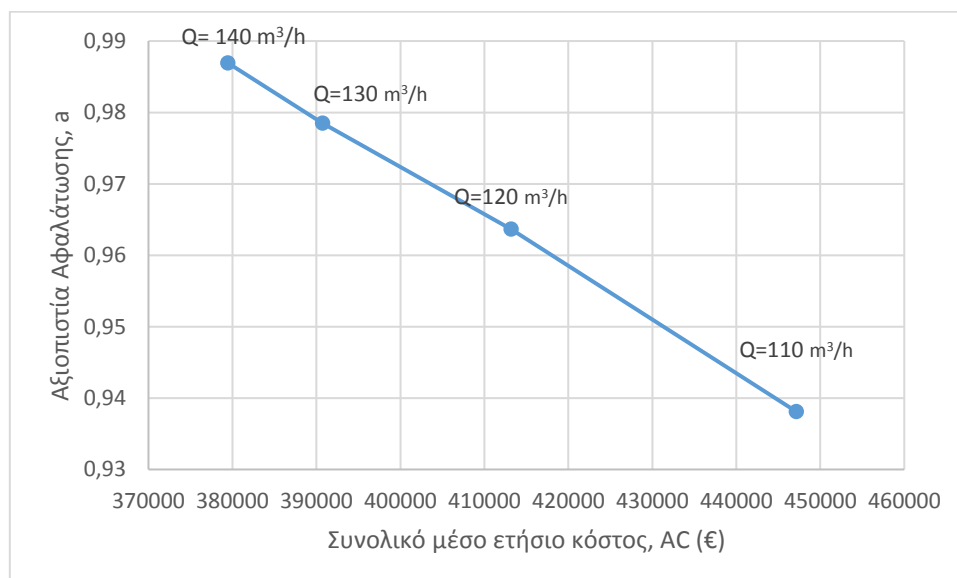
Από τα διαγράμματα, παρατηρούμε ότι για την 3^η λύση, η αύξηση του αριθμού των ανεμογεννητριών στο αιολικό πάρκο και επομένως και της παραγόμενης αιολικής ενέργειας δεν έχει καμία επίδραση στο ποσοστό ικανοποίησης των ετήσιων αναγκών σε πόσιμο νερό. Για τη συγκεκριμένη τιμή της παραμέτρου ($n=10$), το κόστος παρουσιάζει μείωση καθώς ενώ αυξάνεται η παραγόμενη αιολική ενέργεια, μειώνεται η ενέργεια από ΔΕΗ που χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση. Εύκολα αντιλαμβανόμαστε ότι εφόσον υπάρχουν περισσότερες διαθέσιμες ανεμογεννήτριες, αυξάνεται και το ποσοστό συμμετοχής της αιολικής ενέργειας στην παραγωγή νερού, το οποίο μάλιστα, φτάνει τη τιμή 46.5%. Ταυτόχρονα, τα έσοδα φαίνεται ότι αυξάνουν σημαντικά, αφού η αιολική ενέργεια που δεν καταναλώνεται για την αφαλάτωση και διατίθεται στο δίκτυο αυξάνεται σημαντικά.

6.6.3. Συμπεράσματα

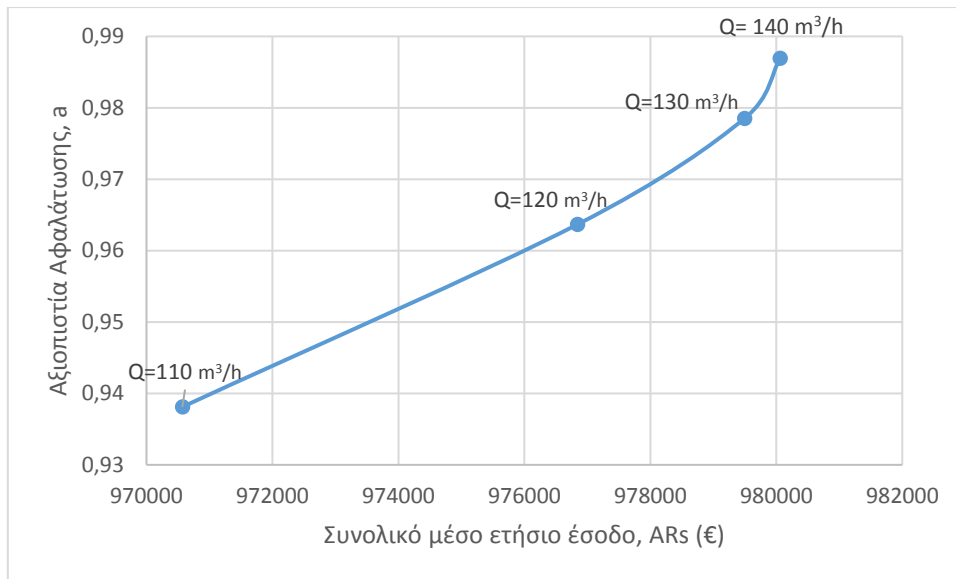
Και για τις δύο λύσεις φαίνεται ότι η παράμετρος που επηρεάζει περισσότερο το σύστημα αποτελεί η παροχτευτικότητα των αντλιών, $Q_{\text{αντλιών}}$, καθώς προκαλεί τις μεγαλύτερες μεταβολές στην αξιοπιστία.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η μεταβολή του κόστους και των εσόδων συναρτήσει της αξιοπιστίας για τις διάφορες τιμές της παροχτευτικότητας των αντλιών με βάση τις οποίες μπορεί να βελτιστοποιηθεί το σύστημα για τις δύο διαχειριστικές λύσεις λειτουργίας.

2^η Διαχειριστική λύση

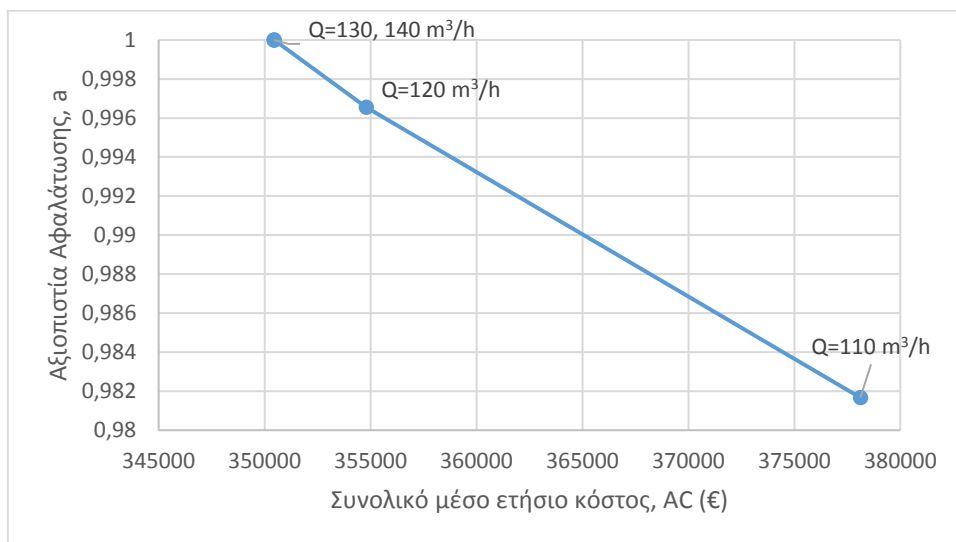


Σχήμα 6.47 Μεταβολή του κόστους συναρτήσει της αξιοπιστίας για 2^η λύση.

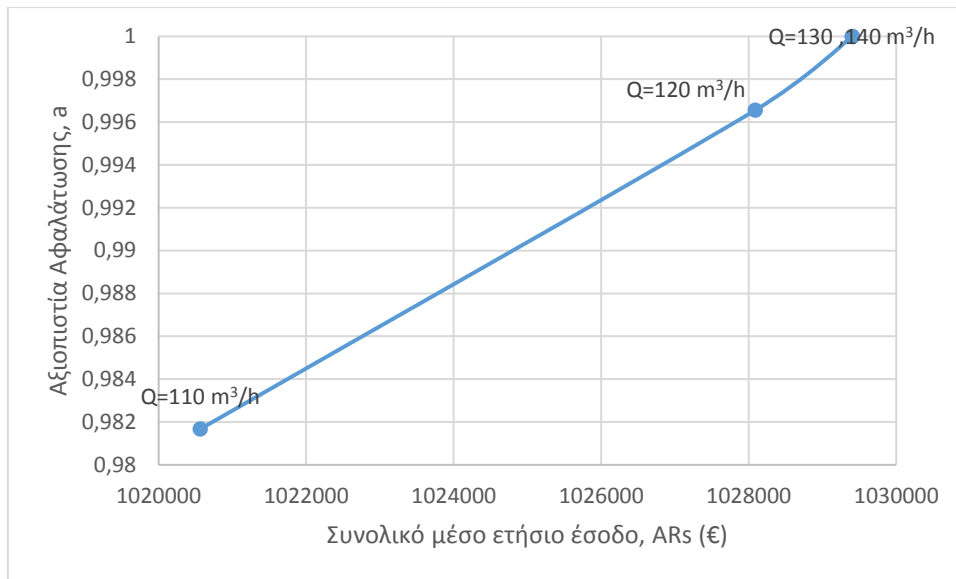


Σχήμα 6.48 Μεταβολή των εσόδων συναρτήσει της αξιοπιστίας για 2^η λύση.

