



# **ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"**

**Υβριδικό Σύστημα Παραγωγής Ενέργειας και Νερού  
για το Αγαθονήσι**

**Αυλωνίτης Ανδρέας**

Μεταπτυχιακή Εργασία η οποία υποβάλλεται  
για μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων  
για το Δ.Π.Μ.Σ.

**Επιβλέπων Καθηγητής: Ε. Μπαλτάς**

**Επιτροπή Παρακολούθησης:**

Καθηγητής Ε. Μπαλτάς

Καθηγήτρια Μ. Λοϊζίδου

Καθηγητής Γ. Φώτης

**Περιβάλλον**

**και**

**Ανάπτυξη**

Αθήνα, Μάιος 2017



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"**

**ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΑΓΑΘΟΝΗΣΙ**

**Περιβάλλον  
και  
Ανάπτυξη**

**Αυλωνίτης Ανδρέας**

Η παρούσα εργασία εστιάζει σε δύο από τα σημαντικότερα προβλήματα του νησιώτικου χώρου: το πρόβλημα της έλλειψης υδατικών πόρων πρωτίστως, και η υψηλή τιμή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας δευτερευόντως. Αυτά τα δύο θέματα εν πολλοίς καθορίζουν τις αναπτυξιακές δυνατότητες και την βιωσιμότητα των νησιωτικών περιοχών. Ως μελέτη περίπτωσης, στην συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε το νησί του Αγαθονησίου, που εντάσσεται στο σύμπλεγμα των Δωδεκανήσων και σε μία ιδιαίτερος ευαίσθητη περιοχή στα σύνορα με την Τουρκία.

Για την ολιστική αντιμετώπιση των προαναφερθέντων προβλημάτων γίνεται μελέτη των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του Αγαθονησίου. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνδυάζονται με την επιστημονική γνώση σε μία σειρά από πεδία (συστήματα αφαλάτωσης νερού, συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας-υδροστρόβιλοι, στοιχεία και παραδείγματα εφαρμογής υβριδικών συστημάτων), προκειμένου να εντοπιστούν οι πιθανές και οι βέλτιστες πρακτικές για την περίπτωση του νησιού.

Στην επόμενη φάση της εργασίας γίνεται εκτίμηση των τωρινών και μελλοντικών ενεργειακών και υδατικών αναγκών του Δήμου Αγαθονησίου και διαμορφώνεται η πρόταση υλοποίησης ενός υβριδικού συστήματος. Αναλύονται τα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά του προτεινόμενου σχεδίου το οποίο θέτει ως στόχο την εξασφάλιση επαρκών ποσοτήτων νερού με το χαμηλότερο δυνατό κόστος και την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ για την ενεργειακή αυτονομία του νησιού. Το σύνολο των προτεινόμενων μέτρων αποσκοπεί σε μία αειφορική διαχείριση που θα στοχεύει στην κοινωνική ευημερία της τοπικής κοινωνίας, στην προστασία και στο σεβασμό του περιβάλλοντος και στην οικονομική ευημερία.

Λέξεις Κλειδιά: Αγαθονήσι, ΑΠΕ, Συστήματα αφαλάτωσης νερού, Υβριδικά συστήματα.

## Abstract

This thesis focuses on two of the major problems of insular space, through the case study of the Greek island of Agathonisi. This island is part of the Dodecanese group and it is located in a particularly sensitive area near the Turkish coast. The lack of water resources in combination with high price of electric power, are two of the basic problems that determine the growth potential and the sustainability of this place.

In order to find a holistic treatment of the above problems, any particular characteristics of the island were evaluated. These characteristics in combination with scientific knowledge in a number of fields (such as water desalination systems, energy storage systems, hydroelectric power-turbines, components and application examples of hybrid systems) contributed to identify any possible practices, and finally the best one, in the case of Agathonisi.

Furthermore, in this thesis, both the current and future energy and water needs of the municipality of Agathonisi are estimated with the purpose of investigating the feasibility of a designed hybrid system. Afterwards, the technical and economic characteristics of such a project are analyzed in detail. The aim of the hybrid system is to provide sufficient quantities of water at the lowest possible cost and energy production from renewable energy at low cost (and also energy autonomy). The proposed measures aim at the local community social well-being, protection and respect to the environment and economic prosperity in the base of sustainable development.

**Keywords:** Agathonisi, Renewable energy sources, sea water desalination systems, hybrid systems.

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τους γονείς μου Ανδρέα και Μαρία Αυλωνίτη και τα αδέρφια μου Παναγιώτη και Κυριάκο Αυλωνίτη τόσο για την πνευματική αλλά και για την υλική βοήθειά τους.

Ευχαριστώ τον φίλο μου, συνάδελφο, συμφοιτητή και άνθρωπο που σπάνια γνωρίζει κανείς στη ζωή του Μανώλη Ραλλιά για την αμέριστη βοήθειά του. Εύχομαι να τον συναντώ πολλές φορές στη ζωή μου.

Ευχαριστώ ακόμα όλο το διδακτικό προσωπικό και την γραμματεία του ΔΠΜΣ «Περιβάλλον – Ανάπτυξη» για την κατανόηση, την ανοχή και την βοήθειά τους στο πρόσωπό μου. Ελπίζω να σας δικαίωσα.

Πάνω από όλα ευχαριστώ την οικογένειά μου. Την γυναίκα μου Σοφία Αθανασοπούλου, που τώρα είναι δική της σειρά να τελειώσει το δικό της μεταπτυχιακό, και, τα παιδιά μου Μάριο και Νικόλα Αυλωνίτη. Ήσασταν η έμπνευσή μου και το κίνητρό μου. Σας αγαπώ πολύ-πολύ και χαίρομαι που θα είναι και επίσημα γραμμένο σε ένα κείμενο που, άγνωστο, μπορεί να είναι εργαλείο και για εσάς στο μέλλον.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σύντομη Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Κατάλογος Συντομογραφιών .....	12
1 Εισαγωγή .....	13
1.1 Αντικείμενο Εργασίας .....	13
1.2 Διάρθρωση Εργασίας .....	14
2 Περιοχή Μελέτης - Δεδομένα .....	17
2.1 Δημογραφικά Στοιχεία .....	18
2.2 Παραγωγική Διάρθρωση .....	20
2.3 Δομημένο Περιβάλλον .....	26
2.4 Φυσικό Περιβάλλον .....	27
2.5 Συγκοινωνία .....	28
2.6 Μετεωρολογικά Στοιχεία .....	28
2.7 Στοιχεία Ύδρευσης και Άρδευσης .....	30
2.8 Στοιχεία Ηλεκτροδότησης .....	41
3 Συστήματα Αφαλάτωσης Νερού .....	44
3.1 Ορισμός .....	44
3.2 Τεχνολογίες Αφαλάτωσης Νερού .....	46
3.3 Τα Συστήματα Αφαλάτωσης σε Εθνικό Επίπεδο .....	51
4 Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας .....	56
4.1 Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές .....	59
4.2 Σφόνδυλοι .....	60
4.3 Αποθήκευση Πεπιεσμένου Αέρα .....	60
4.4 Αποθήκευση Υδρογόνου .....	61
4.5 Αντλησιοταμίευση .....	62
4.6 Συγκριτική Αξιολόγηση Συστημάτων .....	63
5 Υδροστρόβιλοι .....	64
5.1 Υδροστρόβιλοι Δράσεως .....	65
5.2 Υδροστρόβιλοι Αντιδράσεως .....	66
5.3 Επιλογή Τύπου Υδροστρόβιλου .....	70
6 Στοιχεία Υβριδικών Έργων .....	73

6.1	Ορισμός.....	73
6.2	Χρησιμοποίηση Αιολικής Ενέργειας για Μονάδα Αφαλάτωσης .....	75
6.3	Παραδείγματα Εφαρμογών Υβριδικών Συστημάτων .....	77
7	Μεθοδολογία .....	87
7.1	Στόχοι Σχεδιασμού για το Σύστημα Αγαθονησίου .....	87
7.2	Μελλοντική Ζήτηση Νερού και Ενέργειας.....	88
7.3	Υψομετρικά Δεδομένα .....	92
7.4	Αιολικό Δυναμικό .....	93
8	Πρόταση.....	98
8.1	Τεχνική Περιγραφή του Έργου .....	98
8.2	Ανεμογεννήτρια .....	101
8.3	Νέα Μονάδα Αφαλάτωσης .....	105
8.4	Δίκτυο Υδροδότησης .....	106
8.5	Υδροηλεκτρικό – Αντλιοστάσιο .....	107
8.6	Κεντρική Μονάδα Εποπτικού Ελέγχου (ΚΜΕ).....	109
8.7	Συνολικό Σύστημα .....	109
9	Οικονομική Αξιολόγηση του Προτεινόμενου Έργου.....	112
9.1	Κόστος Κατασκευής .....	112
9.2	Κόστος Λειτουργίας.....	113
9.3	Συγκριτική Αξιολόγηση .....	115
10	Συμπεράσματα – Μελλοντική Έρευνα .....	117
	Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	122

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1	Πληθυσμιακή εξέλιξη μόνιμου πληθυσμού Αγαθονησίου .....	19
Πίνακας 2.2	Πληθυσμιακή εξέλιξη πραγματικού πληθυσμού Αγαθονησίου.....	19
Πίνακας 2.3	Ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού των νήσων Αγαθονησίου και Λειψών (Απογραφή 2001).....	20
Πίνακας 2.4	Στοιχεία απασχόλησης ανά παραγωγικό τομέα (Απογραφή 2001) ..	21
Πίνακας 2.5	Χρήση φυτικής κάλυψης στο Αγαθονήσι και στα Δωδεκάνησα .....	22
Πίνακας 2.6	Διάρθρωση καλλιεργειών Δήμου Αγαθονησίου ανά κατηγορία .....	22
Πίνακας 2.7	Διάρθρωση καλλιεργειών Δήμου Αγαθονησίου ανά είδος.....	23



Πίνακας 2.8 Διάρθρωση ζωικού πληθυσμού Αγαθονησίου .....	24
Πίνακας 2.9 Διάρθρωση εκμεταλλεύσεων αιγοπροβατοτροφίας.....	25
Πίνακας 2.10 Τουριστικά καταλύματα στο Αγαθονήσι .....	26
Πίνακας 2.11 Κλιματολογικά στοιχεία ανά μήνα από τον μετεωρολογικό σταθμό της Λέρου της περιόδου 1986-2013 .....	29
Πίνακας 2.12 Δεξαμενές αποθήκευσης νερού του Δήμου Αγαθονησίου.....	31
Πίνακας 2.13 Πληθυσμιακά δεδομένα Δ. Αγαθονησίου ανά μήνα.....	34
Πίνακας 2.14 Πληθυσμιακά δεδομένα και ζήτηση νερού Δ. Αγαθονησίου ανά μήνα & ημέρα .....	35
Πίνακας 2.15 Κόστος νερού (παραγωγής και διάθεσης) του συστήματος αφαλάτωσης ανά έτος .....	39
Πίνακας 2.16 Στοιχεία παραγωγής και κόστους της μονάδας αφαλάτωσης ανά μήνα .....	40
Πίνακας 2.17 Ζήτηση ενέργειας στο νησί του Αγαθονησίου 2008-2013 .....	42
Πίνακας 3.1 Μεταφερόμενες ποσότητες νερού προς το Αγαθονήσι (στοιχεία 2006) .....	52
Πίνακας 4.1 Βασικά χαρακτηριστικά των μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας.....	63
Πίνακας 5.1 Ταξινόμηση υδροστρόβιλων .....	64
Πίνακας 6.1 Ιδιαιτερότητες νησιωτικού χώρου που επηρεάζουν την προσφορά υδατικών πόρων:.....	74
Πίνακας 6.2 Τα χαρακτηριστικά του υβριδικού έργου της Ικαρίας σύμφωνα με την μελέτη.....	80
Πίνακας 6.3 Τα στοιχεία του υβριδικού συστήματος της κοινότητας wales.....	85
Πίνακας 7.1 Ανάγκες ύδρευσης σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση.....	88
Πίνακας 7.2 Μελλοντικές ανάγκες ύδρευσης/άρδευσης (δεδομένα σχεδιασμού συστήματος).....	90
Πίνακας 7.3 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση .....	91
Πίνακας 8.1 Στοιχεία αποδοτικότητας της Α/Γ ENERCON E33 - 330 kW με βάση την ταχύτητα ανέμου .....	103
Πίνακας 9.1 Εκτιμώμενες δαπάνες προμήθειας και εγκατάστασης του προτεινόμενου έργου .....	112
Πίνακας 9.2 Εκτιμώμενες λειτουργικές δαπάνες έργου .....	114
Πίνακας 9.3 Δαπάνες ύδρευσης/ηλεκτροδότησης χωρίς την υλοποίηση του προτεινόμενου έργου (για 25 έτη) .....	115

Πίνακας 9.4 Δαπάνες ύδρευσης/ηλεκτροδότησης μετά την υλοποίηση του προτεινόμενου έργου (για 25 έτη) .....	116
---	-----

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 Γενική άποψη περιοχής αναφοράς (Πηγή: Google Maps).....	17
Σχήμα 2.2 Ισοβαθείς καμπύλες στην περιοχή του Αγαθονησίου (Πηγή: Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού).....	18
Σχήμα 2.3 Το υφιστάμενο σύστημα υδροδότησης του Αγαθονησίου (Πηγή: Ιδία επεξεργασία) .....	33
Σχήμα 2.4 Γενικό σχέδιο εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης Αγαθονησίου (Πηγή: <a href="https://agathonisiafalatosi.wordpress.com/about/">https://agathonisiafalatosi.wordpress.com/about/</a> ) .....	38
Σχήμα 3.1 Βασικές ροές στην διαδικασία της αφαλάτωσης (Πηγή: Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011) .....	44
Σχήμα 3.2 Η κατηγοριοποίηση των βασικών συστημάτων αφαλάτωσης (Πηγή: Al-Karaghoulis et al., 2009) .....	47
Σχήμα 3.3 Οι βασικές διεργασίες σε μία μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης (Πηγή: Al-Karaghoulis et al., 2009) .....	49
Σχήμα 3.4 Πιθανοί συνδυασμοί ΑΠΕ και συστημάτων αφαλάτωσης (Πηγή: Al-Karaghoulis et al., 2009) .....	50
Σχήμα 3.5 Η ανάλυση του κόστους μίας μονάδας αφαλάτωσης (Πηγή: Καρταλίδης, 2011).....	53
Σχήμα 3.6 Αφαλατωμένο νερό στην Ελλάδα ανάλογα: (α) την χρήση του και (β) την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία (Πηγή: Zotalis et al., 2014).....	54
Σχήμα 3.7 Λειτουργικό κόστος (€/m <sup>3</sup> ) μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού στα ελληνικά νησιά (Πηγή: Zotalis et al., 2014) .....	55
Σχήμα 4.1 Σχηματική παράσταση ενός μηχανικού σφονδύλου (Πηγή: Ανδρίτσος, 2008) .....	60
Σχήμα 4.2 Βασική διάταξη της τεχνολογίας αποθήκευσης πεπιεσμένου αέρα ή αερίου (Πηγή: Παπαντώνης, 2009) .....	61
Σχήμα 4.3 Γραφική απεικόνιση ενός τυπικού συστήματος αντλησιοταμίευσης (Πηγή: Miller and Winters, 2009) .....	62
Σχήμα 5.1 Υδροστρόβιλος Francis (Πηγή: Κατερινόπουλος, 2007).....	68
Σχήμα 5.2 Διάγραμμα επιλογής υδροστρόβιλου για δεδομένη παροχή και καθαρό υδραυλικό ύψος (Πηγή: Μπέρτσου, 2016).....	71
Σχήμα 6.1 Η πλωτή μονάδα αφαλάτωσης στην Ηρακλεία (Πηγή: Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011) .....	78

Σχήμα 6.2 Διάγραμμα και χαρακτηριστικά του έργου στην Ικαρία (Πηγή: Κατσάφαρος, 2011) .....	81
Σχήμα 6.3 Άποψη των βασικών συνιστωσών του συστήματος στο El Hierro (Πηγή: <a href="http://greeklignite.blogspot.gr/2014/05/1-0.html">http://greeklignite.blogspot.gr/2014/05/1-0.html</a> ) .....	84
Σχήμα 7.1 Μελλοντική μηνιαία ζήτηση για νερό ύδρευσης στο Αγαθονήσι.....	89
Σχήμα 7.2 Μηνιαία ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (Πηγή: Ιδία επεξεργασία) .....	92
Σχήμα 7.3 Υπομετρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης (Πηγή: Ιδία επεξεργασία) .....	93
Σχήμα 7.4 Αιολικό δυναμικό στο Δήμο Αγαθονησίου (Πηγή: ΚΑΠΕ, Ιδία επεξεργασία) .....	95
Σχήμα 7.5 Συνολική καταγραφή δεδομένων υδροδότησης/ηλεκτροδότησης (Πηγή: Ιδία επεξεργασία) .....	97
Σχήμα 8.1 Εσωτερική διαμόρφωση του ΥΒΕ Αγαθονησίου συμπεριλαμβανομένου του ΤΣΠ της ΔΕΗ (Πηγή: Ιδία επεξεργασία) .....	99
Σχήμα 8.2 Η συνολική πρόταση του υβριδικού συστήματος Αγαθονησίου (Πηγή: Ιδία επεξεργασία) .....	100
Σχήμα 8.3 Εξίσωση καμπύλης ισχύος της Α/Γ ENERCON E33 - 330 kW (Πηγή: ENERCON, 2016) .....	102
Σχήμα 8.4 Σχηματική απεικόνιση λειτουργία του προτεινόμενου συστήματος ύδρευσης/ηλεκτροδότησης (Πηγή: Ιδία επεξεργασία) .....	110

CAES	Compressed Air Energy Storage
ED	Electrodialysis
MED	Multi-Effect Distillation
MSF	Multi-Stage Flash distillation
RO	Reverse Osmosis
TDS	Total Dissolved Solids
VC	VaporCompression Distillation
Α.Π.Ε.	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
Α/Γ	Ανεμογεννήτρια
Δ.Ε.Η.	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
Ε.Ε.	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΛ.ΣΤΑΤ.	Ελληνική Στατιστική Αρχή
Κ.Α.Π.Ε.	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
Μ.Δ.Ν.	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
Ρ.Α.Ε.	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
Φ/Β	Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί

### 1.1 Αντικείμενο Εργασίας

Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται σε μεγάλο βαθμό από την πολυνησιωτικότητα και την επαφή της με την θάλασσα. Τα νησιά του Αιγαίου και κυρίως τα μικρότερα και πλέον απομακρυσμένα αντιμετωπίζουν μία σειρά σημαντικών προκλήσεων που εν τέλει θα καθορίσουν αν οι περιοχές αυτές θα επιβιώσουν. Το Αγαθονήσι εντάσσεται στο σύμπλεγμα των Δωδεκανήσων και αποτελεί ιδιαίτερα ευαίσθητη περιοχή για την χώρα από κάθε άποψη (παραμεθόριος περιοχή με μικρό πληθυσμό, μεγάλο φυσικό πλούτο κλπ). Ένα από τα βασικότερα προβλήματα του Αγαθονησίου- και όχι μόνο- αποτελεί η έλλειψη υδατικών πόρων. Το νερό αποτελεί ίσως το σημαντικότερο παράγοντα ζωής και ευημερίας και είναι αναντικατάστατο. Η μέχρι σήμερα λύση της μεταφοράς νερού κοστίζει πολλά χρήματα και προσφέρει ελάχιστες δυνατότητες ανάπτυξης για το νησί. Η προμήθεια νερού με υδροφόρα πλοία κοστίζει γύρω στα 12,5 ευρώ ανά κυβικό, γεγονός που καθιστά την χρήση του νερού ως αγαθού πολυτελείας.