3^η Διαχειριστική λύση



Σχήμα 6.49 Μεταβολή του κόστους συναρτήσει της αξιοπιστίας για 3^η λύση.



Σχήμα 6.50 Μεταβολή των εσόδων συναρτήσει της αξιοπιστίας για 3^η λύση.

Συμπερασματικά, από τα διαγράμματα παραπάνω, φαίνεται ότι και για τις δύο διαχειριστικές λύσεις λειτουργίας, όσο αυξάνεται η παροχευτικότητα των αντλιών και η αξιοπιστία τους συστήματος, το συνολικό κόστος παραγωγής νερού μειώνεται ενώ τα συνολικά έσοδα του συστήματος αφαλάτωσης και του αιολικού πάρκου αυξάνονται. Αξίζει να σημειωθεί, ότι για την τρίτη διαχειριστική λύση λειτουργίας, η αξιοπιστία της μονάδας αφαλάτωσης όσον αφορά την κάλυψη της ζήτησης φτάνει τη βέλτιστη τιμή ($a=100\%$) για $Q_{\text{αντλιών}}=130\text{ m}^3/\text{h}$. Η μονάδα, λοιπόν, μπορεί να ανταποκριθεί πλήρως στη ζήτηση νερού, να ελαττώσει το κόστος της και να αυξήσει τα έσοδα της με μια μικρή σχετικά αύξηση της παροχευτικότητας των αντλιών της τάξης του 20%.

6.7. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Από την παραμετρική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ανάμεσα στις δύο λύσεις, η αξιοπιστία λαμβάνει τη μέγιστη δυνατή τιμή της ($a=100\%$) για την τρίτη διαχειριστική λύση για τιμή $Q_{\text{αντλιών}} \geq 130\text{ m}^3/\text{h}$. Η συγκεκριμένη λύση, λοιπόν, επιλέχθηκε για να γίνει η βελτιστοποίηση τους συστήματος, καθώς τότε είναι δυνατή η πλήρης κάλυψη της ζήτησης νερού.

Η βελτιστοποίηση πραγματοποιείται με την εξελικτική μέθοδο στο Excel προκειμένου να προτείνουμε κάποιους βέλτιστους συνδυασμούς των παραμέτρων ανάλογα με το στόχο (ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση συγκεκριμένων δεικτών

αξιολόγησης). Η βελτιστοποίηση πραγματοποιήθηκε τρεις φορές, μία για τη μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας (a), μία για την ελαχιστοποίηση του μέσου ετήσιου κόστους (AC) και μία για τη μεγιστοποίηση του μέσων ετήσιων εσόδων του συστήματος (ARs). Από τη βελτιστοποίηση του κάθε στόχου, εξήχθησαν οι τιμές των παραμέτρων που αφορούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος (χωρητικότητα δεξαμενών, V_{max} , παραχτευτικότητα αντλιών, $Q_{αντλιών}$, αριθμός ανεμογεννητριών n). Με βάση τις λύσεις που προκύπτουν μπορούμε να αποφανθούμε υπό ποιες προϋποθέσεις και μεταβολές ποιων παραμέτρων το σύστημα της Μήλου είναι δυνατόν να βελτιστοποιηθεί. Σκοπός είναι η εύρεση μιας αξιόπιστης λύσης όσον αφορά την κάλυψη των υδατικών αναγκών του νησιού αλλά και μιας οικονομικά συμφέρουσας με τα ελάχιστα δυνατά κόστη και μέγιστα έσοδα. Τα αποτελέσματα του συνδυασμού των παραμέτρων που προέκυψαν παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6.6 Τιμές συνδυασμού παραμέτρων για τις βέλτιστες λύσεις της 3^{ης} διαχειριστικής λύσης.

Βέλτιστη λύση	Αξιοπιστία, a	Μέσο Ετήσιο Κόστος, AC (€)	Μέσο Ετήσιο Έσοδο, ARs (€)	Χωρητικότητα δεξαμενών V_{max} (m ³)	Παροχτευτικότητα, $Q_{αντλιών}$ (m ³ /h)	Αριθμός ανεμογεννητριών n
$S_{max,a}$	100%	333,268	1,346,269	5,991	132	10
$S_{min, AC}$	100%	326,795	1,655,167	7,260	130	14
$S_{max, ARs}$	100%	326,825	1,806,055	10,320	131	19

Στον Πίνακα 6.6 παρατηρείται ότι σε κάθε περίπτωση η αξιοπιστία του συστήματος είναι 100% με μικρή μεταβολή της παροχτευτικότητας των αντλιών, $Q_{αντλιών}$. Ωστόσο, μεταξύ των λύσεων παρατηρείται μεγάλη διαφορά στα έσοδα ενώ το κόστος δεν παρουσιάζει μεγάλη μεταβολή. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυξάνοντας τη χωρητικότητα των δεξαμενών και τον αριθμό των ανεμογεννητριών αυξάνονται και τα έσοδα του συστήματος. Τα μέγιστα μέσα ετήσια έσοδα (ARs=1,806,055€) εμφανίζονται σχεδόν με διπλάσια χωρητικότητα δεξαμενής και διπλάσιο αριθμό ανεμογεννητριών σε σχέση με την πρώτη βέλτιστη λύση. Επίσης, το μέσο ετήσιο κόστος ελαχιστοποιείται για την τιμή AC=326,795 €.

Σημειώνεται ότι οι παραπάνω λύσεις αποτελούν βέλτιστες ως προς τον κάθε στόχο, δεν είναι όμως και μοναδικές.

Συμπερασματικά, με μια μικρή αύξηση στην παροχτευτικότητα των αντλιών από την αρχική της τιμή, με μεγαλύτερη χωρητικότητα δεξαμενής και τη λειτουργία περισσότερων ανεμογεννητριών, το σύστημα αφαλάτωσης-ανεμογεννητριών της Μήλου μπορεί όχι μόνο να καλύψει τη ζήτηση νερού πλήρως αλλά και να αυξήσει τα έσοδα του, με ελαχιστοποίηση του μέσου κόστους. Είναι προφανές ότι η κατασκευή μεγαλύτερης κλίμακας έργων δύναται να αποφέρει βέλτιστα αποτελέσματα όσον αφορά την κάλυψη της ζήτησης νερού, αλλά και την εξοικονόμηση της ενέργειας της ΔΕΗ.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το ζήτημα της λειτουργίας συστημάτων συνδυασμένης διαχείρισης νερού και ενέργειας που έχουν ως διεπιφάνεια μονάδες αφαλάτωσης. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί και το πρόσφατα κατασκευασμένο σύστημα της Μήλου, που αποτέλεσε την μελέτη περίπτωσης της εργασίας. Σκοπός ήταν να προσομοιωθεί η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος βάσει πραγματικών τεχνικών χαρακτηριστικών και να εξαχθούν αποτελέσματα, ώστε να αξιολογηθεί η λειτουργία και απόδοσή του, σύμφωνα με διάφορους δείκτες επίδοσης που ορίστηκαν.

Γενικά, η αφαλάτωση αποτελεί ίσως την πιο αξιόπιστη λύση για την εξασφάλιση πόσιμου νερού σε περιοχές που εντοπίζεται το πρόβλημα της λειψυδρίας. Οι μονάδες αφαλάτωσης εξυπηρετούν υδατικές ανάγκες, καταναλώνοντας ωστόσο ενέργεια στην επεξεργασία και μεταφορά του νερού. Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα στο τομέα της αφαλάτωσης έχει επικεντρωθεί στο συνδυασμό των μονάδων αφαλάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ώστε να μειωθεί το ενεργειακό κόστος και συνεπώς το κόστος του παραγόμενου νερού. Άλλωστε, οι ΑΠΕ θεωρούνται λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Η ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο και να καλύψει τις ενεργειακές καταναλώσεις της μονάδας αφαλάτωσης, η οποία είναι και αυτή συνδεδεμένη στο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Μια άλλη επιλογή είναι οι ΑΠΕ με την μονάδα αφαλάτωσης να αποτελούν ένα πλήρως αυτόνομο σύστημα, αλλά αυτή δεν έχει ακόμη ευρύτερη εφαρμογή, καθώς τα συστήματα ΑΠΕ έχουν απρόβλεπτο χαρακτήρα και δεν έχουν συνεχή παροχή ενέργειας, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ανταποκριθούν ανά πάσα στιγμή στη ζήτηση ενέργειας. Επίσης, δεν είναι εύκολο η πλεονάζουσα ενέργεια που παρέχουν τα συστήματα ΑΠΕ να αποθηκευτεί. Παρόλα αυτά, για ιδιαίτερα απομακρυσμένες και απομονωμένες περιοχές, οι οποίες δεν είναι διασυνδεδεμένες στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, η σύνδεση της μονάδας αφαλάτωσης με τεχνολογίες των ΑΠΕ θα μπορούσε να αποτελέσει μια αρκετά αποδοτική λύση. Για παράδειγμα, στα νησιά, τους καλοκαιρινούς μήνες που η ζήτηση είναι αυξημένη και η διαθεσιμότητα των ΑΠΕ είναι συνήθως υψηλή με έντονη ηλιακή ακτινοβολία και

αιολική ενέργεια, η ενεργειακή ζήτηση της μονάδας αφαλάτωσης θα μπορούσε εύκολα να καλυφθεί από τη χρήση ΑΠΕ, χωρίς να επιβαρύνει περαιτέρω το δίκτυο.

Το σύστημα της Μήλου, βάσει του οποίου έγινε η προσομοίωση, αποτελείται από μονάδα αφαλάτωσης μεθόδου αντίστροφης ώσμωσης (RO), η οποία χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό και ενός αιολικού πάρκου, το οποίο αποτελείται από 4 ανεμογεννήτριες. Σημειώνεται ότι η μονάδα και οι ανεμογεννήτριες είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο παροχής ενέργειας. Για την ανάλυσή του αναπτύχθηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης του υδατικού ισοζυγίου του νησιού με αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας που παράγεται από το αιολικό πάρκο για την ενεργειακή κάλυψη της μονάδας αφαλάτωσης. Το μοντέλο αναπτύχθηκε σε χρονικό βήμα μιας ώρας, έχοντας ως δεδομένα εισόδου χρονοσειρές ανέμου προσαρμοσμένες στα δεδομένα της Μήλου, τον εκτιμώμενο πληθυσμό, τις υδατικές ανάγκες του νησιού και τα πραγματικά τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Το έτος αναφοράς της προσομοίωσης ήταν το 2020 ενώ το συνολικό μήκος της ήταν τα 10 έτη. Επίσης, το μοντέλο ωριαίας προσομοίωσης εφαρμόστηκε για τις τρεις διαχειριστικές λύσεις του συστήματος που αναλύθηκαν παραπάνω, με την κάθε λύση να βασίζεται σε μια διαφορετική λογική λειτουργίας του. Η πρώτη λύση θεωρήθηκε ως ένα μηδενικό σενάριο αναφοράς.

Από τις αναλύσεις συμπεραίνουμε ότι σε κάθε περίπτωση το ποσοστό κάλυψης της ζήτησης νερού είναι αρκετά υψηλό. Συγκεκριμένα, για την 3^η λύση είναι υψηλότερο καθώς θεωρήθηκε για κάθε χρονικό βήμα να αφαλατώνεται μια συγκεκριμένη ποσότητα νερού ανεξάρτητα του είδους της καταναλισκόμενης ενέργειας. Για τη 2^η λύση η αξιοπιστία της αφαλάτωσης είναι χαμηλότερη, καθώς τα ελλείμματα που εμφανίζονται είναι περισσότερα. Η ποσότητα νερού που αφαλατώνεται σε κάθε χρονικό βήμα είναι μεταβαλλόμενη, καθώς εξαρτάται από την παραγωγή αιολικής ενέργειας, η οποία έχει απρόβλεπτο χαρακτήρα καθώς αποτελεί τυχαία διεργασία. Έτσι, υπάρχουν ώρες που δεν παράγεται καθόλου αιολική ενέργεια και η μονάδα δεν αφαλατώνει και μεταφέρει νερό στις δεξαμενές. Το αποτέλεσμα είναι το απόθεμά τους να ελαττώνεται συνεχώς και να μην μπορεί να καλυφθεί η ζήτηση νερού. Γι' αυτό, στη συγκεκριμένη λύση αρκετά μεγάλο ποσοστό του χρόνου το απόθεμα μηδενίζεται, σε αντίθεση με την 3^η λύση όπου αυτό το ποσοστό αστοχιών είναι πολύ μικρό. Στην 3^η διαχειριστική λύση, το σύστημα ανταποκρίνεται καλύτερα στις περιπτώσεις υψηλής ζήτησης αφού προστίθεται συνεχώς νερό στις δεξαμενές, με αποτέλεσμα η στάθμη της να κυμαίνεται γενικά σε υψηλά επίπεδα.

Επίσης, όσον αφορά τη συνολική μέση ετήσια αιολική ενέργεια που καταναλώνεται από τη μονάδα αφαλάτωσης, αυτή είναι αρκετά υψηλή και στις δύο περιπτώσεις που θεωρήθηκε ότι η μονάδα μπορεί να τροφοδοτηθεί ενεργειακά από τις ανεμογεννήτριες.

Συμπεραίνουμε, συνεπώς, ότι η συνεισφορά της παραγόμενης αιολικής ενέργειας στην ενεργειακή κάλυψη της μονάδας αφαλάτωσης είναι μεγάλη. Βέβαια, είναι σαφές ότι εξαιτίας της μεταβλητότητας του ανέμου απαιτείται να καταναλωθεί και επιπλέον ενέργεια από το δίκτυο ώστε να αφαλατωθεί νερό και να μεταφερθεί στις δεξαμενές. Σημειώνεται, επίσης, ότι και για τις δύο λύσεις το ποσό της μέσης ετήσιας αιολικής ενέργειας που διατίθεται στο δίκτυο, όταν αυτή δεν μπορεί να καταναλωθεί για την αφαλάτωση, είναι υψηλό. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι όντως το αιολικό δυναμικό του νησιού είναι υψηλό και μπορεί χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού αφού διατεθεί στο κεντρικό δίκτυο.

Τέλος, όσον αφορά τα κόστη και έσοδα του συστήματος, σημειώνεται ότι πιο κερδοφόρα λύση φαίνεται να αποτελεί η 3^η καθώς έχει το μικρότερο κόστος και ταυτόχρονα τα περισσότερα έσοδα.

Από την παραμετρική ανάλυση συμπεραίνουμε ότι και για τις δύο λύσεις η παράμετρος που επηρεάζει περισσότερο το σύστημα είναι η παροχτευτικότητα των αντλιών, $Q_{\text{αντλιών}}$, καθώς προκαλεί τις μεγαλύτερες μεταβολές στην αξιοπιστία του συστήματος όσον αφορά στην κάλυψη των υδατικών αναγκών του νησιού. Όσο αυξάνεται η παροχτευτικότητα των αντλιών, το συνολικό κόστος παραγωγής νερού μειώνεται, ενώ τα συνολικά έσοδα του συστήματος αυξάνονται. Να σημειωθεί, ότι για την τρίτη διαχειριστική λύση, η αξιοπιστία της μονάδας αφαλάτωσης όσον αφορά στην κάλυψη της ζήτησης γίνεται πρακτικά πλήρης για $Q_{\text{αντλιών}} \geq 130\text{m}^3/\text{h}$. Η μονάδα, λοιπόν, μπορεί να ανταποκριθεί πλήρως στη ζήτηση νερού, να ελαττώσει το κόστος της και να αυξήσει τα έσοδα της με μια μικρή σχετικά αύξηση της παροχτευτικότητας των αντλιών, της τάξης του 20%.

Από τη βελτιστοποίηση που πραγματοποιήθηκε για την 3^η λύση, με κριτήρια την μεγιστοποίηση της αξιοπιστίας και των εσόδων καθώς και την ελαχιστοποίηση του κόστους του συστήματος, συμπεραίνουμε ότι η αξιοπιστία μπορεί και πάλι να φτάσει στη μέγιστη δυνατή τιμή της. Επίσης, σε ένα τέτοιο σύστημα τα έσοδα μπορούν να αυξηθούν κατά πολύ ενώ ταυτόχρονα το κόστος να σημειώσει μείωση αυξάνοντας την χωρητικότητα των δεξαμενών και τον αριθμό των ανεμογεννητριών.