Παράλληλα με το πρόβλημα υδροδότησης, το Αγαθονήσι όπως και άλλες νησιωτικές περιοχές έχουν να αντιμετωπίσουν και το πρόβλημα της επάρκειας αλλά και του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας. Το Αγαθονήσι διαθέτει ένα μικρό σταθμό παραγωγής ενέργειας που λειτουργεί με πετρέλαιο, ο οποίος καλύπτει το σύνολο της ζήτησης. Η παραγωγή ενέργειας όμως σε τέτοιες περιοχές λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους συνεπάγεται υπέρογκο κόστος για τον πάροχο ενέργειας αλλά και περιορισμούς ως προς την κατανάλωση. Έτσι η εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης, που αποτελούν λύση για το πρόβλημα της υδροδότησης, πολλές φορές κωλύεται από την έλλειψη ηλεκτρικής ενέργειας ή επιβαρύνει το ήδη υψηλό κόστος ηλεκτροδότησης των περιοχών αυτών. Από την άλλη πλευρά η εισαγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε μικρά συστήματα είναι ιδιαίτερα δύσκολη και δεν μπορεί να ξεπερνάει το 20% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας, χωρίς ειδικό σχεδιασμό.

Στο γενικότερο πλαίσιο των ευρωπαϊκών και παγκόσμιων στρατηγικών το Αγαθονήσι θα πρέπει να εισφέρει σε στόχους προστασίας του περιβάλλοντος

(όπως οι στόχοι της ΕΕ για το 2020) και να εφαρμόσει βιώσιμες πολιτικές. Σε αυτό το πλαίσιο στην παρούσα εργασία προτείνεται ένα ολιστικό και σύνθετο σύστημα που σκοπεύει:

-Στην αξιοποίηση των φυσικών πόρων για την παραγωγή καθαρής και φθηνής ενέργειας από ΑΠΕ, με στόχο την αυτονομία του νησιού,

-Στην παραγωγή και διανομή ικανών ποσοτήτων νερού στην χαμηλότερη δυνατή τιμή για την ανάπτυξη των παραγωγικών δραστηριοτήτων του νησιού,

-Στην απεξάρτηση του νησιού από ακριβούς μεταφερόμενους πόρους (νερό, πετρέλαιο), με στόχο μία αειφορική διαχείριση.

## 1.2 Διάρθρωση Εργασίας

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων εκπονήθηκε η συγκεκριμένη εργασία που ουσιαστικά αποτελείται από δύο βασικά μέρη. Στο πρώτο μέρος (Κεφάλαια 2 έως 6) γίνεται ανάλυση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του Αγαθονησίου και παρουσίαση των βασικών επιλογών επίλυσης των προβλημάτων ύδρευσης και ηλεκτροδότησης. Στα εναπομείναντα κεφάλαια γίνεται η παρουσίαση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος και η οικονομική αποτίμηση του.

Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο 2 παρατίθενται τα βασικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, εστιάζοντας στα στοιχεία εκείνα που είναι καταλυτικά για την ανάπτυξη και εξέλιξη της περιοχής. Στο κεφάλαιο αυτό, επίσης, παρουσιάζονται μετεωρολογικά στοιχεία για το νησί, τα οποία αποτελούν την βάση διερεύνησης για την εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στα στοιχεία του αιολικού δυναμικού για την διερεύνηση της ελκυστικότητας της αιολικής ενέργειας. Κατόπιν γίνεται παρουσίαση του υπάρχοντος συστήματος ηλεκτροδότησης και ύδρευσης/ άρδευσης του Δήμου Αγαθονησίου, με λεπτομερή αναφορά στα επιμέρους στοιχεία του.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύονται οι κύριες τεχνολογίες αφαλάτωσης νερού. Αναφέρονται τα χαρακτηριστικά της κάθε μεθόδου καθώς και οι δυνατότητες ηλεκτροδότησης τους μέσω ΑΠΕ. Σε ξεχωριστό υποκεφάλαιο αναφέρεται η επιλογή των συστημάτων αφαλάτωσης στον εθνικό χώρο καθώς και το κόστος

παραγωγής νερού ανάλογα την μέθοδο, την δυναμικότητα της μονάδας, την περιοχή χωροθέτησης κλπ.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, τα οποία είναι απαραίτητα για την επίτευξη υψηλών ποσοστών ΑΠΕ στο σύστημα χωρίς προβλήματα. Στο τέλος υπάρχει μία συγκριτική αξιολόγηση των πιο γνωστών συστημάτων με βάση την κλίμακα εφαρμογής, το κόστος, τα προβλήματα κλπ. σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να καταδειχθούν οι βέλτιστες λύσεις στην αποθήκευση ενέργειας για την εφαρμογή ΑΠΕ στο Αγαθονήσι.

Στο επόμενο κεφάλαιο (5<sup>ο</sup>) παρουσιάζονται συνοπτικά οι δύο βασικές κατηγορίες υδροστρόβιλων καθώς και οι επιμέρους υποκατηγορίες τους. Μέσα από την παρουσίαση αυτή επιχειρείται ο εντοπισμός εκείνων των στοιχείων που θα καταδείξουν την βέλτιστη λύση για την εφαρμογή ενός μικρού υδροηλεκτρικού συστήματος στο Αγαθονήσι.

Στο κεφάλαιο 6 δίνονται στοιχεία σχετικά με τα υβριδικά έργα ανά τον κόσμο, την σημασία τους και τον λόγο υλοποίησής τους. Παράλληλα παρατίθενται παραδείγματα από την υλοποίηση υβριδικών έργων τόσο στην Ελλάδα όσο και στον υπόλοιπο κόσμο. Σε αυτό το σημείο γίνεται προσπάθεια να δοθεί μία συνοπτική εικόνα υβριδικών έργων με μεγάλη σημασία στα έργα των οποίων τα χαρακτηριστικά και τα μεγέθη προσομοιάζουν με την περίπτωση του Αγαθονησίου.

Στην αρχή του κεφαλαίου 7 θέτονται οι επιμέρους στόχοι του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος και του σχεδιασμού. Στην συνέχεια γίνεται εκτίμηση και παρουσίαση των μελλοντικών αναγκών ενέργειας και υδατικών πόρων για το Δήμο Αγαθονησίου. Το κεφάλαιο αυτό ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των υψομετρικών δεδομένων της περιοχής μελέτης και του αιολικού δυναμικού.

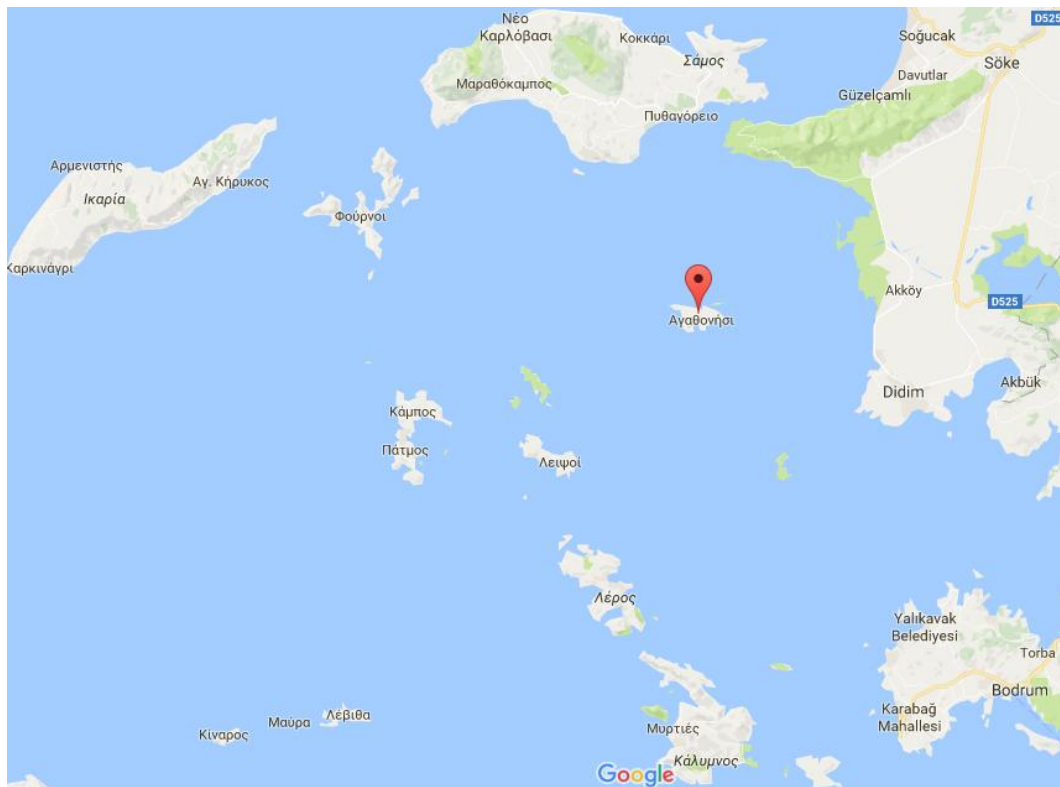
Το κεφάλαιο 8 περιλαμβάνει τα στοιχεία της πρότασης για το υβριδικό σύστημα Αγαθονησίου ενώ στο κεφάλαιο 9 γίνεται εκτίμηση των οικονομικών μεγεθών του συστήματος και συγκριτική αξιολόγηση με βάση το υφιστάμενο καθεστώς.

Τέλος, στο κεφάλαιο 10 παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα της μελέτης καθώς και σημεία προς περαιτέρω προβληματισμό και έρευνα σε ένα επόμενο στάδιο.

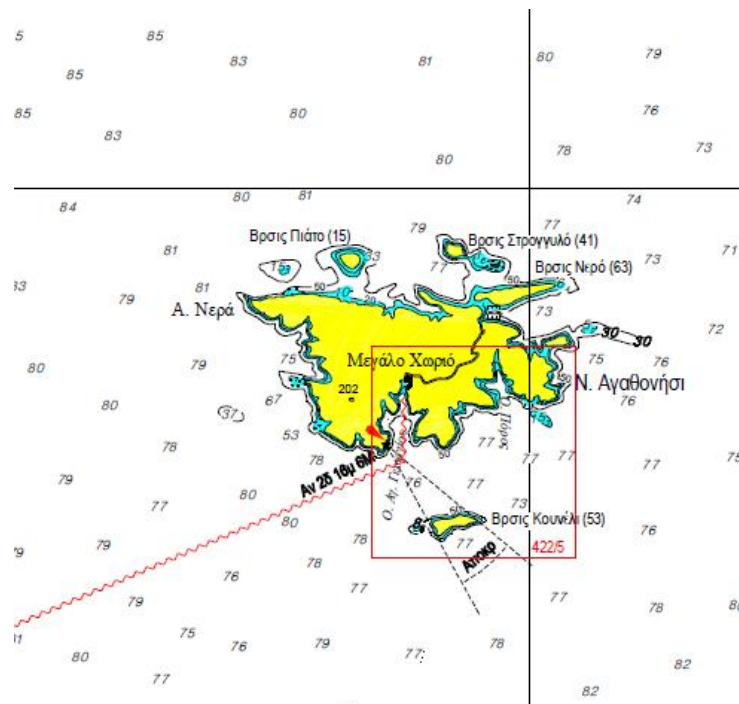


## 2 Περιοχή Μελέτης - Δεδομένα

Η πρόταση εφαρμογής του υβριδικού συστήματος ενέργειας αφορά το Αγαθονήσι. Το Αγαθονήσι είναι το βορειότερο νησί του συμπλέγματος της Δωδεκανήσου, αποτελώντας το βορειοανατολικό όριο μεταξύ της Δωδεκανήσου και του θαλάσσιου χώρου με τις εγγύς Μικρασιατικές ακτές και κυρίως τις εκβολές του Μαιάνδρου ποταμού και της Μιλήτου. Το νησί έχει έκταση 14,4 km<sup>2</sup> και ακτογραμμή 32 km ενώ το συνολικό οδικό του δίκτυο ανέρχεται σε 10 περίπου km. Απέχει 25 ναυτικά μιλιά από την Πάτμο, 18 από τη Σάμο και μόλις 8 μιλιά από τα Μικρασιατικά παράλια. Ο μόνιμος πληθυσμός του, κατά την τελευταία απογραφή, ανέρχονταν σε 186 κατοίκους (Απογραφή ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2011) και η μέση πληθυσμιακή πυκνότητα ανέρχεται σε 13,8 κατοίκους/km<sup>2</sup> (Ιστοσελίδα Δήμου Αγαθονησίου).



Σχήμα 2.1 Γενική άποψη περιοχής αναφοράς (Πηγή: Google Maps)



Σχήμα 2.2 Ισοβαθείς καμπύλες στην περιοχή του Αγαθονησίου (Πηγή: Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού)

Κατά την Ιταλοκρατία, το νησί ονομάστηκε Γαϊδουρονήσι, δηλωτικό του σχήματός του, κι έτσι αναγράφεται και σε πολλούς ναυτικούς χάρτες. Η σημερινή ονομασία Αγαθονήσι οφείλεται σε παρετυμολογία του φυτού Αγκαθόχορτου που φύεται άφθονο στο νησί. Το Αγαθονήσι περιβάλλεται από έξι βραχονησίδες: το Κουνέλι ή Κουνελονήσι στα νότια, το Νερό ή Νερονήσι, την Στρογγυλή ή Στρογγυλό, την Πίτα ή Πιάτο ή Ψαθονήσι ή Ψαθώ και Πράσο στα βόρεια και το Κατσαγάνι ή Γλάρο στα ανατολικά. Είναι ιδανικός τόπος για περίπλου με σκάφος (Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, 2014).

### 2.1 Δημογραφικά Στοιχεία

Ο **μόνιμος πληθυσμός** του Αγαθονησίου σύμφωνα με τα στοιχεία της τελευταίας (2011) απογραφής της ΕΛ.ΣΤΑΤ ανέρχεται σε **185 κατοίκους**. Η εξέλιξη του μόνιμου πληθυσμού κατά τις τελευταίες απογραφές ήταν θετική, με την πληθυσμιακή αύξηση να υπολογίζεται σε 22%. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι ο μόνιμος πληθυσμός του Αγαθονησίου παρουσίασε μία σημαντική αύξηση την τελευταία δεκαετία παρότι σαν απόλυτο μέγεθος παραμένει μικρός. Αυτή η αύξηση μάλιστα είναι κατά πολύ σημαντικότερη από την τάση που

παρατηρήθηκε τόσο σε επίπεδο Δωδεκανήσων όσο και σε επίπεδο Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου.

Πίνακας 2.1 Πληθυσμιακή εξέλιξη μόνιμου πληθυσμού Αγαθονησίου

	Απογραφή 2001	Απογραφή 2011	Μεταβολή 2001-2011
Αγαθονήσι	152	185	21,7%
Δωδεκάνησα	188.506	190.988	1,3%
Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου	298.462	308.975	3,5%

Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ.

Για μία πληρέστερη εικόνα της πληθυσμιακής εξέλιξης του Αγαθονησίου παρατίθενται επίσης στοιχεία του πραγματικού πληθυσμού από το 1951 έως το 2011. Ο πραγματικός πληθυσμός αν και είναι ένας δείκτης που δεν αποδίδει το μόνιμο πληθυσμό του νησιού και εισάγει στρεβλώσεις στα όποια αποτελέσματα εντούτοις αποδίδει μία γενική αίσθηση της πληθυσμιακής μεταβολής. Επιπρόσθετα ο συγκεκριμένος δείκτης είναι ο μοναδικός διαθέσιμος στις παλαιότερες απογραφές και το μοναδικό αξιόπιστο στατιστικό δεδομένο που παρέχει η ΕΛΣΤΑΤ για τις προηγούμενες δεκαετίες.

Πίνακας 2.2 Πληθυσμιακή εξέλιξη πραγματικού πληθυσμού Αγαθονησίου

	Στοιχεία απογραφών πληθυσμού						
	1951	1961	1971	1981	1991	2001	2011
Αγαθονήσι	196	189	160	133	112	158	186
Δωδεκάνησα	121.480	123.021	121.017	145.071	163.476	190.071	242.270
Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου	247.439	222.980	207.354	233.529	257.481	302.686	366.795

Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ.

Από τα στοιχεία του πραγματικού πληθυσμού του Αγαθονησίου προκύπτει ότι το διάστημα 1951 έως και 1991 σημειώθηκαν αρνητικές μεταβολές. Από το 1991 έως και το 2011 η κατάσταση αντιστράφηκε και ο πραγματικός πληθυσμός με βάση την τελευταία πληθυσμιακή απογραφή απέχει μόλις 10 κατοίκους από τον

πληθυσμό του 1951, που ήταν και ο μέγιστος της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου.

Για λόγους πληρότητας των στοιχείων της ανάλυσης της πληθυσμιακής σύνθεσης στην συνέχεια παρατίθενται στοιχεία σχετικά με την ηλικιακή δομή του πληθυσμού με βάση την απογραφή του 2011. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι τα στοιχεία αυτά αφορούν το Αγαθονήσι και τους γειτονικούς Λειψούς καθότι παρέχονται (μόνο) ενοποιημένα από την ΕΛΣΤΑΤ. Με την γενική παραδοχή ότι τα δύο αυτά νησιά δεν θα έχουν μεγάλες αποκλίσεις στα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά τους, τα στοιχεία αυτά μπορούν να προσδώσουν μία γενική εικόνα της πληθυσμιακής πραγματικότητας.

Πίνακας 2.3 Ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού των νήσων Αγαθονησίου και Λειψών (Απογραφή 2001)

ΦΥΛΟ	ΗΛΙΚΙΑΚΕΣ ΟΜΑΔΕΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΤΟΜΩΝ
Άρρενες	0-14	63
	15-24	54
	25-64	292
	65 και άνω	93
Θήλειες	0-14	60
	15-24	53
	25-64	259
	65 και άνω	101
<b>Σύνολο</b>		<b>716</b>

Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ.

## 2.2 Παραγωγική Διάρθρωση

Οι κάτοικοι του Αγαθονησίου ασχολούνται κυρίως με τον πρωτογενή τομέα παραγωγής με τις κύριες δραστηριότητες τους να είναι η κτηνοτροφία, η γεωργία και η αλιεία. Στο νησί εκτρέφονται περί τα 2.800 αιγοπρόβατα και παράγονται εξαιρετικά κτηνοτροφικά και γαλακτοκομικά προϊόντα, που εκτός από τις τοπικές ανάγκες κατανάλωσης εξάγονται και στα γύρω νησιά. Στις θάλασσες του νησιού υπάρχουν πλούσια αλιεύματα και ιχθυοκαλλιέργειες όπου απασχολούνται πολλοί κάτοικοι ως αλιεργάτες. Η περιοχή του Καθολικού στα βορειοανατολικά φιλοξενεί ιχθυοκαλλιέργειες και συγχρόνως αποτελεί αλιευτικό καταφύγιο ως

φυσικό λιμάνι. Τα τελευταία χρόνια αρκετοί ασχολούνται με τον τουρισμό, έχει δημιουργηθεί μικρή τουριστική υποδομή με μονάδες ενοικιαζομένων δωματίων που διαθέτουν περίπου 140 κλίνες. Γίνονται έργα υποδομής και καταβάλλονται προσπάθειες για μεγαλύτερη τουριστική ανάπτυξη (Δήμος Αγαθονησίου, 2016).

Η διάρθρωση της απασχόλησης του πληθυσμού τόσο σε επίπεδο νήσου όσο και σε επίπεδο νομού και περιφέρειας κατά τομέα παρατίθενται στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4 Στοιχεία απασχόλησης ανά παραγωγικό τομέα (Απογραφή 2001)

Διοικητική Ενότητα	Πρωτογενής		Δευτερογενής		Τριτογενής		Άλλες δραστηριότητες	Σύνολο
	Αριθμός εργαζομένων	Ποσοστό	Αριθμός εργαζομένων	Ποσοστό	Αριθμός εργαζομένων	Ποσοστό		
Αγαθονήσι	36	54%	11	16%	18	27%	2	67
Ν. Δωδεκανήσου	4.616	6%	13.394	16%	55.994	68%	8.332	82.336
Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου	9.854	8%	25.529	20%	80.932	63%	12.425	128.740

Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ

### 2.2.1 Φυτική Παραγωγή

Στο Αγαθονήσι υπάρχουν περιορισμένες εκτάσεις γεωργικής γης, οι οποίες εκτιμώνται σε 3% της συνολικής έκτασης του νησιού. Αυτό εν μέρει οφείλεται στο ανάγλυφο του νησιού και στην γεωμορφολογία του. Το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης του Αγαθονησίου καλύπτεται από φυσική βλάστηση η οποία είναι κυρίως μακκία, αποτελούμενη από θαμνώδη, φρυγανώδη ή ποώδη βλάστηση. Σημαντικό ποσοστό της επιφάνειας του νησιού καλύπτουν και οι βοσκότοποι, οι οποίοι ανέρχονται σε 3.800 στρέμματα. Οι εκτάσεις βοσκότοπων όμως, που

αξιοποιούνται, σύμφωνα με τον κατάλογο του δικαιώματος βοσκής για το 2013 του Δήμου Αγαθονησίου, είναι 2.292 στρέμματα.