Συμπερασματικά, από την έρευνά μας καταλήγουμε ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει λύση για την κάλυψη της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας για την

αφαλάτωση και να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές στις οποίες το αιολικό δυναμικό είναι αυξημένο. Μάλιστα, τέτοια συστήματα μπορούν να εφαρμοστούν σε νησιωτικές ή παράκτιες περιοχές, καθώς μπορούν να εκμεταλλευτούν το θαλασσινό νερό αλλά και να αξιοποιήσουν το δυναμικό σε ΑΠΕ που υπάρχει, με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνουν το ηλεκτρικό δίκτυο αλλά και να μειώσουν το κόστος παραγωγής του πόσιμου νερού. Ένα τέτοιο έργο μπορεί να συμβάλει όχι μόνο στην αυτονομία ενός νησιού, αλλά και στην ουσιαστική βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων του καθώς επιτυγχάνει την πλήρη υποκατάσταση ύδατος που μέχρι πρότινος προέρχονταν από μεταφορά υδροφόρων πλοίων ή από τοπικές γεωτρήσεις με πόσιμο νερό άριστης ποιότητας που προέρχεται από τη μονάδα αφαλάτωσης. Ο συνδυασμός μονάδας αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας, μπορεί να οδηγήσει σε βέλτιστα οικονομικά και τεχνικά αποτελέσματα σε περιοχές που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της λειψυδρίας και έχουν ταυτόχρονα υψηλό δυναμικό σε ΑΠΕ. Η άριστη ποιότητα του παραγόμενου νερού, η υψηλή αξιοπιστία του συστήματος, η ανεξάρτηση από τους ορυκτούς πόρους καθώς και η μείωση του κόστους προμήθειας νερού με βυτία είναι κάποια από τα σημαντικά οφέλη ενός τέτοιου συστήματος.

Ουσιαστικά, το έργο στο νησί της Μήλου αποτελεί μια επένδυση, η οποία περιλαμβάνει σύγχρονη τεχνολογία και μεθοδολογία, σε πλήρη τεχνολογική και επιχειρηματική ωριμότητα. Είναι ένα πρωτοποριακό έργο, που μπορεί να αποτελέσει την απαρχή για την επίλυση του προβλήματος της λειψυδρίας που αντιμετωπίζουν όλα τα νησιά σήμερα με τη βέλτιστη για το περιβάλλον λύση.

7.2. ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στην πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετήθηκε και προσομοιώθηκε ένα σύστημα αφαλάτωσης που δύναται να καλυφθεί ενεργειακά από την παραγόμενη αιολική ενέργεια του αιολικού πάρκου. Στις διαχειριστικές λύσεις, στις οποίες εφαρμόστηκε το μοντέλο, θεωρήθηκαν δύο περιπτώσεις όσον αφορά την απαιτούμενη ποσότητα νερού για αφαλάτωση σε κάθε χρονικό βήμα. Στη μία περίπτωση θεωρήθηκε μια σταθερή ωριαία ποσότητα, η οποία εξαρτάται από την ημερήσια ζήτηση νερού ενώ στην άλλη, η συγκεκριμένη ποσότητα θεωρήθηκε ημερησίως κυμαινόμενη καθώς εξαρτάται εξ' ολοκλήρου από την παραγόμενη αιολική ενέργεια. Στην τελευταία περίπτωση είναι προφανές ότι υπάρχουν χρονικά βήματα που η μονάδα είτε αφαλατώνει νερό με τη μέγιστη δυναμικότητά της είτε δεν αφαλατώνει καθόλου. Σε αυτό το σημείο, αξίζει να

προταθεί ως περαιτέρω έρευνα ένα επιχειρησιακό μοντέλο που θα εκτιμά την ποσότητα νερού που θα πρέπει να αφαιρώνεται σε κάθε χρονικό βήμα. Το μοντέλο αυτό θα βασίζεται στην ωριαία πραγματική ζήτηση του νερού και με βάση αυτή η μονάδα θα αφαιρώνει την απαιτούμενη ποσότητα. Το σημαντικό στο μοντέλο αυτό είναι ότι καθώς η ζήτηση είναι γνωστή για τα επόμενα χρονικά βήματα της ημέρας, είναι δυνατόν να αφαιρωθεί από προηγούμενα βήματα επιπλέον ποσότητα νερού, εφόσον φαίνεται ότι η ζήτηση νερού εξελίσσεται σε υψηλά επίπεδα. Μια άλλη επιλογή είναι να θεωρηθεί κλιμακωτά αυξανόμενη η ποσότητα νερού που απαιτείται για αφαλάτωση μέσα στην ημέρα. Έτσι, η μονάδα δεν θα λειτουργεί ανεξέλεγκτα, αλλά ούτε και θεωρώντας ότι η ποσότητα νερού που απαιτείται για αφαλάτωση είναι ημερησίως ισοκατανεμημένη. Το μοντέλο θα υλοποιεί, ουσιαστικά, έναν βελτιστοποιημένο κανόνα λειτουργίας, και μπορεί να δώσει ακόμη καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τη λειτουργία του συστήματος.

Επιπλέον, αξίζει να μελετηθεί το σύστημα βάσει ενός μοντέλου συνδυασμένης πρόβλεψης τόσο της ταχύτητας του ανέμου όσο και της ζήτησης νερού με στόχο τη βέλτιστη λειτουργία και διαχείριση της μονάδας αφαλάτωσης, των δεξαμενών καθώς και των ανεμογεννητριών. Ένα τέτοιο σύστημα θα συλλέγει στοιχεία και θα εκτελεί σενάρια λειτουργίας έχοντας πάντα σαν κύριο στόχο τη βέλτιστη διαχείριση της ανεμογεννήτριας και της μονάδας αφαλάτωσης, ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής της ζήτησης ή και κατά τις ώρες υψηλής αιολικής παραγωγής.

Στη συνέχεια, σημειώνεται ότι η προσομοίωση βασίστηκε σε πραγματικά τεχνικά χαρακτηριστικά ενός τέτοιου συστήματος και βελτιστοποιήθηκε ώστε να βρεθεί ο συνδυασμός των παραμέτρων που θα δώσουν τις βέλτιστες τιμές όσον αφορά τη μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση των σημαντικότερων δεικτών αξιολόγησης. Σε αυτό το σημείο, με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν αξίζει να μελετηθεί και να γίνει μια οικονομική ανάλυση που έχει ως στόχο να δώσει μια εικόνα για την οικονομική βιωσιμότητα των επενδύσεων. Η βελτιστοποίηση αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κύριων υποδομών του συστήματος (π.χ., έργα μεταφοράς και αποθήκευσης νερού), βάσει των οποίων θα μπορούσαν να γίνουν έργα και επενδύσεις στο σύστημα ώστε να αποδώσει σε μεγαλύτερο βαθμό, να προσφέρει περισσότερα έσοδα και λιγότερα κόστη. Το κόστος επένδυσης κάθε έργου σε συνδυασμό με τα επιμέρους κόστη και έσοδα του συστήματος θα μπορούσαν, μέσω μιας τέτοια οικονομικής ανάλυσης, να δώσουν αποτελέσματα για τη βιωσιμότητα της κάθε επένδυσης και να ελεγχθεί εάν μπορούν να αποτελέσουν οικονομικά συμφέρουσες λύσεις.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

‘IDA DESALINATION YEARBOOK 2016 – 2017’ (2017) *American Annals of the Deaf*, 161(5), pp. 585–589.

Burn, S. *et al.* (2015) ‘Desalination techniques — A review of the opportunities for desalination in agriculture’, *Desalination*, 364, pp. 2–16.

Clayton, R. (2015) ‘A Review of Current Knowledge Desalination for Water Supply’. Marlow: Foundation for Water Research.

Cohen-Tanugi, D. (2015) ‘Nanoporous Graphene as a Desalination Membrane: A Computational Study’. Massachusetts Institute of Technology, pp. 3602–3608.

El Saliby, I. *et al.* (2009) ‘Desalination plants in Australia, review and facts’, *Desalination*, 247 (2009), pp. 1–76.

Eshoul, N. *et al.* (2015) ‘Exergy Analysis of a Two-Pass Reverse Osmosis (RO) Desalination Unit with and without an Energy Recovery Turbine (ERT) and Pressure Exchanger (PX)’, *Energies*, 8(7), pp. 6910–6925.

Fritzmann, C. *et al.* (2007) ‘State-of-the-art of reverse osmosis desalination’, *Desalination* 216 (2007), pp. 1–76.

Fytikas, M. *et al.*, (2005) ‘Geothermal Research in Vounalia Area, Milos Island (Greece), for Seawater Desalination and Power Production’, World Geothermal Congress 2005, Turkey.

Gary, A. *et al.* (no date) ‘Seawater Desalination Using Renewable Energy: Solar, Geothermal and Wind’. Water Desalination and Reuse Center (WDRC).

Giudici, F. *et al.* (2019) ‘Dynamic, multi-objective optimal design and operation of water-energy systems for small, off-grid islands’, *Applied Energy*, 250, pp. 605–616.