Πίνακας 2.5 Χρήση φυτικής κάλυψης στο Αγαθονήσι και στα Δωδεκάνησα

Χρήσεις	Αγαθονήσι		Ν. Δωδεκανήσου	
	Έκταση (στρ.)	Ποσοστό	Έκταση (στρ.)	Ποσοστό
Γεωργική γη	500	3%	765.900	28%
Βοσκότοποι	3.800	26%	520.400	19%
Δάση	9.900	69%	1.200.500	44%
Λοιπές εκτάσεις	200	1%	217.200	8%
<b>Σύνολο</b>	<b>14.400</b>	<b>100%</b>	<b>2.704.000</b>	<b>100%</b>

Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ - Χρήσεις γης (Στατιστική) 1999-2000

Από τον Πίνακα 2.6 προκύπτει ότι από τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις η συντριπτική πλειοψηφία (96% του συνόλου) αφορά φυτά μεγάλης καλλιέργειας και λοιπές καλλιέργειες. Μικρό ποσοστό αποτελούν οι δενδρώδεις καλλιέργειες ενώ ακόμη μικρότερης σημασίας είναι οι καλλιέργειες αμπέλων και κηπευτικών ή θερμοκηπίων.

Πίνακας 2.6 Διάρθρωση καλλιεργειών Δήμου Αγαθονησίου ανά κατηγορία

Κατηγορία καλλιέργειας	Σύνολο έκτασης (στρ.)	Αρδευόμενη Έκταση (στρ.)
Φυτά μεγάλης καλλιέργειας και λοιπές καλλιέργειες	449	0
Κηπευτική γη, θερμοκήπια	1	0
Αμπέλια	1	0
Δενδρώδεις καλλιέργειες	18	0
Αγρανάπαυση	0	0
<b>Σύνολο Γεωργικής Γης</b>	<b>469</b>	<b>0</b>

Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ (Ετήσιο Στατιστικό Δελτίο 2009)

Ο Πίνακας 2.7 δίνει μία σαφέστερη εικόνα των καλλιεργειών στον Αγαθονήσι. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι υπάρχουν καλλιέργειες μικρής έκτασης που υποστηρίζουν την οικιακή οικονομία και τις ανάγκες των κατοίκων (φάβα, κρεμμύδια, αμπέλια), καλλιέργειες που αφορούν κυρίως την παραγωγή ζωοτροφών και υποστηρίζουν την κτηνοτροφία της περιοχής (σιτάρι, κριθάρι, βρώμη, βίκος) και κάποιες εκτάσεις με ελαιόδεντρα.

Πίνακας 2.7 Διάρθρωση καλλιεργειών Δήμου Αγαθονησίου ανά είδος

Είδος	Έκταση (στρ.)	Παραγωγή (kg)
Σιτάρι σκληρό	20	7.000
Λαθούρια (φάβα)	3	400
Κριθάρι για σανό	134	25.000
Βρώμη για σανό	172	21.000
Βίκος για σανό	120	15.000
Κρεμμύδια ξερά	1	800
Ελαιόδεντρα ελαιοποίησης	18	300
Άμπελοι για οινοπαραγωγή	1	300
Συκιές		400
Αμυγδαλιές		400
<b>Σύνολο</b>	<b>469</b>	

Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ (Ετήσιο Στατιστικό Δελτίο 2009)

### 2.2.2 Ζωική Παραγωγή

Η ζωική παραγωγή αποτελεί το σημαντικότερο τμήμα του πρωτογενή τομέα, που είναι ο τομέας που στηρίζει το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού του Αγαθονησίου. Μεγάλη σημασία για την παραγωγική διάρθρωση του νησιού έχει

η αιγοπροβατοτροφία που αφορά κατά κόρον εκτατική κτηνοτροφία. Με βάση στοιχεία από το μητρώο κτηνιατρικής και το δικαίωμα βοσκής του Δήμου Αγαθονησίου (στοιχεία του 2012) προκύπτει ότι συνολικά υπάρχουν 21 εκμεταλλεύσεις αιγοπροβατοτροφίας στο Αγαθονήσι. Τα υπόλοιπα ζώα που παρατηρούνται είναι περιορισμένα σε αριθμό και είτε έχουν υποστηρικτικό ρόλο (όνοι) είτε εξυπηρετούν κυρίως της οικογενειακές ανάγκες (κότες και βοοειδή).

Πίνακας 2.8 Διάρθρωση ζωικού πληθυσμού Αγαθονησίου

Είδος	Αριθμός Ζώων
Όνοι (αρσενικοί)	8
Όνοι (θηλυκοί)	5
Βοοειδή (αρσενικά)	9
Βοοειδή (θηλυκά)	24
Πρόβατα (κοπαδιάρικα)	340
Αίγες (κοπαδιάρικες)	1.300
Κότες	900

Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ (Ετήσιο Στατιστικό Δελτίο 2009)

Από τη διάρθρωση των εκμεταλλεύσεων διαπιστώνεται ότι οι μονάδες με τα περισσότερα ζώα είναι μικρές και ο αριθμός των ζώων κυμαίνεται από 11 έως 150. Καμία δε διαθέτει άδεια λειτουργίας. Λειτουργούν με υποτυπώδεις υποδομές, οι χώροι ενσταυλισμού είναι πρόχειροι (ιδιοκατασκευασμένοι) και χρησιμοποιούνται κυρίως για τη διαχείριση των ζώων. Η διατροφή των ζώων στηρίζεται κυρίως στη βόσκηση και τη συμπληρωματική τροφή. Σύμφωνα με τον πίνακα (φυτικής παραγωγής) καλλιεργούνται 426 στρ. για παραγωγή ζωοτροφών. Ο κύριος προσανατολισμός της κτηνοτροφίας του νησιού είναι η παραγωγή κρέατος ενώ η αξιοποίηση του γάλακτος είναι μικρή.



Πίνακας 2.9 Διάρθρωση εκμεταλλεύσεων αιγοπροβατοτροφίας

Διάρθρωση Εκμεταλλεύσεων	Εκμεταλλεύσεις	Σύνολο Ζώων	Αίγες	Πρόβατα
Εκμεταλλεύσεις με 1 – 10 ζώα	-	-	-	-
Εκμεταλλεύσεις με 11 – 150 ζώα	19	995	827	172
Εκμεταλλεύσεις με 151 – 300 ζώα	2	369	230	135
<b>Σύνολο</b>	<b>21</b>	<b>1.364</b>	<b>1.057</b>	<b>307</b>

Πηγή: Μητρώο Κτηνιατρικής 2012 & δικαίωμα βοσκής Δήμου Αγαθονησίου 2012

#### 2.2.2.1 Βοοτροφία

Από τις 21 εκμεταλλεύσεις που ασχολούνται με την εκτροφή αιγοπροβάτων, οι πέντε (3) εκτρέφουν και βοοειδή. Συνολικά εκτρέφονται 29 βοοειδή. Τα 11 είναι από 6Μ-24Μ, και τα 18 είναι άνω των 2 ετών. Ο αριθμός αυτός θεωρείται αξιόλογος, αναφορικά με το μέγεθος του νησιού (Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, 2014).

#### 2.2.2.2 Αλιεία

Στον Αγαθονήσι δραστηριοποιούνται δέκα (10) επαγγελματικά σκάφη μικρής παράκτιας αλιείας στα οποία απασχολούνται επαγγελματικά δεκαοκτώ (18) αλιείς και δέκα (10) σκάφη ερασιτεχνικής αλιείας. Στο νησί υπάρχουν επίσης τρεις (3) πλωτές μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας οι οποίες έχουν εγκατεστημένους κλωβούς σε πέντε (5) σημεία. Τα είδη που εκτρέφονται και οι παραγόμενες ποσότητες βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα (Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, 2014).

#### 2.2.3 Δευτερογενής Τομέας

Στον δευτερογενή τομέα απασχολείται μόνο το 16,4% του ενεργού πληθυσμού του Αγαθονησίου. Η παραγωγή τυροκομικών προϊόντων γίνεται σε οικογενειακή κλίμακα, εκτιμάται πως παράγονται 2.000 κιλά σκληρό τυρί και 2.000 μαλακό τυρί (τύπου μυζήθρας) και διοχετεύεται τοπικά, σε εντόπιους και τουρίστες (Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, 2014).

#### 2.2.4 Τριτογενής τομέας

Ο τουρισμός του νησιού ενισχύεται τα τελευταία χρόνια και αποτελεί την κυριότερη δραστηριότητα του τριτογενούς τομέα παραγωγής. Οι υποδομές τουριστικής φιλοξενίας αποτελούνται από μικρές μονάδες ενοικιαζόμενων δωματίων που αριθμούν 34 κλίνες, συνολικά.

Πίνακας 2.10 Τουριστικά καταλύματα στο Αγαθονήσι

Κατηγορία	Μονάδες	Δωμάτια	Κλίνες
Ξενοδοχεία	0	0	0
Λοιπά Καταλύματα	3	17	34
Σύνολο	3	17	34

Πηγή: Ξενοδοχειακό Επιμελητήριο Ελλάδας, Ομοσπονδία Ενοικιαζόμενων Δωματίων Δωδεκανήσου

Η εστίαση των επισκεπτών γίνεται στα καταλύματα της περιοχής ή στα εστιατόρια. Στο νησί δραστηριοποιούνται πέντε επιχειρήσεις εστίασης σύμφωνα με τα στοιχεία του μητρώου επιχειρήσεων της ΕΛΣΤΑΤ. (2008).

#### 2.3 Δομημένο Περιβάλλον

Το Αγαθονήσι έχει τρεις οικισμούς που βρίσκονται σε εγγύτητα μεταξύ τους και χωροθετούνται στο νότιο άκρο και σε μικρή απόσταση από το λιμάνι. Ο μεγαλύτερος και παλαιότερος οικισμός του νησιού είναι το **Μεγάλο Χωριό** ο οποίος χωροθετείται σε θέση όπου είναι αθέατος από την θάλασσα για την προστασία των κατοίκων από τις επιδρομές πειρατών. Αρχιτεκτονική ιδιαιτερότητά του είναι ο πέτρινος τοίχος γύρω από τα σπίτια με μεγάλες πόρτες - εισόδους στον οικισμό. Τα νεότερα χρόνια ο οικισμός επεκτάθηκε και αναπτύσσεται μέχρι το λιμάνι του **Αγίου Γεωργίου**. Ο δεύτερος οικισμός του Αγαθονησίου είναι το **Μικρό Χωριό**, το οποίο είναι απέναντι από το Μεγάλο Χωριό. Το Μεγάλο Χωριό αριθμεί σήμερα περί τους 120 κατοίκους, ενώ οι άλλοι δύο οικισμοί, το Μικρό Χωριό και ο Άγιος Γεώργιος που αποτελεί και το κύριο λιμάνι του νησιού, αριθμούν μόλις 15 κατοίκους ο καθένας (Δήμος Αγαθονησίου, 2016).

Σε ότι αφορά στο λιμάνι του Αγίου Γεωργίου που είναι η μοναδική «πύλη» επικοινωνίας του νησιού με τον υπόλοιπο κόσμο, εκείνο διαθέτει φαρδιά και μεγάλη προβλήτα με νότιο προσανατολισμό προστατεύοντας μικρά και μεγάλα σκάφη με ασφάλεια από τους βόρειους ανέμους. Έχει μικρούς κολπίσκους και αμμουδερές μικρές παραλίες γύρω του.

#### 2.4 Φυσικό Περιβάλλον

Το Αγαθονήσι είναι ενταγμένο στις προστατευόμενες περιοχές NATURA 2000 (Κωδικός GR4210010) ως πολύτιμο καταφύγιο σπάνιων πτηνών. Οι τύποι των οικοτόπων του Αγαθονησίου κατά το δίκτυο NATURA 2000 είναι οι εξής:

- Αβαθείς απόκρημνες βραχώδεις ακτές με βλάστηση στη Μεσόγειο, κολπίσκοι και κόλποι.
- Απόκρημνες βραχώδεις ακτές με βλάστηση στη Μεσόγειο (με ενδημικά *Limonium spp.*)
- Διαπλάσεις ή σχηματισμοί ή θαμνώδεις φυτοκοινωνίες με *Euphorbia dendroides*
- Φρύγανα *Sarcopoterium spinosum*
- Ασβεστολιθικά βράχια του Αιγαίου
- Θαλάσσια σπήλαια (Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, 2014).

Η γεωμορφολογία του χαρακτηρίζεται λοφώδης-ημιορεινή με έντονα διαμελισμένη ακτογραμμή, διασπώμενη από απάνεμους όρμους. **Η υψηλότερη κορυφή της νήσου είναι 209 μέτρα (Δένδρα)**, το έδαφος είναι βραχώδες και άγονο ενώ τα καλλιεργήσιμα εδάφη είναι λιγιστά και περιορίζονται στην ενδοχώρα, ανατολικά και δυτικά των οικισμών. Γεωλογικά το υπόβαθρο του νησιού κατ' εκτίμηση συνίσταται από μία ακολουθία μεταμορφωμένων ανθρακικών πετρωμάτων, κυρίως μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και κρυσταλλικών ασβεστόλιθων (Ιστοσελίδα Δήμου Αγαθονησίου).

Η χλωρίδα και η πανίδα είναι ιδιαίτερα αξιόλογη στις απόκρημνες ασβεστολιθικές περιοχές του βόρειου τμήματος του νησιού. Την χλωρίδα του νησιού απαντώνται είδη όπως: φρύγανα *salvia*, μεσογειακοί θαμνώνες με σχίνα,

μεσογειακά ξηρολίβαδα, αιγαιακά φρύγανα, χαρουπιές, αγκαραθιές, ασφόμελοι και ασπάλαθοι, χηνοπόδια και θαμνώδεις αγριελιές. Εντοπίζονται επίσης βιολέτες, νάρκισσοι, καμπανούλες που ανθίζουν στους βράχους και άγριες ορχιδέες. Σε ότι αφορά την πανίδα της περιοχής απαντώνται σπάνια είδη πτηνών όπως οι αιγαιόγλαροι, οι ασημόγλαροι, οι θαλασσοκόρακες, οι μαυροπετρίτες και οι αετογερακίνες που βρίσκουν καταφύγιο στις βραχονησίδες και τις απόκρημνες πλαγιές των ορεινών όγκων του νησιού (Ιστοσελίδα Δήμου Αγαθονησίου).

## 2.5 Συγκοινωνία

Συγκοινωνιακά το νησί εξυπηρετείται τέσσερις φορές την εβδομάδα με πλοίο και συνδέεται με τα νησιά Κάλυμνο, Λέρο, Λειψούς, Πάτμο, Αρκιούς και Σάμο (Πυθαγόρειο), δύο φορές με ταχύπλοο από Κάλυμνο μέχρι Αγαθονήσι και μια φορά την εβδομάδα με τη Ρόδο. Στο νησί επίσης λειτουργεί σύγχρονο ελικοδρόμιο.

Εκτός από τον κόλπο του Αγ. Γεωργίου (λιμάνι) υπάρχουν και άλλοι απάνεμοι και ιδανικοί για όσους επιθυμούν να αγκυροβολήσουν σε ήσυχα και πεντακάθαρα νερά, απολαμβάνοντας την ηρεμία της θάλασσας (Ιστοσελίδα Δήμου Αγαθονησίου).

## 2.6 Μετεωρολογικά Στοιχεία

Για το Αγαθονήσι δεν υπάρχουν μετεωρολογικά στοιχεία καθότι το νησί δεν διαθέτει μετεωρολογικό σταθμό. Διαθέσιμα μετεωρολογικά στοιχεία υπάρχουν για το νησί της Λέρου που βρίσκεται σε εγγύτητα και οι κλιματολογικές συνθήκες προσομοιάζουν σημαντικά με εκείνες του Αγαθονησίου. Στην συνέχεια παρατίθενται δεδομένα που αφορούν την χρονική περίοδο 1986-2013. Η μέση ετήσια θερμοκρασία που καταγράφεται στον προαναφερθέντα μετεωρολογικό σταθμό ανέρχεται στους 18,55 °C, ενώ οι μέσες μηνιαίες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 11,04 °C (Ιανουάριος) και 26,24 °C (Αύγουστος).

Η μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία αέρα 7,35 °C, καταγράφεται το μήνα Φεβρουάριο ενώ η μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία καταγράφεται τον Αύγουστο και ανέρχεται σε 29, 65 °C. Όσον αφορά τις απόλυτες ελάχιστες και

μέγιστες τιμές, η ελάχιστη καταγράφεται τον Φεβρουάριο και η τιμή της ανέρχεται στους 0,00°C, και η μέγιστη τον Ιούλιο όπου ο υδράργυρος ανέρχεται μέχρι και τους 36,80 °C. Το μέσο ύψος υετού καταγράφεται κατά το μήνα Νοέμβριο και η τιμή του ανέρχεται σε 965,63 mm.

Πίνακας 2.11 Κλιματολογικά στοιχεία ανά μήνα από τον μετεωρολογικό σταθμό της Λέρου της περιόδου 1986-2013

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μηνιαία θερμοκρασία	11,04	11,06	13,45	16,32	20,27	24,47	26,18	26,24	23,72	20,98	16,20	12,63
Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία	13,67	13,61	15,73	19,61	23,24	28,40	29,64	29,65	26,79	24,91	19,61	15,77
Μέση Ελάχιστη Θερμοκρασία	7,86	7,35	9,43	11,59	14,87	19,28	21,64	21,96	19,85	16,42	12,06	9,52
Απολύτως Μέγιστη Θερμοκρασία	16,6	18,80	21,40	27,40	26,80	33,60	36,80	36,60	31,80	29,40	26,20	19,00
Απολύτως Ελάχιστη Θερμοκρασία	2,40	0,00	2,60	5,20	7,40	12,20	2,20	16,40	12,00	10,00	4,40	2,40
Μέση Σχετική Υγρασία (%)	67,83	66,90	68,83	67,51	65,45	59,13	60,67	64,00	61,96	70,62	69,09	70,04
Μέσο Ύψος Υετού σε mm	83,20	86,00	49,60	46,30	16,47	0,25	0,00	0,37	12,10	3,57	95,63	67,70
Μέση Μηνιαία Διεύθυνση Ανέμων	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Μέση Ένταση Ανέμου σε Κόμβους	8,57	9,52	9,63	7,16	6,59	7,28	8,33	7,68	8,25	6,68	8,76	9,23

Πηγή: Μετεωρολογικός Σταθμός Λέρου

Επίσης, όπως φαίνεται στον Πίνακα που ακολουθεί, η μέση μηνιαία ένταση ανέμου καταγράφεται τον Μάρτιο με επικρατέστερη διεύθυνση τη Βόρεια και με τιμή 9,63 κόμβους. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία, για την ευρύτερη περιοχή της Λέρου, ανέρχεται σε 66%.

## 2.7 Στοιχεία Ύδρευσης και Άρδευσης

### 2.7.1 Πηγές Υδροδότησης

Οι ανάγκες του νησιού σε νερό ύδρευσης και άρδευσης καλύπτονται από τρεις διαφορετικές πηγές. Κατά προτεραιότητα οι ανάγκες του νησιού σε νερό καλύπτονται από τα εξής:

- Μονάδα αφαλάτωσης με δυναμικότητα 80 m<sup>3</sup>/μέρα
- Δημοτική γεώτρηση με δυνατότητα άντλησης 10-12 m<sup>3</sup>/ημέρα και
- Μεταφορά νερού με υδροφόρο πλοίο (1.500 m<sup>3</sup>/μήνα) κατά τους θερινούς μήνες (Μάιο – Σεπτέμβριο) που οι ανάγκες νερού είναι αυξημένες.

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι η γεώτρηση που βρίσκεται επί του δρόμου προς Μικρό Χωριό χρησιμοποιείται μόνο σε πολύ έκτακτες περιπτώσεις. Αυτό συμβαίνει διότι το νερό που μπορεί να προσφέρει στο σύστημα είναι της τάξης των 4 m<sup>3</sup>/ώρα και σε κάθε περίπτωση όχι περισσότερο από 10-12 m<sup>3</sup> ανά ημέρα. Επίσης το νερό από την γεώτρηση είναι χαμηλής ποιότητας (υφάλμυρο) και χρησιμοποιείται μόνο αφού αναμιχτεί με άλλες ποσότητες νερού. Επομένως η συγκεκριμένη πηγή υδροληψίας δεν θα συμπεριληφθεί στον σχεδιασμό αλλά θα αποτελεί όπως και σήμερα μία επιπρόσθετη πηγή σε έκτακτες περιπτώσεις. Κατά κάποιον τρόπο η δυναμικότητα της γεώτρησης θα αποτελέσει, για το παρόν σχέδιο, μία ακόμη δικλείδα ασφαλείας για την παροχή του απαραίτητου νερού για το νησί.

Επιπρόσθετα, πρέπει να αναφερθεί ότι η μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία είναι μία πολύ ακριβή επιλογή. Σύμφωνα με στοιχεία από τον Δήμο Αγαθονησίου (2016) το μέσο κόστος νερού που μεταφέρεται με πλοία ανέρχεται σε **12,5 ευρώ ανά κυβικό μέτρο νερού**. Επίσης σημαντικό κόστος προκύπτει και από την διακύμανση της ποσότητας παράδοσης ανάλογα με τις ανάγκες. Για παράδειγμα, στα συμβόλαια που υπογράφονται συνήθως προβλέπεται ότι αν ο δήμος μίας περιοχής αιτηθεί μικρότερες ποσότητες νερού (κατά 20% και πλέον) από αυτές που προέβλεπε η συμφωνία, τότε είναι υποχρεωμένος να αποζημιώσει τον ανάδοχο με το 80% του υπολειπόμενου ποσού. Τέλος, θα πρέπει να

επισημανθούν άλλοι παράγοντες που καταστούν την επιλογή της μεταφοράς νερού ως την χειρίστη δυνατή λύση, τέτοιοι παράγοντες είναι: οι κακοκαιρίες που μπορεί να ματαιώσουν την παράδοση κάποιου φορτίου, με προφανή αποτελέσματα, η αύξηση της ζήτησης για μεταφορά νερού που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην διαθεσιμότητα των πλοίων και στην τιμή των φορτίων κλπ.

### 2.7.2 Δεξαμενές Αποθήκευσης Νερού

Βασικό στοιχείο υδροδότησης του νησιού αποτελεί η λειτουργία τεσσάρων δεξαμενών αποθήκευσης νερού. Η μεγαλύτερη από αυτές χωροθετείται στο μεγαλύτερο οικισμό, όπου υπάρχει επίσης και μία μεταλλική δεξαμενή σε υψηλότερο σημείο ενώ από μία δεξαμενή υπάρχει και για τους άλλους δύο οικισμούς.

Πίνακας 2.12 Δεξαμενές αποθήκευσης νερού του Δήμου Αγαθονησίου

A/A	ΘΕΣΗ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (m <sup>3</sup> )
1	Μεγάλο Χωριό	1.100
2	Ελικοδρόμιο (μεταλλική δεξαμενή)	450
3	Μικρό Χωριό	200
4	Άγιος Γεώργιος	840

Πηγή: Δήμος Αγαθονησίου (2016)

Το υψόμετρο που βρίσκονται οι δεξαμενές αποθήκευσης του δικτύου υδροδότησης είναι το εξής (Δήμος Αγαθονησίου, 2016):

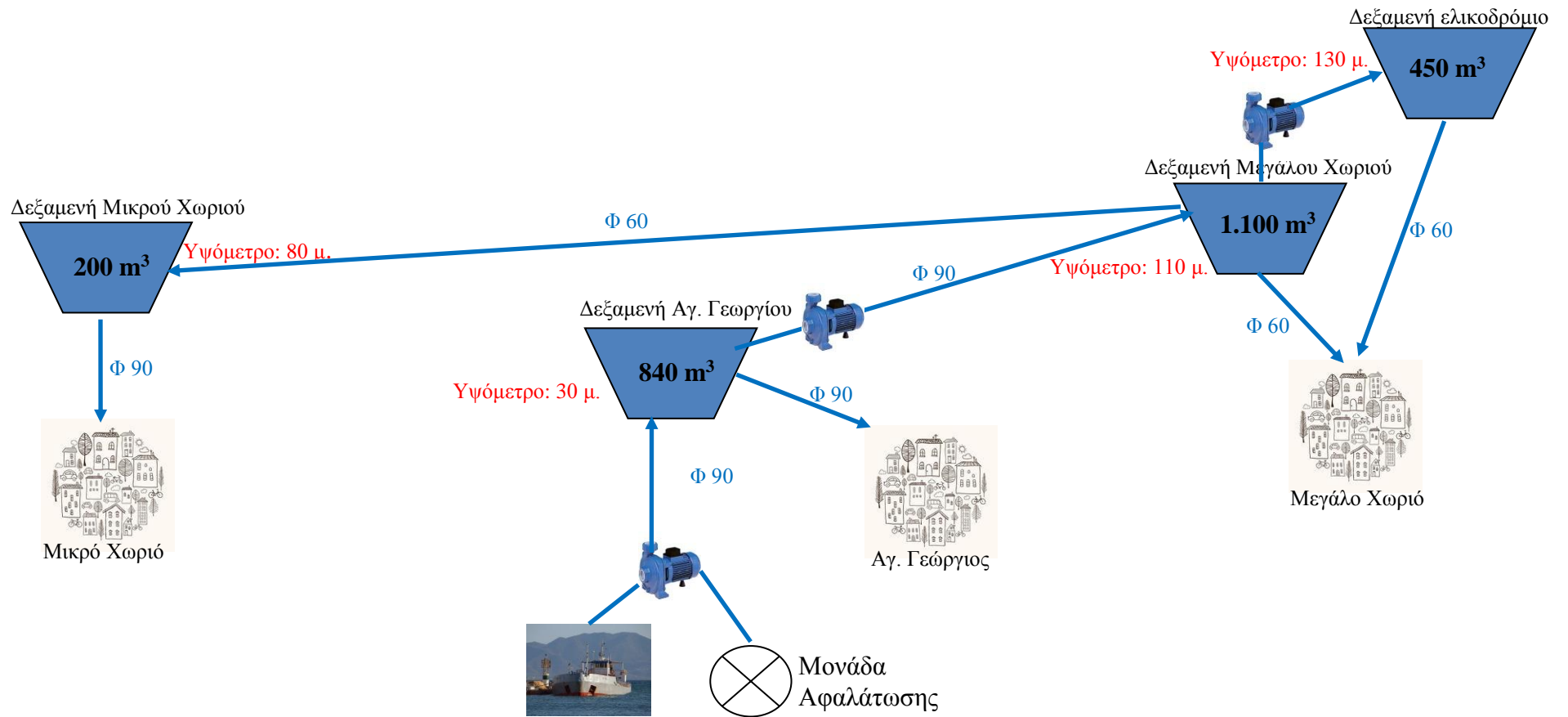
- ✚ Δεξαμενή Μεγάλου Χωριού: 110 μέτρα
- ✚ Δεξαμενή πλησίον ελικοδρομίου (Μεγάλο Χωριό): 130 μέτρα.
- ✚ Δεξαμενή Μικρού Χωριού: 80 μέτρα
- ✚ Δεξαμενή Αγίου Γεωργίου: 30 μέτρα

Το σύστημα υδροδότησης λειτουργεί ως εξής: το παραγόμενο νερό από την μονάδα αφαλάτωσης ή από το υδροφόρο πλοίο κατευθύνεται (με αντλίες) μέσω πλαστικού αγωγού Φ90 στην δεξαμενή του Αγίου Γεωργίου. Από την δεξαμενή του Αγίου Γεωργίου μέσω αντλιοστασίου (2 φυγοκεντρικές αντλίες) και πλαστικού αγωγού Φ90, το νερό κατευθύνεται προς την δεξαμενή του Μεγάλου

Χωριού. Από την δεξαμενή του Μεγάλου Χωριού με φυσική ροή και μέσω πλαστικού αγωγού Φ60 τροφοδοτούνται οι δεξαμενές του Μικρού Χωριού (Δήμος Αγαθονησίου, 2016).

Από τις δεξαμενές του Μικρού Χωριού υδροδοτούνται τα σπίτια του Μικρού Χωριού. Από τη δεξαμενή του Αγίου Γεωργίου με πλαστικό αγωγό Φ90 υδροδοτείται η περιοχή Αγίου Γεωργίου (λιμάνι) και από την δεξαμενή του μεγάλου χωριού υδροδοτείται ο αντίστοιχος οικισμός. Από την μεταλλική δεξαμενή που βρίσκεται πλησίον του ελικοδρομίου υδρεύεται η περιοχή «Καθολικό» και μέρος των σπιτιών του Μεγάλου Χωριού που βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο. Το νερό που φεύγει από τις δεξαμενές προς τα σπίτια και τις υπόλοιπες χρήσεις πηγαίνει με φυσική ροή (Δήμος Αγαθονησίου, 2016).





Σχήμα 2.3 Το υφιστάμενο σύστημα υδροδότησης του Αγαθονησιού (Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

### 2.7.3 Κατανάλωση Νερού

Από στοιχεία του Δήμου Αγαθονησίου και της ΕΛΣΤΑΤ προκύπτει ο πληθυσμός του νησιού κατά τους χειμερινούς και θερινούς μήνες. Δεδομένου ότι το νησί διαθέτει 34 τουριστικές κλίνες, ο μόνιμος πληθυσμός του είναι 185 άτομα ενώ στο νησί κατά τους θερινούς μήνες θα διαμένουν και άτομα που διαθέτουν παραθεριστικές οικίες, γίνεται η παραδοχή ότι ο μέγιστος πληθυσμός τους κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο θα ανέρχεται σε 500 και 600<sup>1</sup> άτομα, αντίστοιχα. Επίσης αυξημένος είναι και ο πληθυσμός που διαμένει στο νησί κατά τον Απρίλιο, Μάιο, τον Ιούνιο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Με βάση τα παραπάνω στοιχεία δημιουργείται ο Πίνακας 2.13.

Πίνακας 2.13 Πληθυσμιακά δεδομένα Δ. Αγαθονησίου ανά μήνα

Μήνας	Πληθυσμός
ΙΑΝ	185
ΦΕΒ	185
ΜΑΡ	185
ΑΠΡ	250
ΜΑΙ	350
ΙΟΥΝ	450
ΙΟΥΛ	550
ΑΥΓ	600
ΣΕΠ	400
ΟΚΤ	200
ΝΟΕ	185
ΔΕΚ	185

Πηγή: Δήμος Αγαθονησίου (2016); ΕΛΣΤΑΤ, ίδια επεξεργασία

Με βάση τα παραπάνω πληθυσμιακά δεδομένα γίνεται μία πρώτη εκτίμηση των υδατικών αναγκών. Με την υπόθεση ότι κάθε κάτοικος καταναλώνει κατά μέσο όρο 200 λίτρα<sup>2</sup> νερό ανά ημέρα προκύπτει η συνολική ζήτηση. Για να είναι περισσότερο αξιόπιστα τα στοιχεία και κοντά στις επίσημες καταγραφές του Δήμου, θα πρέπει επίσης να προβλεφθεί ένα συντελεστής αύξησης των αναγκών ύδρευσης λόγω: των απωλειών που παρουσιάζει το δίκτυο υδροδότησης, της χρήσης νερού για την κτηνοτροφία και άρδευση και την προμήθεια νερού σε

<sup>1</sup> Τα νούμερα αυτά βασίζονται σε στοιχεία από τον Δήμο Αγαθονησίου.

<sup>2</sup> Το συγκεκριμένο νούμερο προκύπτει από την βιβλιογραφία και θεωρείται ότι πλησιάζει αρκετά τη μέση απαίτηση νερού και στο Αγαθονήσι.

σκάφη του πολεμικού ναυτικού και του λιμενικού. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη ένα συντελεστή προσαύξησης της τάξης του 30% προκύπτει ο Πίνακας 2.14, που αποτυπώνει την σημερινή ημερήσια και μηνιαία ζήτηση νερού για τον Δήμο Αγαθονησίου.

Η συνολική ζήτηση νερού στον Δήμο Αγαθονησίου σήμερα κυμαίνεται στα 29.000 κυβικά μέτρα. Από τους υπολογισμούς του πίνακα που ακολουθεί προκύπτει ότι περίπου πέντε μήνες το χρόνο το παραγόμενο νερό από την μονάδα αφαλάτωσης δεν επαρκεί και ο Δήμος καταφεύγει στην επιλογή της μεταφοράς νερού με υδροφόρα πλοία. Τους μήνες Απρίλιο και Οκτώβριο το νερό της αφαλάτωσης επαρκεί αλλά η μονάδα πρέπει να λειτουργεί πολλές ώρες και δεν υπάρχουν μεγάλα περιθώρια σε περίπτωση τεχνικών βλαβών κλπ.

Πίνακας 2.14 Πληθυσμιακά δεδομένα και ζήτηση νερού Δ. Αγαθονησίου ανά μήνα & ημέρα

Μήνας	Πληθυσμός	Υφιστάμενη	
		Ημερήσια Ζήτηση (m <sup>3</sup> )	Μηνιαία Ζήτηση (m <sup>3</sup> )
ΙΑΝ	185	48,1	1.443
ΦΕΒ	185	48,1	1.443
ΜΑΡ	185	48,1	1.443
ΑΠΡ	250	65	1.950
ΜΑΙ	350	91	2.730
ΙΟΥΝ	450	117	3.510
ΙΟΥΛ	550	143	4.290
ΑΥΓ	600	156	4.680
ΣΕΠ	400	104	3.120
ΟΚΤ	200	52	1.560
ΝΟΕ	185	48,1	1.443
ΔΕΚ	185	48,1	1.443
<b>Συνολική Ζήτηση (m<sup>3</sup>)</b>			<b>29.055</b>

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί ότι δεν υπάρχουν ακριβείς καταγραφές της κατανάλωσης νερού από τον Δήμο για αυτό ακολουθήθηκε και η

παραπάνω διαδικασία. Οι καταγραφές κατανάλωσης του Δ. Αγαθονησίου αφορούν τις τιμές των υδρομετρητών και δεν ανταποκρίνονται στην πραγματική ζήτηση γιατί δεν υπολογίζουν: την προμήθεια των σκαφών που γίνεται, τις απώλειες του δικτύου, αστοχίες ή απαλλαγή ιδιοκτησιών από την διαδικασία της υδρομέτρησης.

#### 2.7.4 Μονάδα Αφαλάτωσης Αγαθονησίου

##### 2.7.4.1 Γενικά στοιχεία

Η μονάδα αφαλάτωσης του Αγαθονησίου σχεδιάστηκε ώστε να καλύπτει όλες<sup>3</sup> τις απαιτούμενες τωρινές αλλά και μελλοντικές ανάγκες σε ποσότητες πόσιμου νερού της νήσου Αγαθονησίου, (απόδοση: 80 m<sup>3</sup>/ημέρα) με μικρότερο κόστος. Στην πραγματικότητα όμως η παραγωγή νερού από την μονάδα αφαλάτωσης καλύπτει μόνο ένα μέρος της ζήτησης κατά τους μήνες αιχμής με αποτέλεσμα η υπόλοιπη ζήτηση να καλύπτεται από μεταφορά νερού μέσω υδροφόρων πλοίων. Το συγκεκριμένο έργο αρχικά προέβλεπε την χρησιμοποίηση ενός συστήματος συμπαραγωγής με καύσιμο προπάνιο για την ενεργειακή κάλυψη της μονάδας αφαλάτωσης (10 kW), με σύγχρονη παραγωγή θερμικού φορτίου (28 kW), ικανού να καλύψει τα απαραίτητα θερμικά φορτία για την θέρμανση τριών δημόσιων κτηρίων<sup>4</sup> σε κοντινή απόσταση από τη μονάδα. Στην πραγματικότητα όμως η συγκεκριμένη λειτουργία της μονάδας με την τηλεθέρμανση δεν κατασκευάστηκε ποτέ (<https://agathonisiafalatosi.wordpress.com/about/>; Δήμος Αγαθονησίου, 2016).

Ο συνολικός προϋπολογισμός του έργου ανήλθε σε 331.000 ευρώ συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ και καλύφθηκε κατά 80% από τον Χρηματοδοτικό Μηχανισμό Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (EOX) 2009 – 2014 και κατά το υπόλοιπο ποσοστό από το Εθνικό Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων. Το σύστημα αναμενόταν να επιφέρει εξοικονόμηση του κόστους

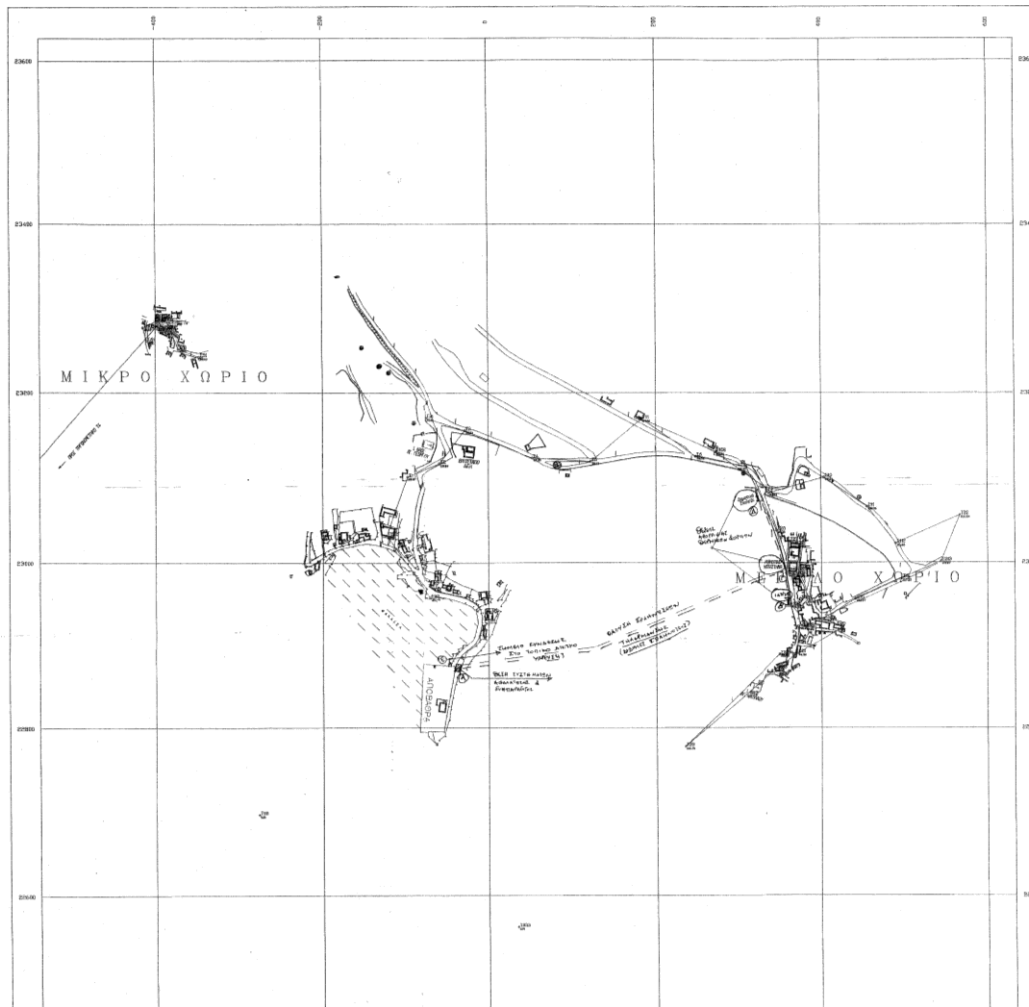
---

<sup>3</sup> Στην πραγματικότητα όμως καλύπτει μέρος των συνολικών αναγκών ύδρευσης και άρδευσης του Αγαθονησίου γιατί έγινε υποεκτίμηση της ζήτησης.