Kaldellis, J. K., Kavadias, K. A. and Kondili, E. (2004) ‘Renewable energy desalination plants for the Greek islands - Technical and economic considerations’, *Desalination*, pp. 187–203.

Kalogirou, S. (2005) ‘Seawater desalination using renewable energy sources’, *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(3), pp. 242–281.

Karagiannis, I. C. and Soldatos, P. G. (2007) ‘Current status of water desalination in the Aegean Islands’, *Desalination*, 203(1–3), pp. 56–61.

Karagiannis, I. C. and Soldatos, P. G. (2008) ‘Water desalination cost literature: review and assessment’, *Desalination*, pp. 448–456.

Khawaji, A. D., Kutubkhanah, I. K. and Wie, J. M. (2008) ‘Advances in seawater desalination technologies’, *Desalination*, pp. 47–69.

Kossieris, P. and Makropoulos, C. (2018) ‘Exploring the statistical and distributional properties of residential water demand at fine time scales’, *Water*, 10 (10), 1481, doi:10.3390/w10101481

Kossieris, P., Tsoukalas, I., Makropoulos, C. and Savic, D. (2019) ‘Simulating marginal and dependence behaviour of water demand processes at any fine time scale’, *Water*, 11 (5), 885, doi:10.3390/w11050885

Kossieris, P. (2020) ‘Multi-scale stochastic analysis and modelling of residential water demand processes’, PhD thesis, Department of Water Resources and Environmental Engineering – National Technical University of Athens, Athens

Mathioulakis, E., Belessiotis, V. and Delyannis, E. (2007) ‘Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art’, *Desalination*, pp. 346–365.

Mavritsakis, P. (2019) ‘A stochastic simulation framework for representing water, energy and financial fluxes across a non-connected island’, Department of Water Resources and Environmental Engineering – National Technical University of Athens.

Miller, J. E. (2003) *Review of water resources and desalination techniques*. Albuquerque, NM, and Livermore, CA (United States): Sandia National Laboratories.

Mohamed, E. S. *et al.* (2005) ‘The effect of hydraulic energy recovery in a small sea water reverse osmosis desalination system; experimental and economical evaluation’, *Desalination*, pp. 241–246.

Semiat, R. (2010) ‘MULTI-EFFECT DISTILLATION (MED)’. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).

Tzen, E. (2010) ‘Desalination Technologies (I)’, ProDes.

Tzen, E. and Morris, R. (2003) ‘Renewable energy sources for desalination’, *Solar Energy*, 75(5), pp. 375–379.

Xevgenos, D. A. *et al.* (2016) ‘An overview on desalination & sustainability: renewable energy-driven desalination and brine management’, *Desalination and Water Treatment*, 57(5), pp. 2304–2314.

Zotalis, K. *et al.* (2014) ‘Desalination technologies : Hellenic experience’, *Water (Switzerland)*. Athens: MDPI, 6(5), pp. 1134–1150.

Γκάγκα, Α. (2006) ‘Έρευνα για την αειφόρο ανάπτυξη στη Μήλο’, Δίκτυο Αειφόρων Νήσων – ΔΑΦΝΗ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

- Δήμος Μήλου, (2016) ‘Σχέδιο Δράσης Αειφόρου Ενέργειας Δήμου Μήλου’.
- Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, (2005) ‘Ανάπτυξη Συστημάτων και Εργαλειών Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου’, Α’ Φάση, Τεύχος 23, Υπουργείο Ανάπτυξης.
- Κ/Ξ Υδατοσυστημάτων Αιγαίου, (2006) ‘Ανάπτυξη Συστημάτων και Εργαλειών Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου’, Β’ Φάση, Τεύχος 23-I, Υπουργείο Ανάπτυξης.
- Κάραλης & Εμμανουηλίδης, (2011) ‘Μονάδες αφαλάτωσης στα άνυδρα νησιά του Αιγαίου, Ενεργειακό Γραφείο Του-Αιγαίου.
- Νάνου Μ. (2012), ‘Οικολογικά Συστήματα Αφαλάτωσης για την ολοκληρωμένη ανάπτυξη της Μήλου’, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Ξενάριος, Γ. (2017) ‘Μελέτη νέας μονάδας αφαλάτωσης Μυκόνου και εκτίμηση ενεργειακής παραγωγής εμπορικών ανεμογεννητριών για αντιστάθμιση των καταναλώσεων της’ Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων-Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Όμιλος ΙΤΑ, (2010) ‘Αφαλάτωση με χρήση αιολικής ενέργειας στη Μήλο’, Αθήνα
- Όμιλος ΙΤΑ, (2010) ‘Συνοπτική Παρουσίαση Μονάδας Αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη Ν. Μήλο’, ΠΡΟΤΑΣΗ ΚΑΛΥΨΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΕΛΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΑΝΥΔΡΩΝ ΝΗΣΙΩΝ ΤΩΝ ΝΟΜΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ & ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΥ, Αθήνα.
- Ράπτης, Δ. (2012) ‘Μελέτη αφαλάτωσης με μικρές μονάδες. Ειδικά με αυτόνομη μονάδα αντίστροφης όσμωσης και χρήση ΑΠΕ’, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Σακκελάρη, Κ. (2019) ‘Ανάλυση αβεβαιότητας υδρευτικών καταναλώσεων με χρήση συνδυασμένης χωροχρονικής πληροφορίας – Εφαρμογή στο δίκτυο ύδρευσης του Αγρινίου’, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Τζεν, Ε. (2001) ‘Μέθοδοι Αφαλάτωσης- Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου’, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμηση Ενέργεια (ΚΑΠΕ).
- Τζεν, Ε. (2015) ‘Η τεχνολογία αφαλάτωσης στα Ελληνικά νησιά’, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμηση Ενέργεια (ΚΑΠΕ).
- Τσιούγκου, Ν. (2015) ‘Δημιουργία Διαδραστικού Χάρτη της νήσου Μήλος’, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Για την εκτίμηση του πληθυσμού (μόνιμος και εποχιακός) του Δήμου της Μήλου για το έτος 2020 χρησιμοποιήθηκαν τα πληθυσμιακά δεδομένα του έτους 2001 ανά δημοτικό διαμέρισμα και ανά μήνα , όπως αυτά παρουσιάστηκαν στην τεχνική έκθεση που συντάχθηκε στα πλαίσια του υποέργου "Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου" του προγράμματος "Ανταγωνιστικότητα" από το Υπουργείο Ανάπτυξης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας Α. 1 Πληθυσμιακά δεδομένα Μήλου έτους 2001.

Έτος 2001						
ΜΗΝΑΣ	Δ.Δ. Πέρα Τριοβασάλου			Δ.Δ. Τριοβασάλου		
	Μόνιμοι κάτοικοι	Γηγενής τουρισμός	Παραθεριστές	Μόνιμοι κάτοικοι	Γηγενής τουρισμός	Παραθεριστές
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	644	0	0	1029	0	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	644	0	0	1029	0	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	644	0	0	1029	0	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	644	0	0	1029	0	0
ΜΑΪΟΣ	644	0	0	1029	0	0
ΙΟΥΝΙΟΣ	644	0	0	1029	0	0
ΙΟΥΛΙΟΣ	644	322	0	1029	515	0
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	644	322	0	1029	515	0

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	644	0	0	1029	0	0
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	644	0	0	1029	0	0
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	644	0	0	1029	0	0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	644	0	0	1029	0	0

Πίνακας Α. 2 Πληθυσμιακά δεδομένα Μήλου έτους 2001.

Έτος 2001									
ΜΗΝΑΣ	Δ.Δ. Τρυπητής			Δ.Δ. Αδάμαντος			Δ.Δ. Μήλου		
	Μόνιμοι κάτοικοι	Γηγενής τουρισμός	Παραθεριστές	Μόνιμοι κάτοικοι	Γηγενής τουρισμός	Παραθεριστές	Μόνιμοι κάτοικοι	Γηγενής τουρισμός	Παραθεριστές
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	788	0	0	1391	0	0	919	0	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	788	0	0	1391	0	0	919	0	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	788	0	0	1391	0	0	919	0	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	788	0	0	1391	0	56	919	0	4
ΜΑΪΟΣ	788	0	0	1391	0	105	919	0	4
ΙΟΥΝΙΟΣ	788	0	0	1391	0	240	919	0	12
ΙΟΥΛΙΟΣ	788	394	0	1391	696	1478	919	460	28
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	788	394	0	1391	696	2393	919	460	48
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	788	0	0	1391	0	176	919	0	12
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	788	0	0	1391	0	54	919	0	3
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	788	0	0	1391	0	0	919	0	0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	788	0	0	1391	0	0	919	0	0

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου στο ύψος της ανεμογεννήτριας και της παραγόμενης αιολικής ενέργειας για το νησί της Μήλου πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί, όπως αυτοί παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο 4^ο κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας Β. 1 Αποτελέσματα ταχύτητας ανέμου στο ύψος των ανεμογεννητριών της Μήλου.