<sup>4</sup> Τα κτίρια αυτά είναι το δημοτικό σχολείο, το κοινοτικό κατάστημα και το ιατρείο στο Μεγάλο Χωριό. Η θέρμανση των κτιρίων γίνεται μέσω της απευθείας σύνδεσης τους με δίδυμες σωληνώσεις από την μονάδα αφαλάτωσης.

παροχής του νερού στο Αγαθονήσι, μιας και μέχρι εκείνη την στιγμή η μεταφορά του νερού στο νησί κόστιζε γύρω στις 250.000 ευρώ ετήσια, ενώ το λειτουργικό κόστος της νέας μονάδας δεν ξεπερνά τις 20.000 ευρώ ετήσια (με βάση την αρχική μελέτη). Η υλοποίηση του έργου έγινε με την συνεργασία της Τεχνικής Υπηρεσίας του Επαρχείου Καλύμνου με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (<https://agathonisiafalatosi.wordpress.com/about/>).

Η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί με αντίστροφη όσμωση και τίθεται σε λειτουργία καθημερινά τους θερινούς μήνες και κάποιες ώρες την ημέρα κατά τους χειμερινούς μήνες (Δήμος Αγαθονησίου, 2016).



ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΣΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

↑	ΠΥΛΩΣ ΔΡ.	↓	ΣΤΥΛΟΣ ΟΔ.
←	ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ	→	ΑΠΟΧΕΤ.
---	ΑΠΟΧΕΤ. ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟ	---	ΑΠΟΧΕΤ. ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟ
---	ΑΠΟΧΕΤ. ΚΑΝΟΝΙΚΟ	---	ΑΠΟΧΕΤ. ΚΑΝΟΝΙΚΟ
---	ΤΡΟΧΟΣ	---	ΕΡΕΥΡΑ

ΣΤΗΤΕΣΚΑΜΕΤΕΣ ΠΥΛΩΣΜΕΤΡΩΝ & ΣΥΣΤΗΜ

Α/Α	X	Y	Z
1	2000	2300	100
2	2000	2300	100
3	2000	2300	100
4	2000	2300	100
5	2000	2300	100
6	2000	2300	100
7	2000	2300	100
8	2000	2300	100
9	2000	2300	100
10	2000	2300	100
11	2000	2300	100
12	2000	2300	100
13	2000	2300	100
14	2000	2300	100
15	2000	2300	100
16	2000	2300	100
17	2000	2300	100
18	2000	2300	100
19	2000	2300	100
20	2000	2300	100
21	2000	2300	100
22	2000	2300	100
23	2000	2300	100
24	2000	2300	100
25	2000	2300	100
26	2000	2300	100
27	2000	2300	100
28	2000	2300	100
29	2000	2300	100
30	2000	2300	100
31	2000	2300	100
32	2000	2300	100
33	2000	2300	100
34	2000	2300	100
35	2000	2300	100
36	2000	2300	100
37	2000	2300	100
38	2000	2300	100
39	2000	2300	100
40	2000	2300	100
41	2000	2300	100
42	2000	2300	100
43	2000	2300	100
44	2000	2300	100
45	2000	2300	100
46	2000	2300	100
47	2000	2300	100
48	2000	2300	100
49	2000	2300	100
50	2000	2300	100

ΣΥΜΒΟΛΟΓΙΑ ΣΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

↑	ΠΥΛΩΣ ΔΡ.	↓	ΣΤΥΛΟΣ ΟΔ.
←	ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ	→	ΑΠΟΧΕΤ.
---	ΑΠΟΧΕΤ. ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟ	---	ΑΠΟΧΕΤ. ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΟ
---	ΑΠΟΧΕΤ. ΚΑΝΟΝΙΚΟ	---	ΑΠΟΧΕΤ. ΚΑΝΟΝΙΚΟ
---	ΤΡΟΧΟΣ	---	ΕΡΕΥΡΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
 ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΤΤΙΚΩΝ  
 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ Ε.Α.Π.  
 ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΑΓΑΘΟΝΗΣΙΟΥ

ΜΕΛΕΤΗ: ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΟΙΚΙΣΜΩΝ  
 ΜΕΓΑΛΟΥ ΚΑΙ ΜΙΚΡΟΥ ΧΩΡΙΟΥ  
 ΑΓΑΘΟΝΗΣΙΟΥ

ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΕΛΕΤΩΝ  
 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ &  
 ΣΤΡΟΓΓΥΛΙΑΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΟΔΥΣΣΕΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ  
 ΑΓΑΘΟΝΗΣΙΟΥ  
 102 00 ΒΑΛΕΡΟ  
 ΤΗΛ. 0243 3 5000-5000

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΟΔΕΥΣΕΩΝ

ΚΥΜΑΤΑ 1 : 2000  
 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ  
 Σ

Α.Ν.Δ.Ο.Χ.Ο.Σ.  
 ΟΔΥΣΣΕΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΣΤΕΝΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ  
 ΟΔΥΣΣΕΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ  
 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Σχήμα 2.4 Γενικό σχέδιο εγκατάστασης μονάδας αφαλάτωσης Αγαθονησίου (Πηγή: <https://agathonisiafalatosi.wordpress.com/about/>)

#### 2.7.4.2 Κόστος λειτουργίας αφαλάτωσης

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται στοιχεία από το λειτουργικό κόστος της μονάδας αφαλάτωσης Αγαθονησίου που εγκαταστάθηκε το 2013 και βρίσκεται στον Άγιο Γεώργιο. Το κυριότερο λειτουργικό κόστος αφορά βέβαια την κατανάλωση ενέργειας που ανέρχεται σε υψηλά επίπεδα, δεδομένου ότι η μονάδα διαθέτει 4 αντλίες για την αύξηση της πίεσης που είναι απαραίτητη για την διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης αλλά και αντλία που ανεβάζει το παραγόμενο νερό σε μεγάλο υψόμετρο για να υδροδοτηθούν τα χωριά. Η κατανάλωση ενέργειας της μονάδας αφαλάτωσης είναι της τάξης των 13 kWh. Μικρότερη συμμετοχή στις λειτουργικές δαπάνες έχουν κάποια αναλώσιμα είδη και ανταλλακτικά για την εύρυθμη λειτουργία της μονάδας.

Πίνακας 2.15 Κόστος νερού (παραγωγής και διάθεσης) του συστήματος αφαλάτωσης ανά έτος

ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ		
Ηλεκτρικό Ρεύμα		2,00 €/m <sup>3</sup>
<b>ΑΝΑΛΩΣΙΜΑ</b>		
ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΣΥΝΟΛΟ €
Υποχλωριώδες νάτριο	192 κιλά	163,2
Αντικαθαλατωτικό GENESYS MP	100 κιλά	1.000
Θευικό οξύ	160 κιλά	128
Αντ/κή σακούλα 1M για φίλτρο	8 τεμάχια	81,60
Αντ/κό φίλτρο διπλής φίλτρασης	5 τεμάχια	170
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>1.542,8</b>
	ΦΠΑ	262,28
	<b>ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>1.805,08</b>

Πηγή: Δήμος Αγαθονησίου (2016)

Ο Πίνακας 2.16 παρέχει τα στοιχεία παραγωγής της μονάδας αφαλάτωσης ανά ημέρα και μήνα. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι η μονάδα αφαλάτωσης κάποιους μήνες λειτουργεί λιγότερες ημέρες ανά εβδομάδα και βρίσκεται κάτω από την μέγιστη δυνατή παραγωγή της διότι δεν υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη παραγωγή νερού. Η αφαλάτωση λειτουργεί επί εικοσιτετράωρης βάσης τους πέντε μήνες αιχμής της ζήτησης.

Γνωρίζοντας την κατανάλωση της μονάδας ανά μηνά και λαμβάνοντας υπόψη ότι το συνολικό κόστος που χρεώνει η ΔΕΗ μαζί με τις διάφορες κρατήσεις, φόρου

κλπ ανέρχεται σε 0,22 ευρώ/kWh, υπολογίζεται η τελευταία στήλη του Πίνακα 2.16. Το συνολικό κόστος ενέργειας για ένα τυπικό έτος λειτουργίας της αφαλάτωσης ανέρχεται σχεδόν σε 21.000 ευρώ και είναι αρκετά κοντά σε αυτό που υπολογίζονταν από την μελέτη (20.000 ευρώ ανά έτος). Συμπεριλαμβανομένων και των αναλώσιμων, το συνολικό κόστος λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης ανά έτος ανέρχεται σε **22.475 ευρώ**.

Πίνακας 2.16 Στοιχεία παραγωγής και κόστους της μονάδας αφαλάτωσης ανά μήνα

Μήνας	Ημερήσια παραγωγή πόσιμου νερού m <sup>3</sup> /day	Μηνιαία παραγωγή πόσιμου νερού m <sup>3</sup> /μήνα	Ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση αφαλάτωσης KWh/day	Μηνιαία Ηλεκτρική Κατανάλωση αφαλάτωσης Kwh/μήνα	Κόστος ενέργειας €/μήνα
Ιανουάριος	50	1.499	200	5.994	1.319
Φεβρουάριος	50	1.499	200	5.994	1.319
Μάρτιος	50	1.499	200	5.994	1.319
Απρίλιος	66	2.198	293	8.791	1.934
Μάιος	80	2.400	320	9.600	2.112
Ιούνιος	80	2.400	320	9.600	2.112
Ιούλιος	80	2.400	320	9.600	2.112
Αύγουστος	80	2.400	320	9.600	2.112
Σεπτέμβριος	80	2.400	320	9.600	2.112
Οκτώβριος	60	1.798	240	7.193	1.582
Νοέμβριος	50	1.499	200	5.994	1.319
Δεκέμβριος	50	1.499	200	5.994	1.319
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>23.491</b>		<b>93.954</b>	<b>20.670</b>

Πηγή: Δήμος Αγαθονησίου (2016), *ιδία επεξεργασία*

Συγκρίνοντας τον Πίνακα 2.14 με τον Πίνακα 2.16 προκύπτει το εξής: ενώ η μονάδα αφαλάτωσης λειτουργεί κάτω από την μέγιστη ικανότητα απόδοσης αρκετούς μήνες το έτος, εντούτοις δεν επαρκεί για την κάλυψη της ζήτησης κατά την θερινή, κυρίως, περίοδο. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει έντονη μεταβλητότητα της ζήτησης νερού και δεν υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης



μεγάλων ποσοτήτων νερού από το χειμώνα για χρήση το καλοκαίρι. Κάθε σύστημα υδροδότησης όμως θα πρέπει να καλύπτει τις αιχμές ζήτησης ακόμη και αν αυτό σημαίνει υπέρ - διαστασιολόγηση σε σχέση με άλλες περιόδους. Επομένως το συμπέρασμα είναι ότι για την αποφυγή της μεταφοράς νερού που είναι μία ακριβή επιλογή με πολλές αρνητικές συνέπειες, υπάρχει ανάγκη παραγωγής μεγαλύτερης ποσότητας νερού για τον Δήμο Αγαθονησίου.

## 2.8 Στοιχεία Ηλεκτροδότησης

Η ενεργειακή ζήτηση του Αγαθονησίου έως σήμερα καλύπτεται από ένα τοπικό σταθμό παραγωγής ενέργειας της ΔΕΗ που χωροθετείται στην περιοχή του Αγίου Γεωργίου. Σύμφωνα με στοιχεία της ΔΕΗ ο αυτόνομος θερμικός σταθμός παραγωγής του Αγαθονησίου, που εξυπηρετεί κατ' αποκλειστικότητα το νησί, διαθέτει εγκατεστημένη ισχύς **240 kW**. Η μέγιστη ζήτηση ενέργειας<sup>5</sup> στο Αγαθονήσι το 2014 ανέρχονταν σε **179 kW** και εντοπίζεται κατά την αποκορύφωση της θερινής τουριστικής κίνησης (τον δεκαπενταύγουστο). Η μέγιστη μελλοντική ζήτηση για το έτος **2020**, εκτιμάται από την ΔΕΔΔΗΕ σε **229 kW**, επομένως είναι κοντά στην δυνητική ικανότητα του σταθμού της ΔΕΗ. Επομένως, για την εξυπηρέτηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί θα απαιτηθούν νέες επενδύσεις που θα αυξήσουν την δυνατότητα ηλεκτροδότησης. Είναι σημαντικό επίσης να αναφερθεί ότι ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Αγαθονήσι λειτουργεί με ηλεκτρογεννήτριες ελαφρού πετρελαίου (ντίζελ), καύσιμο το οποίο μεταφέρεται διά θαλάσσης (ΡΑΕ; ΔΕΔΔΗΕ, 2015). Η κλίμακα της εγκατάστασης, το είδος καυσίμου αλλά και ο τρόπος μεταφοράς του, συν την απόσταση, συνηγορούν στο γεγονός ότι η τιμή παραγωγής της ενέργειας στο νησί είναι μία από τις υψηλότερες στον εθνικό χώρο. Το νησί του Αγαθονησίου δεν έχει συνδεθεί έως σήμερα με γειτονικά νησιά ή και με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό σύστημα, λόγω κυρίως τεχνικών και τεχνολογικών δυσκολιών, που υφίσταντο αλλά και λόγω οικονομικών δυσκολιών καθώς οι διασυνδέσεις είναι έργα μεγάλης έντασης κεφαλαίου.

---

<sup>5</sup> Η ζήτηση ενέργειας αυτή περιλαμβάνει και τις ανάγκες της μονάδας αφαλάτωσης που λειτουργούσε το 2013.

Στοιχεία Αδειοδοτικής κατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων (2013)				Περιθώριο ισχύος Φ/Β σταθμών			
	Πλήθος αιτήσεων για σύνδεση	Ισχύς αιτήσεων για σύνδεση (kW)	Πλήθος λειτουργούντων	Ισχύς λειτουργούντων (kW)	Περιθώριο ισχύος από ΡΑΕ (kW)	Εγκατεστημένη ισχύς που δεσμεύει ηλεκτρικό χώρο (kW)	Υπόλοιπο διαθέσιμο περιθώριο (kW)
Αγαθονήσι	0	0	0	0	26,00	0	26,00

Πηγή: ΡΑΕ

Η χρήση ήπιων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, περιορίζεται στη χρήση της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση νερού για οικιακή χρήση. Υπάρχουν, επίσης, 45 φωτοβολταϊκοί σταθμοί για το δημοτικό φωτισμό (Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, 2014). Από Στοιχεία της ΡΑΕ για το έτος 2013 προκύπτουν τα εξής:

Επομένως με βάση τα στοιχεία αυτά φαίνεται ότι δεν υπάρχουν εγκατεστημένοι Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί (Φ/Β) στο Αγαθονήσι και το υπολειπόμενο διαθέσιμο περιθώριο εγκατάστασης ανέρχεται σε 26 kW. Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι με την Απόφαση ΡΑΕ 96/2007 τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά καθορίστηκαν ως περιοχές με κορεσμένα δίκτυα για την ανάπτυξη Φ/Β. Με την Απόφαση ΡΑΕ 703/2008 προσδιορίστηκε το περιθώριο για Φ/Β Σταθμού (εξαιρέσεις, άδειες παραγωγής και Ειδικό Πρόγραμμα σε κτιριακές εγκαταστάσεις). Οι αρμόδιες υπηρεσίες του δικτύου σε ΜΔΝ ενημερώνουν τους ενδιαφερόμενους για το εκάστοτε διαθέσιμο περιθώριο, καθώς και για την ικανοποίηση των αιτημάτων τους.

Πίνακας 2.17 Ζήτηση ενέργειας στο νησί του Αγαθονησίου 2008-2013

Αυτόνομο σύστημα Αγαθονησίου		2008	2009	2010	2011	2012	2013
Ετήσια (MWh)	Ζήτηση	438	491	522	542	599	642
	Αιχμή (kW)	140	163	188	144	156	182

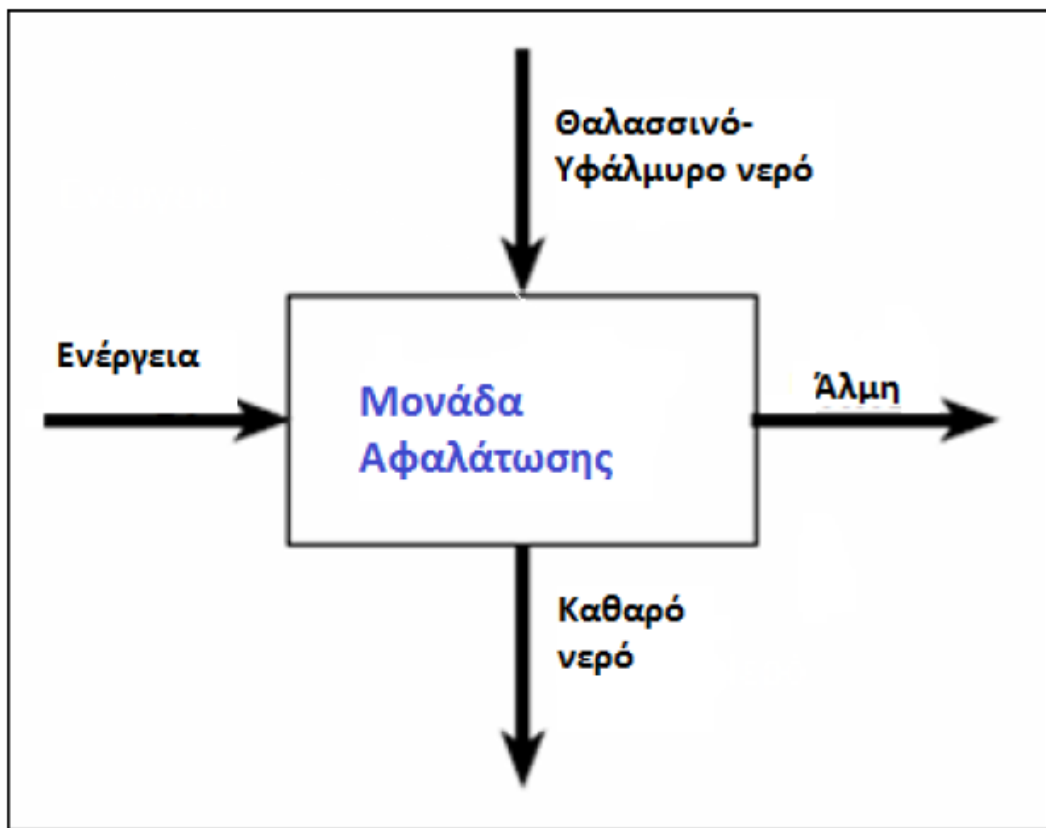
Πηγή: ΡΑΕ

Από στοιχεία της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) που αφορούν όμως το σύνολο των μονάδων παραγωγής ενέργειας στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ) προκύπτει ότι το μέσο μεταβλητό κόστος κυμαίνεται από 93,35 €/MWh

έως 191,98 €/MWh. Το συγκεκριμένο κόστος ενέργειας αφορά την περίοδο 2007-2014. Είναι επίσης εύκολα αντιληπτό ότι το μέσο μεταβλητό κόστος παραγωγής ενέργειας στα ΜΔΝ έχει υψηλό βαθμό μεταβλητότητας, μεγάλο μέρος του οποίου οφείλεται στο κόστος προμήθειας καυσίμων των μονάδων που διαμορφώνεται από τις διακυμάνσεις στις παγκόσμιες τιμές των πετρελαιοειδών (ΡΑΕ).