Ημερομηνία & Ωρα	Ταχύτητα ανέμου Ικαρίας	Ταχύτητα ανέμου Μήλου	Υπολογισμός ταχύτητας ανέμου στο ύψος της ανεμογεννήτριας (Μήλος)	
	5m	5m	53m	86m
	m/s	m/s	m/s	m/s
01/10 00:00	1.72	1.04	1.4	1.5
01/10 01:00	2	1.21	1.7	1.8
01/10 02:00	2.32	1.40	1.9	2.0
01/10 03:00	2.34	1.41	1.9	2.1
01/10 04:00	1.72	1.04	1.4	1.5
01/10 05:00	1.56	0.94	1.3	1.4
01/10 06:00	3.22	1.94	2.7	2.8
01/10 07:00	2.1	1.27	1.7	1.8
01/10 08:00	1.26	0.76	1.0	1.1
01/10 09:00	2.32	1.40	1.9	2.0
01/10 10:00	3.36	2.03	2.8	3.0
01/10 11:00	4.04	2.44	3.4	3.6

01/10 12:00	6.76	4.08	5.6	6.0
01/10 13:00	8.1	4.89	6.7	7.1
01/10 14:00	5.78	3.49	4.8	5.1
01/10 15:00	6.86	4.14	5.7	6.0
01/10 16:00	7	4.23	5.8	6.2
01/10 17:00	8.86	5.35	7.4	7.8
01/10 18:00	9.16	5.53	7.6	8.1
01/10 19:00	6.26	3.78	5.2	5.5
01/10 20:00	1.34	0.81	1.1	1.2
01/10 21:00	1.72	1.04	1.4	1.5
01/10 22:00	1.94	1.17	1.6	1.7
01/10 23:00	1.58	0.95	1.3	1.4
02/10 00:00	1.44	0.87	1.2	1.3

Πίνακας Β. 2 Αποτελέσματα παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες.

Ημερ/νία & Ώρα	Ενέργεια E ₁	Ενέργεια E ₂	Συν.Ενέργεια, E _{tot,wind}
	V42-600 kW	V52-850 kW	2V42+2V52
	(MW)	(MW)	(MW)
01/10 00:00	0.0	0.0	0.000
01/10 01:00	0.0	0.0	0.000
01/10 02:00	0.0	0.0	0.000
01/10 03:00	0.0	0.0	0.000
01/10 04:00	0.0	0.0	0.000
01/10 05:00	0.0	0.0	0.000

01/10 06:00	0.0	0.0	0.002
01/10 07:00	0.0	0.0	0.000
01/10 08:00	0.0	0.0	0.000
01/10 09:00	0.0	0.0	0.000
01/10 10:00	0.0	0.0	0.003
01/10 11:00	0.0	0.0	0.031
01/10 12:00	0.0	0.1	0.361
01/10 13:00	0.1	0.2	0.644
01/10 14:00	0.0	0.1	0.181
01/10 15:00	0.1	0.1	0.384
01/10 16:00	0.1	0.1	0.405
01/10 17:00	0.1	0.3	0.814
01/10 18:00	0.2	0.3	0.910
01/10 19:00	0.0	0.1	0.273
01/10 20:00	0.0	0.0	0.000
01/10 21:00	0.0	0.0	0.000
01/10 22:00	0.0	0.0	0.000
01/10 23:00	0.0	0.0	0.000

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα από τα βήματα της προσομοίωσης που αναλύθηκαν και παρουσιάστηκαν στο 4ο κεφάλαιο για τις τρεις διαχειριστικές λύσεις λειτουργίας του συστήματος.

1^Η ΛΥΣΗ

Πίνακας Γ. 1 Αποτελέσματα προσομοίωσης 1^{ης} λύσης.

Ημ/νία	Αρχικό Απόθεμα Νερού $S_{αρχή}$ (m ³)	Απαίτηση ωριαίας ποσότητας νερού για αφαλάτωση την ημέρα Q_d (m ³ /h)	Αρχική ποσότητα που αφαλατώνεται με $\Delta E_H V_{\Delta E_H,1}$ (m ³)	Ενδιάμεσο Απόθεμα S' (m ³)	Ζήτηση νερού Q_{ijk} (m ³)	Εκροή X_{water} (m ³)	Έλλειμμα D_{water} (m ³)	Απόθεμα μετά την εκροή S'' (m ³)	Πρόσθετη ποσότητα νερού που αφαλατώνεται με $\Delta E_H V_{\Delta E_H,2}$ (m ³)	Τελικό Απόθεμα Νερού $S_{τελ}$ (m ³)	Τελικό Έλλειμμα D_{water}' (m ³)
01/10 00:00	2000.0	37.1	37.1	2037.1	32.7	32.7	0.0	2037.1	0.0	2004.3	0.0
01/10 01:00	2004.3	37.1	37.1	2041.4	35.9	35.9	0.0	2041.4	0.0	2005.5	0.0
01/10 02:00	2005.5	37.1	37.1	2042.6	21.5	21.5	0.0	2042.6	0.0	2021.1	0.0
01/10 03:00	2021.1	37.1	37.1	2058.2	38.9	38.9	0.0	2058.2	0.0	2019.2	0.0
01/10 04:00	2019.2	37.1	37.1	2056.3	43.8	43.8	0.0	2056.3	0.0	2012.5	0.0
01/10 05:00	2012.5	37.1	37.1	2049.6	49.9	49.9	0.0	2049.6	0.0	1999.7	0.0
01/10 06:00	1999.7	37.1	37.1	2036.8	31.9	31.9	0.0	2036.8	0.0	2004.8	0.0

01/10 07:00	2004.8	37.1	37.1	2041.9	33.7	33.7	0.0	2041.9	0.0	2008.2	0.0
01/10 08:00	2008.2	37.1	37.1	2045.3	47.7	47.7	0.0	2045.3	0.0	1997.6	0.0
01/10 09:00	1997.6	37.1	37.1	2034.7	38.3	38.3	0.0	2034.7	0.0	1996.3	0.0
01/10 10:00	1996.3	37.1	37.1	2033.4	43.6	43.6	0.0	2033.4	0.0	1989.8	0.0
01/10 11:00	1989.8	37.1	37.1	2026.9	39.8	39.8	0.0	2026.9	0.0	1987.1	0.0
01/10 12:00	1987.1	37.1	37.1	2024.1	50.7	50.7	0.0	2024.1	0.0	1973.5	0.0
01/10 13:00	1973.5	37.1	37.1	2010.6	65.5	65.5	0.0	2010.6	0.0	1945.0	0.0
01/10 14:00	1945.0	37.1	37.1	1982.1	51.5	51.5	0.0	1982.1	0.0	1930.6	0.0
01/10 15:00	1930.6	37.1	37.1	1967.7	47.4	47.4	0.0	1967.7	0.0	1920.3	0.0
01/10 16:00	1920.3	37.1	37.1	1957.3	32.7	32.7	0.0	1957.3	0.0	1924.7	0.0
01/10 17:00	1924.7	37.1	37.1	1961.7	39.7	39.7	0.0	1961.7	0.0	1922.1	0.0
01/10 18:00	1922.1	37.1	37.1	1959.1	41.0	41.0	0.0	1959.1	0.0	1918.1	0.0
01/10 19:00	1918.1	37.1	37.1	1955.2	41.6	41.6	0.0	1955.2	0.0	1913.6	0.0
01/10 20:00	1913.6	37.1	37.1	1950.7	35.8	35.8	0.0	1950.7	0.0	1914.9	0.0
01/10 21:00	1914.9	37.1	37.1	1952.0	41.6	41.6	0.0	1952.0	0.0	1910.3	0.0
01/10 22:00	1910.3	37.1	37.1	1947.4	37.0	37.0	0.0	1947.4	0.0	1910.4	0.0
01/10 23:00	1910.4	37.1	37.1	1947.5	47.6	47.6	0.0	1947.5	0.0	1899.9	0.0

Πίνακας Γ. 2 Αποτελέσματα προσομοίωσης 1^{ης} λύσης.