#### 3.1 Ορισμός

Με τον όρο «αφαλάτωση» χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μία αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Η αφαλάτωση είναι μία μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες. Εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές με ξηρό κλίμα, φτωχές σε πόσιμο νερό και με πρόσβαση στο θαλασσινό νερό. Η απαρχή της διαδικασίας της αφαλάτωσης χρονολογείται κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα ως τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων λειψυδρίας σε πολλές περιοχές της γης. Όπως είναι ευρύτερα γνωστό, το 97,3% των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται στην θάλασσα αναμεμιγμένο σε μεγάλες αναλογίες με διάφορα διαλυμένα άλατα σε τέτοια μορφή που η χρήση του, είτε ως πόσιμο, είτε ως ικανό για βιομηχανικές διεργασίες καθίστανται αδύνατη (Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011).



Σχήμα 3.1 Βασικές ροές στην διαδικασία της αφαλάτωσης (Πηγή: Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011)

Η αφαλάτωση νερού είναι μία επιλογή που κερδίζει συνεχώς έδαφος σε παγκόσμιο επίπεδο. Η τεχνική της αφαλάτωσης νερού έρχεται να αντιμετωπίσει τα προβλήματα έλλειψης υδατικών πόρων που οφείλονται σε μία σειρά από παράγοντες όπως η συνεχής πληθυσμιακή αύξηση ειδικά σε αστικές περιοχές, οι εποχιακές μεταπτώσεις ιδιαίτερα εξαιτίας της τουριστικής ανάπτυξης των περιοχών, οι αυξανόμενες αρδευτικές ανάγκες στις σύγχρονες καλλιεργητικές μεθόδους, η έλλειψη υδατικών πόρων λόγω γεωμορφολογικών και άλλων χαρακτηριστικών κλπ. Στην ελληνική πραγματικότητα υπάρχουν μία σειρά από περιοχές που πλήττονται ιδιαίτερα από την έλλειψη υδατικών πόρων. Τέτοια περίπτωση αποτελούν πολλά νησιά του Αιγαίου, τα οποία στις περισσότερες περιπτώσεις δέχονται μικρά ποσοστά υετού, έχουν περιορισμένες λεκάνες απορροής και λιγοστούς υπόγειους υδατικούς πόρους και επιβαρύνονται σημαντικά από την τουριστική θερινή δραστηριότητα. Είναι χαρακτηριστικό, ότι σε πολλές περιπτώσεις, οι επισκέπτες είναι πολλαπλάσιοι του μόνιμου πληθυσμού με ότι αυτό συνεπάγεται για τις ανάγκες νερού.

Στα νησιά του Αιγαίου το πρόβλημα του αρνητικού ισοζυγίου των υδατικών πόρων έχει αντιμετωπιστεί με ποικίλους τρόπους προσωρινά ή πιο μόνιμα. Οι συνηθεις πρακτικές που ακολουθούνται σχετίζονται με:

- ✚ την μεγαλύτερη και καλύτερη αξιοποίηση των υπόγειων υδάτων (νέες αντλήσεις μέσω γεωτρήσεων, πηγαδιών κλπ),
- ✚ την μεταφορά νερού από άλλες περιοχές (είτε με υδροφόρα πλοία αν πραγματοποιείται μεταφορά από άλλα νησιά/περιοχές είτε μέσω καναλιών/δικτύων όταν πραγματοποιείται μεταφορά νερού από κοντινές περιοχές),
- ✚ την δημιουργία ταμιευτήρων αποθήκευσης νερού και
- ✚ την εγκατάσταση συστημάτων αφαλάτωσης.

Η πρώτη επιλογή προϋποθέτει την ύπαρξη υδατικού δυναμικού που στην περίπτωση του Αγαθονησίου δεν υφίσταται. Η μεταφορά νερού από άλλες περιοχές συνεπάγεται υψηλό κόστος και είναι μία επιλογή που δεν μπορεί να έχει μόνιμο χαρακτήρα για μία σειρά από λόγους. Η δημιουργία ταμιευτήρων

αποθήκευσης νερού προϋποθέτει σημαντικές λεκάνες απορροής και συνεπάγεται απαλλοτριώσεις γης και υψηλό κόστος κατασκευής. Παρόλα αυτά, οι ταμιευτήρες είναι έργα πολλαπλού σκοπού με πληθώρα θετικών αποτελεσμάτων και μπορούν να εξασφαλίσουν μεγάλες ποσότητες υδάτων. Στην περίπτωση του Αγαθονησίου δεν υπάρχουν οι προϋποθέσεις για την δημιουργία ταμιευτήρα καθώς οι επιφανειακές απορροές που σημειώνονται είναι ήσσονος αξίας. Η εγκατάσταση συστημάτων αφαλάτωσης αλμυρού νερού αποτελεί μία πιθανή επιλογή και στο Αγαθονήσι όπου ήδη λειτουργεί μία τέτοια μονάδα. Το κυριότερο πρόβλημα μία τέτοιας επιλογής έγκειται στο λειτουργικό κόστος ως απόρροια του υψηλού κόστους ενέργειας που ανεβάζει κατακόρυφα το κόστος υδροδότησης.

### 3.2 Τεχνολογίες Αφαλάτωσης Νερού

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν κατασκευαστεί μία πληθώρα συστημάτων αφαλάτωσης, ορισμένα εκ των οποίων έχουν βρει ευρεία εφαρμογή και ορισμένα βρίσκονται σε ερευνητικό ή πιλοτικό στάδιο. Πολλά από τα συστήματα αυτά ενδεχομένως να μην καταφέρουν ποτέ να καταστούν βιώσιμα στον τομέα της παραγωγής νερού. Τα διάφορα συστήματα αφαλάτωσης μπορούν να ταξινομηθούν σε βασικές κατηγορίες ανάλογα την φύση των διεργασιών που περιλαμβάνουν.

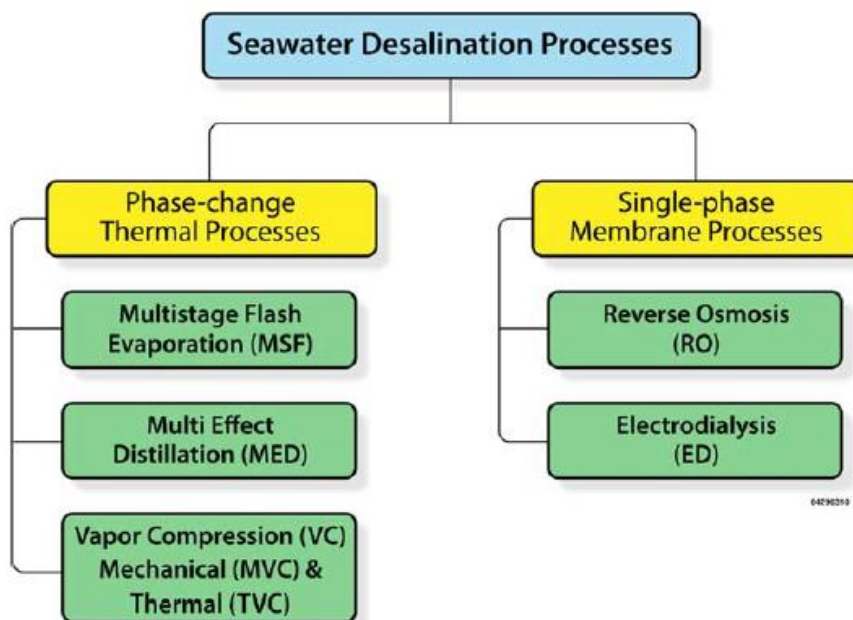
#### 3.2.1 Θερμικές διεργασίες (*Phase-change thermal processes*)

Οι μονάδες που λειτουργούν με την μέθοδο της απόσταξης (μέθοδοι που περιλαμβάνουν αλλαγή φάσης) ουσιαστικά μιμούνται το φυσικό κύκλο του νερού, θερμαίνοντας το αλμυρό νερό, παράγοντας υδρατμούς οι οποίοι συμπυκνώνονται και σχηματίζεται γλυκό νερό. Στην αρχή της απόσταξης στηρίζονται οι μονάδες αφαλάτωσης: Πολυβάθμιας Εκτόνωσης (Multi-Stage Flash distillation - MSF), η Πολυβάθμια Εξάτμιση (Multi-Effect Distillation - MED) και η Εξάτμιση με Συμπίεση Ατμών (VaporCompression Distillation - VC). Οι μονάδες αφαλάτωσης που ανήκουν στην κατηγορία MSF αποτελούν το 44% της παγκόσμιας δυναμικότητας του συνόλου των μονάδων αφαλάτωσης. Οι άλλες τεχνολογίες αποστάξεις όπως οι MED και VC είναι ταχέως αναπτυσσόμενες και αναμένεται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο άμεσο

μέλλον. Οι μονάδες που στηρίζονται στην απόσταξη παρουσιάζουν μικρό λειτουργικό κόστος όταν είναι διαθέσιμη θερμική ή μηχανική ενέργεια με μικρό κόστος (Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011; Al-Karaghoulι et al., 2009).

### 3.2.2 Μέθοδοι αφαλάτωσης με μεμβράνες (*Membrane processes*)

Στη φύση, οι μεμβράνες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον διαχωρισμό αλάτων, όπως στις διαδικασίες της αιμοκάθαρσης και όσμωσης που συμβαίνουν στο ανθρώπινο σώμα. Μεμβράνες χρησιμοποιούνται σε δύο εμπορικά συστήματα αφαλάτωσης που έχουν μεγάλη επιτυχία: στην αντίστροφη όσμωση και στην ηλεκτροδιάλυση. Οι δύο αυτές τεχνικές χρησιμοποιούν την ικανότητα των μεμβρανών να διαχωρίζουν τα άλατα από το νερό, ωστόσο οι μεμβράνες χρησιμοποιούνται με διαφορετικό τρόπο σε κάθε μία από αυτές τις εφαρμογές. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης αντιπροσωπεύει το 44% της παγκόσμιας παραγωγής αφαλατωμένου νερού και είναι η μέθοδος που μαζί με την MSF μονοπωλούν το συγκεκριμένο πεδίο έως σήμερα. Τα τελευταία χρόνια ραγδαία ανάπτυξη γνωρίζει και η μέθοδος MED η οποία όμως μέχρι σήμερα δεν έχει ακόμη εξασφαλίσει μεγάλη παρουσία στον χώρο (Bourouni, 2012; Al-Karaghoulι et al., 2009).



Σχήμα 3.2 Η κατηγοριοποίηση των βασικών συστημάτων αφαλάτωσης (Πηγή: Al-Karaghoulι et al., 2009)

### 3.2.3 Αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis - RO)

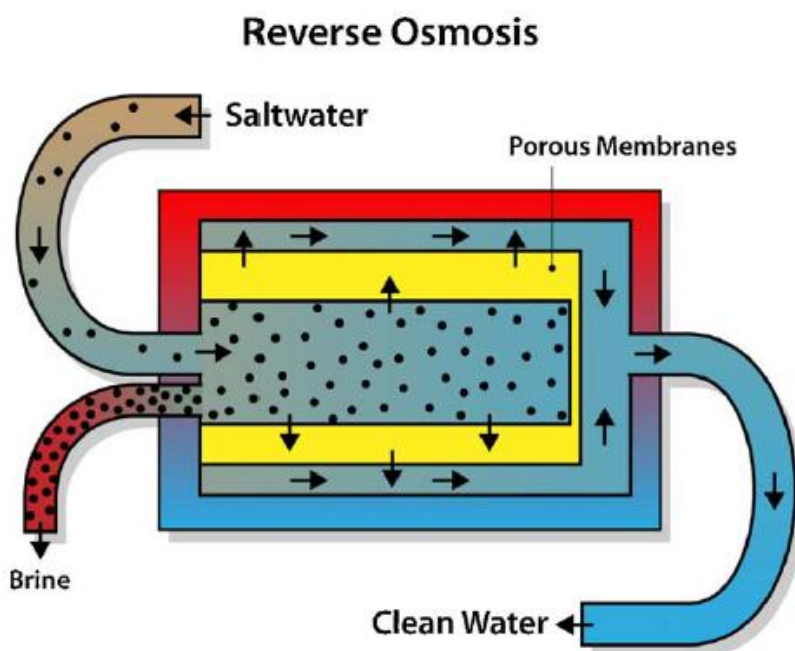
Η τεχνολογία της αντίστροφης όσμωσης για την αφαλάτωση νερού θα αναλυθεί περαιτέρω καθώς έχει χρησιμοποιηθεί στην εγκατάσταση επεξεργασίας νερού που υφίσταται στο Αγαθονήσι. Η αντίστροφη όσμωση έχει το μεγάλο πλεονέκτημα ότι επιτρέπει την κατασκευή διατάξεων και συστημάτων από την πιο μεγάλη εγκατάσταση για την ύδρευση μίας κοινότητας ή μίας πόλης έως και την κατασκευή της πιο μικρής συσκευής για την κάλυψη των αναγκών μίας οικογένειας.

Στην αντίστροφη όσμωση το αλμυρό νερό διαχωρίζεται υπό πίεση μέσω ημιπερατών μεμβρανών από τα άλατα. Στην μέθοδο αυτή δεν γίνεται θέρμανση ή αλλαγή φάσης. Η κύρια απαίτηση της μεθόδου αυτής είναι η ενέργεια για την συμπίεση του νερού. Στην πράξη, υπάρχει ένα δοχείο που χωρίζεται σε δύο διαμερίσματα με μία μεμβράνη. Η μεμβράνη αυτή είναι ένα πορώδες υλικό, του οποίου οι πόροι είναι πάρα πολύ μικροί. Στο ένα διαμέρισμα που το ονομάζουμε Α, τοποθετείται μία ποσότητα καθαρού αποσταγμένου νερού. Στο άλλο διαμέρισμα το οποίο ονομάζουμε Β, τοποθετείται επίσης μία άλλη ποσότητα νερού (ίδια σε όγκο με αυτή του Α), αλλά που μέσα σε αυτήν υπάρχουν άλατα. Οι στάθμες των δύο διαμερισμάτων βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Μετά από λίγη ώρα παρατηρείται να ανεβαίνει η στάθμη του Β διαλύματος, επειδή τα μόρια του νερού που βρίσκονται στο Α διαμέρισμα, διέρχονται μέσα από τη λεπτή διαχωριστική μεμβράνη προς το διάλυμα Β. Έτσι το διάλυμα Β εμπλουτίζεται με νερό, αυξάνοντας τον όγκο του. Αυτή η κίνηση των μορίων του νερού συμβαίνει συνέχεια, έως ότου αποκατασταθεί μία κάποια μοριακή ισορροπία, που τείνει να εξισορροπήσει τις περιεκτικότητες των δύο διαλυμάτων. Αυτή η διαδικασία με πρωταγωνιστή τη διαχωριστική μεμβράνη είναι η όσμωση (Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011).

Αν τώρα τοποθετήσουμε έναν πλωτήρα στην επιφάνεια του υγρού Β έτσι ώστε να εφαρμόζει στεγανά και τοποθετήσουμε πάνω σε αυτό κάποιο βάρος έτσι ώστε να σταματήσουμε την ανοδική του πορεία, προκαλούμε μία αντίσταση στην πορεία του νερού από το Α προς το Β. Τότε η ροή σταματά και τα δύο διαλύματα



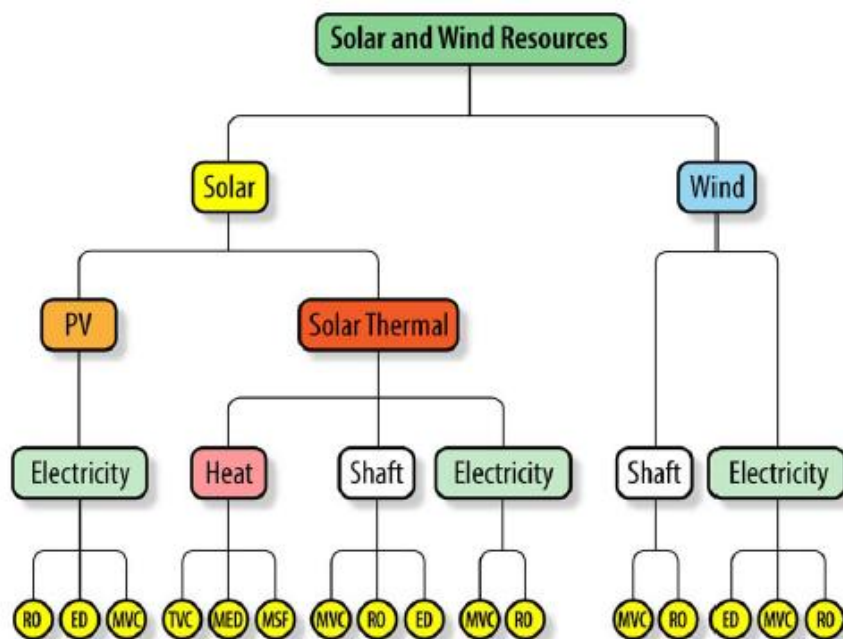
βρίσκονται κάτω από μία ισορροπία πιέσεων. Η πίεση που προκλήθηκε για να σταματήσει αυτή η άνοδος της στάθμης του διαλύματος Β, είναι η οσμωτική πίεση. Αν τώρα αυξηθεί αυτή η πίεση, δηλαδή η τεχνητή πίεση που προκλήθηκε στο διάλυμα Β αυξάνοντας το προστιθέμενο βάρος, θα πάψει να δέχεται καθαρό νερό μέσα από τη μεμβράνη από το διαμέρισμα Α. Τότε θα συμβεί το εξής φαινόμενο: το νερό που υπάρχει στο διάλυμα Β θα περνά στο διαμέρισμα Α. Παρατηρούμε τότε τη στάθμη του Α να ανεβαίνει και φυσικά του Β να υποχωρεί. Από τους πόρους της μεμβράνης διέρχεται μόνο καθαρό νερό ενώ το αλάτι δεν περνάει και παραμένει στο χώρο του διαμερίσματος Β. Αποτέλεσμα αυτού θα είναι, όσο αυξάνεται η πίεση στο διαμέρισμα Β, το νερό που βρίσκεται στο Α να εμπλουτίζεται με νέο καθαρό νερό από το διαμέρισμα Β, η στάθμη του νερού του Α τώρα θα είναι υψηλότερη από αυτή του Β, ενώ στο Β θα παραμείνει μία μικρή ποσότητα συμπυκνωμένου διαλύματος NaCl. Στο Α θα έχουμε περισσότερη ποσότητα καθαρού νερού από ότι αρχικά. Η τεχνική αυτή που εφαρμόστηκε και προκάλεσε το αντίθετο φαινόμενο της όσμωσης είναι η αντίστροφη όσμωση (Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011).



Σχήμα 3.3 Οι βασικές διεργασίες σε μία μονάδα αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης (Πηγή: Al-Karaghoul et al., 2009)

Το νερό απόρριψης μαζί με την άλμη και τα υπόλοιπα σωματίδια αντιπροσωπεύει το 35 έως 100% της παραγωγής του φρέσκου νερού, ανάλογα το νερό τροφοδοσίας. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, δύο βελτιώσεις συνέβαλαν στη μείωση του κόστους λειτουργίας των μονάδων RO, οι εξελίξεις των μεμβρανών που μπορεί να λειτουργήσουν αποτελεσματικά σε χαμηλότερες πιέσεις, και η χρήση των συσκευών ανάκτησης ενέργειας. Οι χαμηλής πίεσης μεμβράνες μάλιστα χρησιμοποιούνται ευρέως στην αφαλάτωση υφάλμυρου νερού μειώνοντας σημαντικά το ενεργειακό κόστος λειτουργίας (Bourouni, 2012; Al-Karaghoul et al., 2009).

Τα μειονεκτήματα των μονάδων RO σε απομακρυσμένες περιοχές είναι η απαίτηση για εξειδικευμένο προσωπικό λειτουργίας της μονάδας, τα χημικά που απαιτούνται και η δυσκολία στην αντικατάσταση των μεμβρανών. Για την ενσωμάτωση ΑΠΕ είναι σημαντικό η μονάδα να μην είναι ευαίσθητη σε επαναλαμβανόμενες εκκινήσεις από την αστάθεια στην παροχή ρεύματος (Kondili and Kaldellis, 2008).