Ενέργεια ΔΕΗ που καταναλώνεται για αφαλάτωση $E_{\Delta\epsilon\eta}$ (kWh)	Κόστος Ενέργειας ΔΕΗ για αφαλάτωση $C_{\Delta\epsilon\eta}$ (€)	Λειτουργικό Κόστος αφαλάτωσης $C_{\lambda\epsilon\iota\tau.}$ (€)	Κόστος από μεταφορά βυτίων $C_{\beta\upsilon\tau\iota\omega\upsilon\lambda}$ (€)	Ποσότητα (100-Στελ) (m^3)	Ρήτρα όταν $S_{\tau\epsilon\lambda}<100$ $C_{\rho\eta\tau\rho\alpha}$ (€)	Έσοδα αφαλάτωσης $R_{s\text{water}}$ (€)
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	61.9
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	67.8
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	40.6
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	73.6
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	82.7
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	94.3
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	60.3
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	63.6
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	90.2
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	72.4
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	82.3
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	75.3
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	95.7
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	123.8
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	97.3
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	89.7
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	61.8
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	75.0

148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	77.5
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	78.6
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	67.6
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	78.7
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	69.9
148.3	14.8	33.4	0.0	0	0	90.0

2^η ΛΥΣΗ

Πίνακας Γ. 3 Αποτελέσματα προσομοίωσης 2^{ης} λύσης.

Ημ/νία	Αρχικό Απόθεμα Νερού $S_{αρχή}$ (m ³)	Αιολική ενέργεια $E_{tot,wind}$ (MW)	Μέγιστο νερό που δύναται να αφαλατωθεί με ενέργεια από Α/Γ $V_{wind,max}$ (m ³)	Νερό που αφαλατώνεται και μεταφέρεται με αιολική ενέργεια V_{wind} (m ³)	Ενδιάμεσο απόθεμα S' (m ³)	Ζήτηση νερού Q_{ijk} (m ³)	Εκροή X_{water} (m ³)	Απόθεμα μετά την εκροή S'' (m ³)	Έλλειμμα D_{water} (m ³)
10/1 0:00	2000.0	0.00	0	0	2000.0	32.7	32.7	1967.3	0
10/1 1:00	1967.3	0.00	0	0	1967.3	35.9	35.9	1931.4	0
10/1 2:00	1931.4	0.00	0	0	1931.4	21.5	21.5	1909.9	0
10/1 3:00	1909.9	0.00	0	0	1909.9	38.9	38.9	1871.0	0
10/1 4:00	1871.0	0.00	0	0	1871.0	43.8	43.8	1827.2	0
10/1 5:00	1827.2	0.00	0	0	1827.2	49.9	49.9	1777.3	0
10/1 6:00	1777.3	0.00	0.51	0.51	1777.8	31.9	31.9	1745.9	0
10/1 7:00	1745.9	0.00	0	0	1745.9	33.7	33.7	1712.2	0
10/1 8:00	1712.2	0.00	0	0	1712.2	47.7	47.7	1664.5	0
10/1 9:00	1664.5	0.00	0	0	1664.5	38.3	38.3	1626.2	0
10/1 10:00	1626.2	0.00	0.68	0.68	1626.8	43.6	43.6	1583.3	0
10/1 11:00	1583.3	0.03	7.65	7.65	1590.9	39.8	39.8	1551.1	0
10/1 12:00	1551.1	0.36	90.36	90.36	1641.5	50.7	50.7	1590.8	0
10/1 13:00	1590.8	0.64	160.925	110	1700.8	65.5	65.5	1635.3	0
10/1 14:00	1635.3	0.18	45.15	45.15	1680.5	51.5	51.5	1629.0	0

10/1 15:00	1629.0	0.38	95.895	95.895	1724.9	47.4	47.4	1677.4	0
10/1 16:00	1677.4	0.41	101.25	101.25	1778.7	32.7	32.7	1746.0	0
10/1 17:00	1746.0	0.81	203.6	110	1856.0	39.7	39.7	1816.3	0
10/1 18:00	1816.3	0.91	227.45	110	1926.3	41.0	41.0	1885.3	0
10/1 19:00	1885.3	0.27	68.22	68.22	1953.6	41.6	41.6	1912.0	0
10/1 20:00	1912.0	0.00	0	0	1912.0	35.8	35.8	1876.2	0
10/1 21:00	1876.2	0.00	0	0	1876.2	41.6	41.6	1834.6	0
10/1 22:00	1834.6	0.00	0	0	1834.6	37.0	37.0	1797.6	0
10/1 23:00	1797.6	0.00	0	0	1797.6	47.6	47.6	1750.0	0

Πίνακας Γ. 4 Αποτελέσματα προσομοίωσης 2ης λύσης.

Ημ/νία	Ποσότητα που αφαλατώνεται με Ενέργεια ΔΕΗ $V_{\Delta\text{ΕΗ}} \text{ (m}^3\text{)}$	Τελικό Απόθεμα Νερού $S_{\text{τελ}} \text{ (m}^3\text{)}$	Τελικό Έλλειμμα νερού $D_{\text{water}}' \text{ (m}^3\text{)}$	Αιολική Ενέργεια που καταναλώνεται για αφαλάτωση $E_{\text{wind}} \text{ (kWh)}$	Αιολική Ενέργεια που διατίθεται στο δίκτυο $E_{\text{wind,δίκτυο}} \text{ (kWh)}$	Ενέργεια ΔΕΗ που καταναλώνεται για αφαλάτωση $E_{\Delta\text{ΕΗ}} \text{ (kWh)}$
01/10 00:00	0	1967.3	0	0	0	0
01/10 01:00	0	1931.4	0	0	0	0
01/10 02:00	0	1909.9	0	0	0	0
01/10 03:00	0	1871.0	0	0	0	0

01/10 04:00	0	1827.2	0	0	0	0
01/10 05:00	0	1777.3	0	0	0	0
01/10 06:00	0	1745.9	0	2.04	0	0
01/10 07:00	0	1712.2	0	0	0	0
01/10 08:00	0	1664.5	0	0	0	0
01/10 09:00	0	1626.2	0	0	0	0
01/10 10:00	0	1583.3	0	2.72	0	0
01/10 11:00	0	1551.1	0	30.6	0	0
01/10 12:00	0	1590.8	0	361.44	0	0
01/10 13:00	0	1635.3	0	440	204	0
01/10 14:00	0	1629.0	0	180.6	0	0
01/10 15:00	0	1677.4	0	383.58	0	0
01/10 16:00	0	1746.0	0	405	0	0
01/10 17:00	0	1816.3	0	440	374	0
01/10 18:00	0	1885.3	0	440	470	0
01/10 19:00	0	1912.0	0	272.88	0	0
01/10 20:00	0	1876.2	0	0	0	0
01/10 21:00	0	1834.6	0	0	0	0
01/10 22:00	0	1797.6	0	0	0	0
01/10 23:00	0	1750.0	0	0	0	0

Πίνακας Γ. 5 Αποτελέσματα προσομοίωσης 2^{ης} λύσης.

Λειτουργικό Κόστος αφαλάτωσης C _{ΛΕΙΤ.} (€)	Κόστος Ενέργειας ΔΕΗ αφαλάτωσης C _{ΔΕΗ} (€)	Κόστος από μεταφορά βυτίων C _{βυτίων} (€)	Ποσότητα (100-Στελ) (m ³)	Ρήτρα όταν Στελ<100 C _{ρήτρα} (€)	Έσοδα αιολικής ενέργειας R _{Swind} (€)	Έσοδα αφαλάτωσης R _{Swater} (€)
0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	61.860
0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	67.776
0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	40.649
0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	73.607
0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	82.734
0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	94.312
0.3	0.0	0.0	0	0.0	0.0	60.339
0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	63.635
0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	90.171
0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	72.424
0.3	0.0	0.0	0	0.0	0.0	82.312
3.8	0.0	0.0	0	0.0	0.0	75.297
45.2	0.0	0.0	0	0.0	0.0	95.749
55.0	0.0	0.0	0	0.0	18.3	123.805
22.6	0.0	0.0	0	0.0	0.0	97.270
47.9	0.0	0.0	0	0.0	0.0	89.664
50.6	0.0	0.0	0	0.0	0.0	61.776
55.0	0.0	0.0	0	0.0	33.7	74.959
55.0	0.0	0.0	0	0.0	42.3	77.495

34.1	0.0	0.0	0	0.0	0.0	78.593
0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	67.607
0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	78.678
0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	69.889

3^Η ΛΥΣΗ

Πίνακας Γ. 6 Αποτελέσματα προσομοίωσης 3^{ης} λύσης.

Ημ/νία	Αιολική ενέργεια $E_{tot,wind}$ (MW)	Μέγιστο νερό που δύναται να αφαλατωθεί με ενέργεια από Α/Γ $V_{wind,max}$ (m ³)	Αρχικό Απόθεμα Νερού $S_{αρχή}$ (m ³)	Απαίτηση ωριαίας ποσότητας για αφαλάτωση ανά ημέρα Qd (m ³)	Ποσότητα που αφαλατώνεται και μεταφέρεται $V_{μετ.1}$ (m ³)	Αρχική ποσότητα που αφαλατώνεται με αιολική ενέργεια $V_{wind,1}$ (m ³)	Αρχική ποσότητα που αφαλατώνεται με ενέργεια ΔΕΗ $V_{ΔΕΗ,1}$ (m ³)	Ενδιάμεσο Απόθεμα S' (m ³)	Ζήτηση νερού Q_{ijk} (m ³)
01/10 00:00	0	0	2000.0	37.1	37.1	0.0	37.1	2037.1	32.7
01/10 01:00	0	0	2004.3	37.1	37.1	0.0	37.1	2041.4	35.9
01/10 02:00	0	0	2005.5	37.1	37.1	0.0	37.1	2042.6	21.5
01/10 03:00	0	0	2021.1	37.1	37.1	0.0	37.1	2058.2	38.9
01/10 04:00	0	0	2019.2	37.1	37.1	0.0	37.1	2056.3	43.8
01/10 05:00	0	0	2012.5	37.1	37.1	0.0	37.1	2049.6	49.9
01/10 06:00	0.00204	0.51	1999.7	37.1	37.1	0.5	36.6	2036.8	31.9
01/10 07:00	0	0	2004.8	37.1	37.1	0.0	37.1	2041.9	33.7
01/10 08:00	0	0	2008.2	37.1	37.1	0.0	37.1	2045.3	47.7
01/10 09:00	0	0	1997.6	37.1	37.1	0.0	37.1	2034.7	38.3
01/10 10:00	0.00272	0.68	1996.3	37.1	37.1	0.7	36.4	2033.4	43.6
01/10 11:00	0.0306	7.65	1989.8	37.1	37.1	7.7	29.4	2026.9	39.8
01/10 12:00	0.36144	90.36	1987.1	37.1	37.1	37.1	0.0	2024.1	50.7
01/10 13:00	0.6437	160.925	1973.5	37.1	37.1	37.1	0.0	2010.6	65.5

01/10 14:00	0.1806	45.15	1945.0	37.1	37.1	37.1	0.0	1982.1	51.5
01/10 15:00	0.38358	95.895	1930.6	37.1	37.1	37.1	0.0	1967.7	47.4
01/10 16:00	0.405	101.25	1920.3	37.1	37.1	37.1	0.0	1957.3	32.7
01/10 17:00	0.8144	203.6	1924.7	37.1	37.1	37.1	0.0	1961.7	39.7
01/10 18:00	0.9098	227.45	1922.1	37.1	37.1	37.1	0.0	1959.1	41.0
01/10 19:00	0.27288	68.22	1918.1	37.1	37.1	37.1	0.0	1955.2	41.6
01/10 20:00	0	0	1913.6	37.1	37.1	0.0	37.1	1950.7	35.8
01/10 21:00	0	0	1914.9	37.1	37.1	0.0	37.1	1952.0	41.6
01/10 22:00	0	0	1910.3	37.1	37.1	0.0	37.1	1947.4	37.0
01/10 23:00	0	0	1910.4	37.1	37.1	0.0	37.1	1947.5	47.6

Πίνακας Γ. 7 Αποτελέσματα προσομοίωσης 3^{ης} λύσης.

Ημ/νία	Εκροή X_{water} (m^3)	Απόθεμα μετά την εκροή S'' (m^3)	Έλλειμμα D_{water} (m^3)	Πρόσθετη Ποσότητα που αφαλατώνεται και μεταφέρεται $V_{μετ.2}$ (m^3)	Υπολειπόμενη ποσότητα που δύναται να αφαλατωθεί με την υπολ. διαθέσιμη αιολική ενέργεια $V_{wind,max'}$ (m^3)	Πρόσθετη ποσότητα που αφαλατώνεται με την υπολ. Διαθέσιμη αιολική ενέργεια $V_{wind,2}$ (m^3)	Πρόσθετη ποσότητα που αφαλατώνεται με ενέργεια $\Delta E_H V_{\Delta E_H,2}$ (m^3)	Τελικό Απόθεμα $S_{τελ}$ (m^3)	Τελικό Έλλειμμα νερού D_{water}' (m^3)
01/10 00:00	32.7	2004.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2004.3	0.0
01/10 01:00	35.9	2005.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2005.5	0.0

01/10 02:00	21.5	2021.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2021.1	0.0
01/10 03:00	38.9	2019.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2019.2	0.0
01/10 04:00	43.8	2012.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2012.5	0.0
01/10 05:00	49.9	1999.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1999.7	0.0
01/10 06:00	31.9	2004.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2004.8	0.0
01/10 07:00	33.7	2008.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2008.2	0.0
01/10 08:00	47.7	1997.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1997.6	0.0
01/10 09:00	38.3	1996.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1996.3	0.0
01/10 10:00	43.6	1989.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1989.8	0.0
01/10 11:00	39.8	1987.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1987.1	0.0
01/10 12:00	50.7	1973.5	0.0	0.0	53.3	0.0	0.0	1973.5	0.0
01/10 13:00	65.5	1945.0	0.0	0.0	123.9	0.0	0.0	1945.0	0.0
01/10 14:00	51.5	1930.6	0.0	0.0	8.1	0.0	0.0	1930.6	0.0
01/10 15:00	47.4	1920.3	0.0	0.0	58.8	0.0	0.0	1920.3	0.0
01/10 16:00	32.7	1924.7	0.0	0.0	64.2	0.0	0.0	1924.7	0.0
01/10 17:00	39.7	1922.1	0.0	0.0	166.5	0.0	0.0	1922.1	0.0
01/10 18:00	41.0	1918.1	0.0	0.0	190.4	0.0	0.0	1918.1	0.0
01/10 19:00	41.6	1913.6	0.0	0.0	31.2	0.0	0.0	1913.6	0.0
01/10 20:00	35.8	1914.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1914.9	0.0
01/10 21:00	41.6	1910.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1910.3	0.0
01/10 22:00	37.0	1910.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1910.4	0.0
01/10 23:00	47.6	1899.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1899.9	0.0

Πίνακας Γ. 8 Αποτελέσματα προσομοίωσης 3^{ης} λύσης.

Ενέργεια ΔΕΗ που καταναλώνεται $E_{\Delta\epsilon\eta}$ (kWh)	Αιολική Ενέργεια αφαλάτωσης που καταναλώνεται E_{wind} (kWh)	Αιολική Ενέργεια που διατίθεται στο δίκτυο $E_{wind,δίκτυο}$ (kWh)	Κόστος ενέργειας ΔΕΗ αφαλάτωσης $C_{\Delta\epsilon\eta}$ (€)	Λειτουργικό Κόστος αφαλάτωσης $C_{\lambda\epsilon\iota\tau.}$ (€)	Κόστος από μεταφορά βυτίων $C_{\beta\upsilon\tau\acute{\iota}\omega\nu}$ (€)	Ποσότητα (100-Στελ) (m^3)	Ρήτρα όταν Στελ<100 $C_{\rho\acute{\eta}\tau\rho\alpha}$ (€)	Έσοδα αιολικής ενέργειας $R_{S_{wind}}$ (€)	Έσοδα αφαλάτωσης $R_{S_{water}}$ (€)
148.3	0.0	0.0	14.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	61.860
148.3	0.0	0.0	14.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	67.776
148.3	0.0	0.0	14.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	40.649
148.3	0.0	0.0	14.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	73.607
148.3	0.0	0.0	14.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	82.734
148.3	0.0	0.0	14.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	94.312
146.2	2.0	0.0	14.6	18.5	0.0	0	0.0	0.00	60.339
148.3	0.0	0.0	14.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	63.635
148.3	0.0	0.0	14.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	90.171
148.3	0.0	0.0	14.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	72.424
145.6	2.7	0.0	14.6	18.5	0.0	0	0.0	0.00	82.312
117.7	30.6	0.0	11.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	75.297
0.0	148.3	213.2	0.0	18.5	0.0	0	0.0	19.19	95.749
0.0	148.3	495.4	0.0	18.5	0.0	0	0.0	44.59	123.805
0.0	148.3	32.3	0.0	18.5	0.0	0	0.0	2.91	97.270
0.0	148.3	235.3	0.0	18.5	0.0	0	0.0	21.18	89.664
0.0	148.3	256.7	0.0	18.5	0.0	0	0.0	23.11	61.776

0.0	148.3	666.1	0.0	18.5	0.0	0	0.0	59.95	74.959
0.0	148.3	761.5	0.0	18.5	0.0	0	0.0	68.54	77.495
0.0	148.3	124.6	0.0	18.5	0.0	0	0.0	11.21	78.593
148.3	0.0	0.0	14.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	67.607
148.3	0.0	0.0	14.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	78.678
148.3	0.0	0.0	14.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	69.889
148.3	0.0	0.0	14.8	18.5	0.0	0	0.0	0.00	90.002