Σχήμα 3.4 Πιθανοί συνδυασμοί ΑΠΕ και συστημάτων αφαλάτωσης (Πηγή: Al-Karaghoul et al., 2009)

### 3.3 Τα Συστήματα Αφαλάτωσης σε Εθνικό Επίπεδο

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα του νησιώτικου χώρου στην Ελλάδα αποτελεί η υδροδότηση των νήσων, δεδομένων των μεγάλων αναγκών και της έλλειψης υδατικών πόρων. Για την λύση του προβλήματος υδροδότησης έχουν ακολουθηθεί διαχρονικά μία σειρά από επιλογές που άλλοτε απέδωσαν και άλλοτε απέτυχαν. Η γενική εικόνα όμως είναι ότι τόσο οι ταμιευτήρες νερού που σχεδιαστήκαν κυρίως την δεκαετία του '90 και πολλοί εξ' αυτών κατασκευαστήκαν όσο και οι μονάδες αφαλάτωσης δεν έδωσαν τις απαιτούμενες λύσεις. Προς αυτήν την κατάληξη σημαντικό ρόλο διαδραμάτισαν μία σειρά από αστοχίες όπως στις μελέτες των έργων, κακή εκτίμηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας, υπερεκτίμηση της αποδοτικότητας των έργων, αδυναμίες διαχείρισης από τις τοπικές αρχές κλπ. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω είναι ο νησιωτικός χώρος προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες σε υδατικούς πόρους προσφεύγει συχνά στην λύση της μεταφοράς νερού μέσω υδροφόρων πλοίων. Η επιλογή αυτή όμως αφενός αποτελεί μία περιστασιακή λύση του προβλήματος και αφετέρου έχει υψηλό κόστος. Επίσης, η λύση αυτή μπορεί να συνεπάγεται ρίσκο ως προς την ασφάλεια παροχής νερού αφού εκείνη εξαρτάται από μία σειρά αστάθμητους παράγοντες (καιρικές συνθήκες, διαθεσιμότητα υδροφόρων πλοίων, διαθεσιμότητα υδατικών πόρων σε άλλες περιοχές κλπ).

Η παραπάνω κατάσταση είχε ως αποτέλεσμα οι μεταφερόμενες ποσότητες νερού το 2007 για τις μεν Κυκλάδες να ανέρχονται σε 697.000 m<sup>3</sup> για τα δε Δωδεκάνησα σε 1.100.000 m<sup>3</sup>. Όπως είναι αναμενόμενο οι μεγαλύτερες ποσότητες νερού διακινούνται μεταξύ των θερινών μηνών και του Σεπτεμβρίου. Άξιο αναφοράς είναι ότι μεταξύ του 1997 και του 2007 το κόστος μεταφοράς δεκαπλασιάστηκε και από 1.244.881 € ανήλθε σε 11.206.409 €, με συνεχείς αυξητικές τάσεις της τάξης του 10% για τα επόμενα έτη. Το 2007 το Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής πλήρωσε 4,91 €/m<sup>3</sup> μεταφερόμενου νερού για τα Δωδεκάνησα και 8,32 €/m<sup>3</sup> για τις Κυκλάδες. Επίσης, θα πρέπει να επισημανθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις το μεταφερόμενο νερό δεν ήταν αρκετό να καλύψει τις ανάγκες των νησιών με συνέπεια να

γίνονται συνεχείς διακοπές και να υπάρχει πληθώρα προβλημάτων σε κοινωνικές και οικονομικές δραστηριότητες (Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011).

Από στοιχεία του 2006, δηλαδή περίοδο όπου δεν υπήρχε η μονάδα αφαλάτωσης στο Αγαθονήσι φαίνονται οι μεταφερόμενες ποσότητες νερού με πλοία. Η συνολική ποσότητα μεταφερόμενου νερού το έτος αυτό ήταν περί τα 21.900 m<sup>3</sup> και το κόστος ξεπέρασε τις **270.000 ευρώ**. Ένα άλλο στοιχείο του Πίνακα 3.1 που έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι ότι το νησί δεν καλύπτονταν από τις ποσότητες υδάτων που υπήρχαν σε αυτό κάτι που είχε ως αποτέλεσμα να χρειάζονται συνεχώς μεταφορές νερού. Επομένως το νερό του νησιού δεν μπορούσε να καλύψει ούτε τον μόνιμο πληθυσμό του και ανάλογα και με της κλιματολογικές συνθήκες κάθε χρονιάς οι ποσότητες που απαιτούνταν ήταν άλλοτε μεγαλύτερες και άλλοτε μικρότερες. Επίσης είναι εύκολα κατανοητό ότι οι μεγαλύτερες ποσότητες νερού απαιτούνται κατά τους θερινούς μήνες που είναι και οι πλέον άνυδροι και ο πληθυσμός λόγω της τουριστικής δραστηριότητας αυξάνεται.

Πίνακας 3.1 Μεταφερόμενες ποσότητες νερού προς το Αγαθονήσι (στοιχεία 2006)

Μήνας	1ος	2ος	3ος	4ος	5ος	6ος	7ος	8ος	9ος	10ος	11ος	12ος
Αγαθονήσι	1800	1300	1800	1000	1800	1600	2600	3200	1600	2500	1100	1600

Πηγή: Εμμανουηλίδης και Κάραλης (2011)

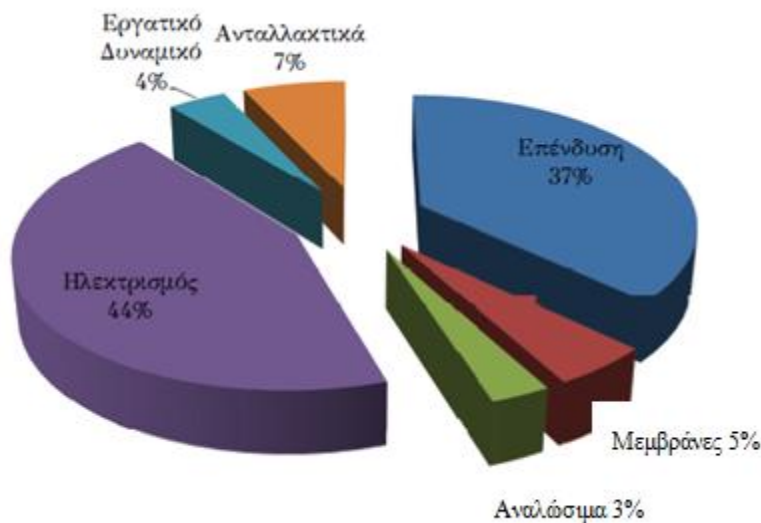
Σε εθνικό επίπεδο η τεχνολογία αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι εκείνη της αντίστροφης όσμωσης, με την οποία παράγεται το 74,4% του συνολικού νερού αφαλάτωσης (Βλέπε Σχήμα 3.6). Αμέσως μετά ακολουθεί η ED με την οποία παράγεται το 10,2% του συνολικού νερού αφαλάτωσης στην Ελλάδα, την ίδια στιγμή που με τις μεθόδους MED και MSF παράγεται το 8,5% και 6,8% του αφαλατωμένου νερού αντίστοιχα (Zotalis et al., 2014).

### 3.3.1 Κόστος αφαλάτωσης

Το κόστος των μονάδων αφαλάτωσης μπορεί να διαχωριστεί σε κόστος επένδυσης (κόστος απόκτησης κεφαλαιουχικού εξοπλισμού) και το λειτουργικό κόστος (λειτουργία και συντήρηση). Το λειτουργικό κόστος μπορεί να επιμεριστεί περαιτέρω σε: κόστος ενέργειας, συντήρησης, επισκευών,

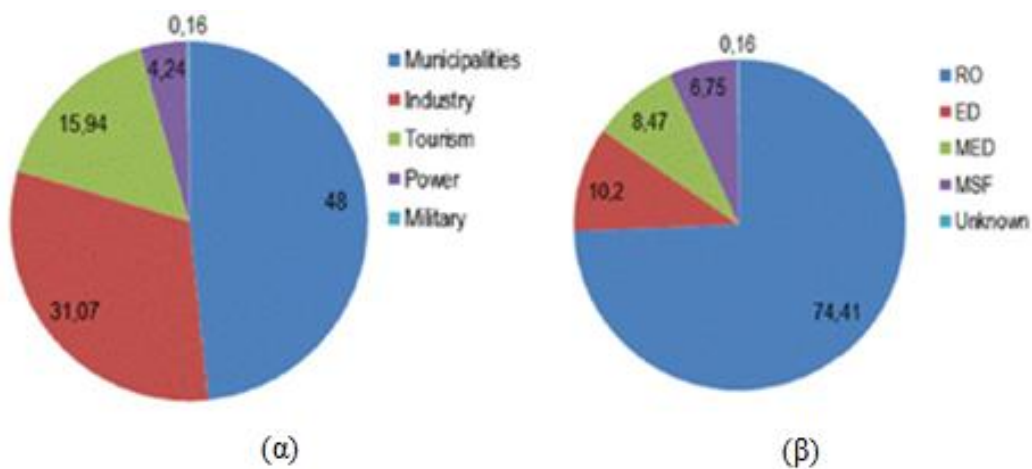
προσωπικού, ανταλλακτικών και εκσυγχρονισμού της μονάδας αν απαιτείται. Από τα προαναφερθέντα, το κόστος ενέργειας αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα διαμόρφωσης της οικονομικής απόδοσης των συστημάτων αφαλάτωσης καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις αντιπροσωπεύει το 60% του συνολικού λειτουργικού κόστους (Zotalis et al., 2014; Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011). Είναι προφανές επομένως ότι **η αύξηση της οικονομικής αποδοτικότητας και η μείωση του λειτουργικού κόστους των συστημάτων αφαλάτωσης συσχετίζεται με τον περιορισμό του κόστους ενέργειας των συστημάτων αυτών.**

Επιπρόσθετα το κόστος για τις μονάδες αφαλάτωσης επηρεάζεται από παραμέτρους όπως: την τεχνολογία αφαλάτωσης, τα ολικά διαλυμένα στερεά (Total Dissolved Solids - TDS), ο τρόπος συγκέντρωσης του ακατέργαστου νερού που χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει το εργοστάσιο και άλλες οικονομικές παραμέτρους που σχετίζονται με τις τοπικές συνθήκες. Το κόστος αφαλάτωσης μειώνεται όταν χρησιμοποιείται νερό με λιγότερη περιεκτικότητα σε άλατα και όταν η δυναμικότητα των μονάδων αυξάνεται και επιτυγχάνονται οικονομίες κλίμακας (Zotalis et al., 2014).



Σχήμα 3.5 Η ανάλυση του κόστους μίας μονάδας αφαλάτωσης (Πηγή: Καρταλίδης, 2011)

Όπως προαναφέρθηκε, η αφαλάτωση αλμυρού ή υφάλμυρου νερού απαιτεί σημαντικές ποσότητες ενέργειας σε μορφή θερμότητας, ηλεκτρισμού ή μηχανικού έργου. Η μέθοδος της αντίστροφης όσμωσης απαιτεί μηχανικό έργο, αλλά αυτό δίνεται από ηλεκτροκίνητη αντλία. Τα ποσά της ενέργειας διαφέρουν από μέθοδο σε μέθοδο. Ενδεικτικά, η πιο ενεργοβόρα θερμική μέθοδος χρειάζεται 50 έως 70 kWh<sub>th</sub>/m<sup>3</sup> ενώ η αντίστροφη όσμωση χρειάζεται από 3 έως 10 kWh<sub>th</sub>/m<sup>3</sup> για θαλασσινό νερό. Η ηλεκτροδιάλυση απαιτεί μικρότερα ποσά ενέργειας αλλά υπάρχει περιορισμός της μέγιστης αλατότητας του νερού που μπορεί να επεξεργαστεί (Καρταλίδης, 2011).

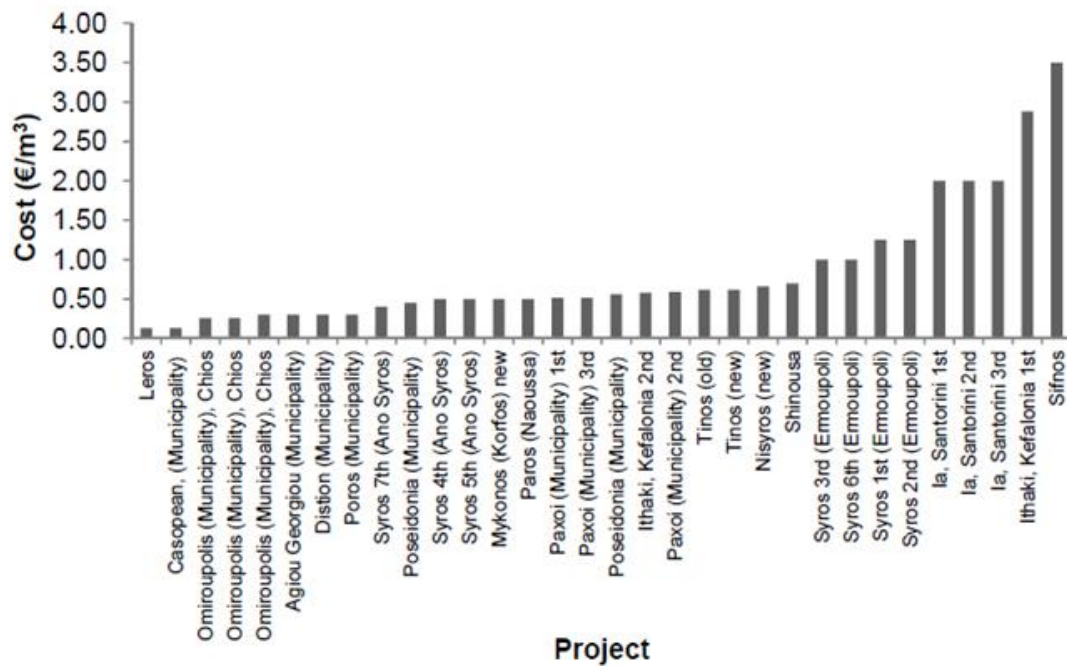


Σχήμα 3.6 Αφαλατωμένο νερό στην Ελλάδα ανάλογα: (α) την χρήση του και (β) την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία (Πηγή: Zotalis et al., 2014)

Στα ελληνικά νησιά υπάρχουν 35 μονάδες αφαλάτωσης αντίστροφης όσμωσης με συνολική δυναμικότητα 22.860 m<sup>3</sup>/d με λειτουργικό κόστος που κυμαίνεται από 0,13 €/m<sup>3</sup> έως 2,70 €/m<sup>3</sup>. Το μέσο λειτουργικό κόστος των 30 μονάδων αντίστροφης όσμωσης που παρατίθενται στο Σχήμα 3.7 εκτιμάται στα 0,85 €/m<sup>3</sup>, με το μέγιστο κόστος να απαντάται στην μονάδα της Σίφνου και το μικρότερο στην μονάδα της Λέρου (Zotalis et al., 2014).

Το κόστος στις μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα κυμαίνεται από 0,5 €/m<sup>3</sup> έως 3,5 €/m<sup>3</sup>, ωστόσο στις περισσότερες περιπτώσεις το κόστος είναι μεγαλύτερο 1,2 €/m<sup>3</sup>. Το κόστος είναι σχετικά υψηλότερο από το κόστος των μεγαλύτερων μονάδων αφαλάτωσης, όπως εκείνων που λειτουργούν στο Ισραήλ, την Μάλτα και την Κύπρο, όπου η επιβάρυνση είναι της τάξης των 0,7 €/m<sup>3</sup> (Zotalis et al.,

2014). Επομένως ένα ζήτημα που χρήζει προσοχής είναι πως θα λειτουργήσουν οικονομικά αποδοτικότερα μονάδες σε μικρά νησιά όπου δεν μπορούν να επιτευχθούν οικονομίες κλίμακας. Ένα επίσης σημαντικό δεδομένο που επηρεάζει το κόστος λειτουργίας είναι η παλαιότητα των μονάδων και ειδικά η τεχνολογία που χρησιμοποιούν που έχει άμεσο αντίκρισμα σε μία σειρά από οικονομικά στοιχεία.



Σχήμα 3.7 Λειτουργικό κόστος (€/m<sup>3</sup>) μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού στα ελληνικά νησιά (Πηγή: Zotalis et al., 2014)



Η αποθήκευση της ενέργειας (energy storage) αποτελεί με τον έναν ή τον άλλο τρόπο τόσο μια φυσική διεργασία (π.χ. δημιουργία ορυκτών καυσίμων), όσο και μια τεχνητή μέθοδο για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών του ανθρώπου. Σε αυτήν την εργασία δεν αναφέρονται τα συστήματα αποθήκευσης των συμβατικών καυσίμων (δεξαμενές, υπόγεια αποθήκευση φυσικού αερίου κτλ.).

Η αποθήκευση ενέργειας συγκαταλέγεται ανάμεσα στα σημαντικότερα ζητήματα στον τομέα της ενέργειας και χαρακτηρίζεται από μία συνεχιζόμενη τάση εξέλιξης. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας απέκτησαν ακόμη μεγαλύτερη σημασία μετά τις προωθούμενες πολιτικές σε παγκόσμια κλίμακα για την αύξηση της συμμετοχής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Για να επιτευχθεί ένα υψηλός βαθμός διείσδυσης των ΑΠΕ στο εκάστοτε δίκτυο θα πρέπει να λυθούν μία σειρά από ζητήματα όπως η στοχαστικότητα στην παραγωγή ενέργειας μέσω ΑΠΕ και η διατήρηση της σταθερότητας του δικτύου ηλεκτροδότησης. Τα ζητήματα αυτά σχετίζονται άμεσα με τις δυνατότητες αποθήκευσης ενέργειας και απόδοσης της στο σύστημα άμεσα ανάλογα τις ανάγκες.

Η ταξινόμηση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας είναι αρκετά περίπλοκη. Μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το σκοπό του συστήματος (π.χ. παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ή θερμότητας), ανάλογα με τη μορφή της ενέργειας που αποθηκεύεται ή ανάλογα με το αν τα συστήματα αυτά είναι κινητά ή σταθερά. Στις σημειώσεις αυτές ακολουθείται η πρώτη ταξινόμηση. Έτσι, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν ως (Ανδρίτσος, 2008):

### **(α) Αποθήκευση Ηλεκτρισμού**

#### *1. Δυναμική Ενέργεια*

- Αντληση νερού (pumped hydro storage)
- Συμπιεσμένος αέρας (compressed gas)
- Ελατήρια (springs)



## 2. Κινητική Ενέργεια

- Σφόνδυλοι (flywheels)

## 3. Χημική Ενέργεια

- Συνθετικά καύσιμα (από τον γαιάνθρακα, υγρά και αέρια, και από τη βιομάζα)
- Ηλεκτροχημικές ενεργειακές πηγές (Συσσωρευτές-batteries, Υδρογόνο - υγρό ή αέριο-, στοιχεία καυσίμων - fuel cells)

## 4. Αποθήκευση ηλεκτρικής και μαγνητικής ενέργειας

- Μαγνητικά πεδία (υπεραγώγιμα πηνία εμβαπτισμένα σε υγρό ήλιο υπό κενό – super-conducting magnetic energy storage, προβληματική η διατήρηση των χαμηλών θερμοκρασιών)
- Ηλεκτρικά πεδία (υπέρ- πυκνωτές από άνθρακα κ.α. – advanced electrochemical capacitors: βρίσκονται σήμερα σε νηπιακή ανάπτυξη)

## **(β) Αποθήκευση Θερμότητας**

- Θερμό νερό, για βραχυπρόθεσμη (ώρες, ημέρες) ή μακροπρόθεσμη αποθήκευση (μήνες)
- Θερμά στερεά (π.χ. πέτρες, τούβλα, θερμοσυσσωρευτές, ανάλογα ψύξη για το καλοκαίρι)
- Με την τήξη ορισμένων στερεών (λανθάνουσα θερμότητα τήξης)

Η αποδοτικότητα των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να διαφέρει ανάλογα τον τρόπο αποθήκευσης, τον αριθμό των κύκλων ενέργειας και τον χρόνο αποθήκευσης. Γενικά η αποθήκευση ενέργειας με μπαταρίες έχουν αποδοτικότητα ανά κύκλο της τάξης του 60 έως 95%, όταν τα συστήματα αντλησιοταμίευσης κυμαίνονται από 70 έως 85% (National Hydropower Association).

Η σημαντικότητα των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας έγκειται στους εξής λόγους (European Commission):

- ✚ Η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία και εξισορρόπηση στο δίκτυο
- ✚ Παρέχει κάλυψη στην στοχαστικότητα της απόδοσης των ΑΠΕ. Η ανάγκη για συστήματα αποθήκευσης ενέργειας αυξάνεται και γίνεται επιτακτική όταν η συμμετοχή των ΑΠΕ υπερβαίνει το 20-25% καθότι σε αυτές τις περιπτώσεις οι διαχειριστές του δικτύου δεν μπορούν να καλύψουν της διακυμάνσεις στην απόδοση των ΑΠΕ με αποτέλεσμα το σύστημα να μην έχει ισορροπία.
- ✚ Σε τοπικό επίπεδο, βελτιώνει την διαχείριση των δικτύων διανομής, μειώνει το κόστος και βελτιώνει την αποτελεσματικότητα
- ✚ Έχει θετική συνεισφορά σε περιπτώσεις διακύμανσης της τάσης, συμφόρηση του δικτύου κλπ

Σε επίπεδο ΕΕ έχει αναγνωριστεί πολλαπλώς η σημασία της αποθήκευσης ενέργειας (energy storage) προς την δημιουργία low-carbon συστημάτων ενέργειας. Παρά την προώθηση της ανάπτυξης των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, σε επίπεδο ΕΕ, η δυνατότητα αποθήκευσης είναι της τάξης του 5% της συνολικής παραγωγής ενέργειας. Το μεγαλύτερο ποσοστό των συστημάτων αποθήκευσης προέρχεται από συστήματα αποθήκευσης υδατικών πόρων (hydro-storage) που χωροθετούνται κατά κόρον σε ορεινές περιοχές (Άλπεις, Πυρηναία, Καρπάθια όροι κλπ). Οι υπόλοιπες μορφές αποθήκευσης ενέργειας όπως οι μπαταρίες και το υδρογόνο είτε είναι περιορισμένης δυναμικότητας είτε βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης (European Commission).

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας ανάλογα με την δυναμικότητα τους μπορεί να διακριθούν σε μεγάλης κλίμακας (GW), μεσαίας (MW) μικρής ή τοπικής (kW). Τα πιο ανεπτυγμένα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας είναι:

- ✚ Θερμικής αποθήκευσης, μεγάλοι ταμιευτήρες νερού (υδροηλεκτρική ενέργεια)
- ✚ Αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα (Compressed Air Energy Storage - CAES)
- ✚ Αποθήκευση χημικών όπως υδρογόνου
- ✚ Υπέρ-πυκνωτές, υπεραγώγιμη Μαγνητική Αποθήκευση Ενέργειας κλπ
- ✚ Μπαταρίες διαφόρων τύπων (μολύβδου- οξέως, ιόντων λιθίου κλπ)

✚ Αντλησιοταμίευση (European Commission).

#### 4.1 Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές

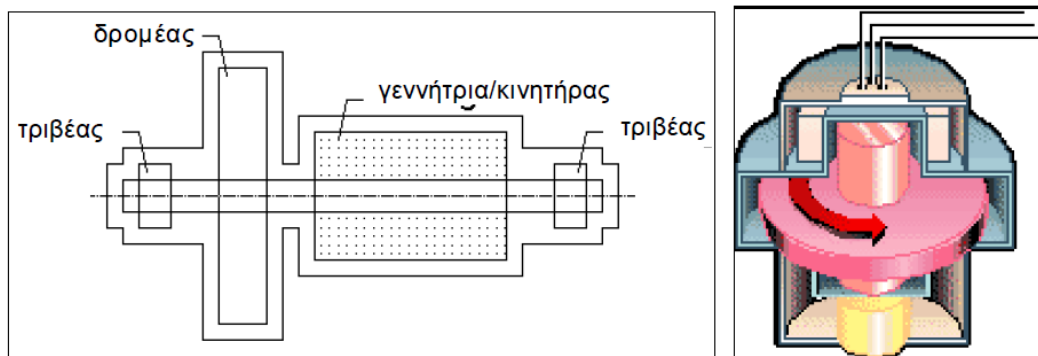
Οι συστοιχίες ηλεκτρικών συσσωρευτών χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ πλαίσιο αποθήκευσης ενέργειας κυρίως για ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές. Πέρα από το υψηλό (συνήθως) κόστος τους, οι αποθηκευτικές τους δυνατότητες είναι περιορισμένες, απαιτούν μεγάλες επιφάνειες ενώ έχουν και συγκεκριμένο χρόνο ζωής. Υπάρχει ανάγκη για ανάπτυξη αξιόπιστων συσσωρευτών, ανώτερης ποιότητας από τα συμβατικά συστήματα των συσσωρευτών μολύβδου-οξέος, που θα διαρκούν για περισσότερους από 2.000 κύκλους φόρτισης-αποφόρτισης. Οι συσσωρευτές μολύβδου-οξέος εφευρέθηκαν το 1859 από τον Gaston Planté και χρησιμοποιούνται ακόμη ευρύτατα στο μεταφορικό τομέα, για αποθήκευση ηλιακής ενέργειας κτλ. Οι περιορισμοί τους είναι: (α) απαιτούν συχνή συντήρηση για αντικατάσταση του νερού που χάνεται, (β) είναι σχετικά ακριβά για ευρεία χρήση στα Φ/Β συστήματα και (γ) επειδή χρησιμοποιούν μόλυβδο είναι σχετικά βαριά. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και υπάρχουν διαθέσιμα στο εμπόριο σε μεγάλη ποικιλία (Ανδρίτσος, 2008).

Τα τελευταία χρόνια με την εξέλιξη της τεχνολογίας των μπαταριών έχουν δημιουργηθεί συσσωρευτές με μεγαλύτερο χρόνο ζωής, μικρότερο κόστος και μεγαλύτερες δυνατότητες αποθήκευσης ενέργειας. Για παράδειγμα, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν διπλάσια ενεργειακή πυκνότητα από τις προγενέστερες μπαταρίες νικελίου-καδμίου. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου από την άλλη πλευρά έχουν κάποια σημαντικά μειονεκτήματα όπως το υψηλό κόστος τους αλλά και ευαισθησία σχετικά με τους κύκλους φόρτισης (η υπέρ-φόρτωση και η πλήρης αποφόρτιση δημιουργούν προβλήματα). Παρά ταύτα οι συσσωρευτές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσα αποθήκευσης ενέργειας σε μεγάλης κλίμακας έργα και έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής και υψηλότερο κόστος από άλλες τεχνικές (Sharma and Senapati, 2013).

Στα πλεονεκτήματα της χρήσης μπαταριών συγκαταλέγεται το γεγονός ότι έχουν υψηλή αποδοτικότητα που ανέρχεται ακόμη και έως 90%.

## 4.2 Σφόνδυλοι

Μία εναλλακτική λύση αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε μηχανική μορφή ως κινητική ενέργεια σε ειδικούς σφονδύλους. Οι σφόνδυλοι αποθηκεύουν κινητική ενέργεια σε ένα δρομέα (rotor) και λειτουργούν ως μια μηχανική μπαταρία. Η διάμετρος του δρομέα ποικίλλει από μερικά εκατοστά μέχρι ορισμένα μέτρα, με ταχύτητες περιστροφής που ξεπερνούν της 200.000 rpm. Λειτουργούν άλλοτε ως γεννήτριες και άλλοτε ως κινητήρες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά και εκεί που υπάρχει απότομα διαθέσιμη ενέργεια (π.χ. φρενάρισμα). Έχουν προταθεί για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Μέχρι τώρα βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο, είναι αντικοινωνικοί και δεν υπάρχει εφαρμογή σε μονάδα ηλεκτροπαραγωγής (Ανδρίτσος, 2008; Παπαντώνης, 2009).

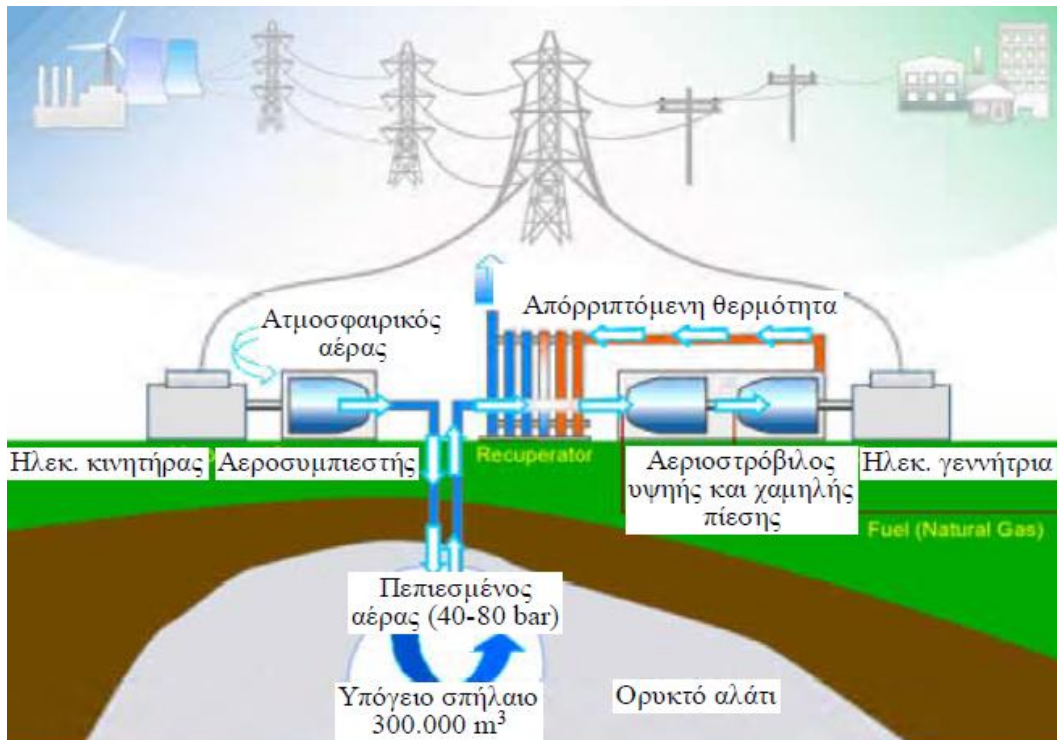


Σχήμα 4.1 Σχηματική παράσταση ενός μηχανικού σφονδύλου (Πηγή: Ανδρίτσος, 2008)

## 4.3 Αποθήκευση Πεπιεσμένου Αέρα

Η αποθήκευση υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα ή αερίου (Compressed Air Energy Storage - CAES) γενικότερα σε αεροφυλάκιο είναι μία τεχνική που βρίσκεται ακόμη υπό εξέλιξη (πilotική κλίμακα). Στο σύστημα αυτό η περίσσεια της ηλεκτρικής ενέργειας σε συγκεκριμένες μέρες και ώρες μετατρέπεται σε πεπιεσμένο αέρα που αποθηκεύεται υπογείως. Όταν χρειαστεί η πρόσθετη ενέργεια ο πεπιεσμένος αέρα οδηγείται σε αεριοστρόβιλο όπου και μετατρέπεται ξανά σε ηλεκτρική ενέργεια. Το συγκεκριμένο σύστημα αποθήκευσης, χωρίς κατάλληλη διάταξη ανάκτηση της θερμότητας, έχει απόδοση της τάξης του 42 έως 54%. Ο πλήρης κύκλος περιλαμβάνει αεροσυμπιεστή του ατμοσφαιρικού

αέρα, αποθήκευση του πεπιεσμένου αέρα σε υπόγεια σπήλαια σε πίεση 40-80 bar και στην συνέχεια παραγωγή ηλεκτρισμού από 2 αεριοστρόβιλους (υψηλής και χαμηλής πίεσης) (European Commission).



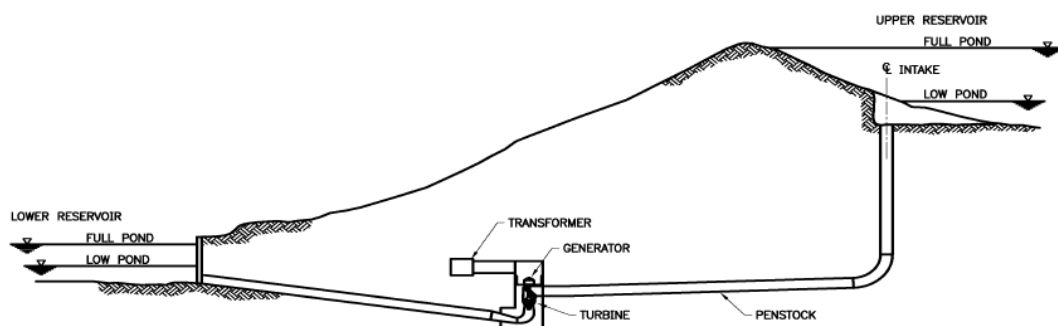
Σχήμα 4.2 Βασική διάταξη της τεχνολογίας αποθήκευσης πεπιεσμένου αέρα ή αερίου (Πηγή: Παπαντώνης, 2009)

#### 4.4 Αποθήκευση Υδρογόνου

Οι τεχνικές αποθήκευσης ενέργειας μέσω του υδρογόνου είναι πολλά υποσχόμενες αν και με μικρό ακόμη βαθμό ωριμότητας. Ένα βασικό πρόβλημα προς επίλυση είναι ο χαμηλό βαθμό απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος. Ενδεικτικά μπορεί να αναφερθεί ότι ο βαθμός απόδοσης από την χρησιμοποίηση αιολικής ενέργειας για ηλεκτρόλυση ανέρχεται σε 20% ενώ η παραγωγή υδρογόνου από φυσικό αέριο έχει συντελεστή απόδοσης της τάξης του 50%. Στα θετικά του συστήματος αυτού συγκαταλέγεται το γεγονός ότι το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μία πληθώρα περιπτώσεων όπως ως: καύσιμο για αυτοκίνητα, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για την παραγωγή άλλων προϊόντων ως βασικό χημικό κλπ (European Commission).

#### 4.5 Αντλησιοταμίευση

Από μία σύντομη ιστορική αναδρομή στην συγκεκριμένη τεχνική γίνεται κατανοητό ότι η χρήση της ως αποθηκευτικού μέσου ενέργειας δεν είναι κάτι καινούργιο. Οι πρώτες εφαρμογές αντλησιοταμιευτικών συστημάτων θεωρείται ότι υλοποιήθηκαν στην Ευρώπη στις αρχές του 1900 και στις ΗΠΑ περίπου το 1930. Η πρώτη γνωστή χρήση αυτής της τεχνικής έγινε στην Ελβετία το 1882, ενώ ακολούθησαν στις αρχές του 1900 πολλές εφαρμογές συστημάτων κυρίως στην Γερμανία (National Hydropower Association).



Σχήμα 4.3 Γραφική απεικόνιση ενός τυπικού συστήματος αντλησιοταμίευσης (Πηγή: Miller and Winters, 2009)

Η αντλησιοταμίευση είναι η πλέον αξιόπιστη<sup>6</sup> λύση για την αποθήκευση ενέργειας με μία σειρά από πλεονεκτήματα όπως: η κλίμακα εφαρμογής της που μπορεί να είναι από μικρά έως πολύ μεγάλα έργα, το μικρό κόστος αποθήκευσης ενέργειας ανά kWh, ο άμεσος βαθμός απόκρισης και παραγωγής ενέργειας και ο υψηλός βαθμός απόδοσης (άνω του 80%). Τα συγκεκριμένα συστήματα λειτουργούν ως εξής: υπάρχουν δύο ή περισσότεροι ταμιευτήρες νερού σε διαφορετικά υψόμετρα. Σε περιόδους χαμηλής ενεργειακής ζήτησης, η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας διοχετεύεται στο σύστημα άντλησης ώστε νερό από τους χαμηλότερους ταμιευτήρες να οδηγείται στους υψηλότερους. Το αποθηκευμένο

<sup>6</sup> Για αυτό αποτελεί την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη και την πλέον εμπορικά βιώσιμη τεχνολογία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

νερό από τους υψηλότερους ταμιευτήρες, σε περιόδους υψηλής ενεργειακής ζήτησης, απελευθερώνεται μέσω τουρμπίνων προς τους χαμηλότερους ταμιευτήρες παράγοντας υδροηλεκτρική ενέργεια (Miller and Winters, 2009; Sharma and Senapati, 2013).

#### 4.6 Συγκριτική Αξιολόγηση Συστημάτων

Συνοψίζοντας, τα κυριότερα χαρακτηριστικά των βασικών τεχνικών αποθήκευσης ενέργειας φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4.1 Βασικά χαρακτηριστικά των μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας

Τεχνολογία	Ολικό Βαθμός Απόδοσης (%)	Μέγεθος (MWh)
Υδραυλικός Ταμιευτήρας	75-85	0-20.000
Πεπιεσμένος Αέρας	70	250-2.200
Σφόνδυλος	90+	0,1-20
Ηλ. Συσσωρευτής	70-84	17-40
Αποθήκευση υδρογόνου	20-50	0-50

Πηγή: European Commission; Παπαντώνης (2009)

Στην διαδικασία αποθήκευσης της ενέργειας και στην συνέχεια της επαναπόδοσης της στην κατανάλωση υπάρχουν απώλειες, με συνέπεια η ενέργεια που αποδίδεται να είναι μικρότερη από την ενέργεια που αποθηκεύεται. Ο τύπος των απωλειών εξαρτάται από την μέθοδο αποθήκευσης. Ως βαθμός απόδοσης του συστήματος αποθήκευσης ορίζεται ο λόγος της ενέργειας που αποδίδεται προς την ενέργεια που αποθηκεύεται. Από όλες τις μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας, μόνο η αποθήκευση της σε μορφή υδραυλικής ενέργειας και υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα καλύπτουν την παροχή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, όποτε είναι εφαρμόσιμες στην περίπτωση ηλεκτρικού δικτύου. Επίσης παρουσιάζουν το ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Είναι αναστρέψιμες μέθοδοι (αποθήκευση και τροφοδοσία του ηλεκτρικού δικτύου)
- Έχουν γρήγορη απόκριση
- Έχουν σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης σε ένα πλήρη κύκλο

## 5 Υδροστρόβιλοι

Οι υδροστρόβιλοι μετατρέπουν την ενέργεια του νερού που πέφτει από κάποιο ύψος σε ισχύ περιστρεφόμενου άξονα και διακρίνονται σε υδροστροβίλους δράσεως και σε υδροστροβίλους αντιδράσεως, ανάλογα με το βαθμό αντιδράσεως της στροβιλομηχανής. Ως βαθμός αντιδράσεως μια βαθμίδα στροβιλομηχανής ορίζεται ο λόγος της μεταβολής της στατικής πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου της περωτής προς τη συνολική μεταβολή της στατικής πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου από τη βαθμίδα. Όταν η στατική πίεση μεταξύ εισόδου και εξόδου της περωτής μεταβάλλεται, τότε η περωτή ονομάζεται αντιδράσεως, ενώ στην αντίθετη περίπτωση, ονομάζεται δράσεως. Συνεπώς, οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως είναι ολικής προσβολής, δηλαδή ολόκληρος ο δρομέας λειτουργεί αξονοσυμμετρικά και η στατική πίεση μεταβάλλεται (μειώνεται) μεταξύ εισόδου και εξόδου της περωτής, ενώ οι υδροστρόβιλοι δράσεως είναι μερικής προσβολής, και σε κάθε χρονική στιγμή μόνο ένα τμήμα της περωτής συμμετέχει στην ενεργειακή μετατροπή. Μία άλλη κατηγοριοποίηση των υδροστροβίλων μπορεί να γίνει με βάση το μέγεθος του υδραυλικού ύψους. Έτσι έχουμε υδροστροβίλους μεγάλου, μεσαίου και μικρού υδραυλικού ύψους (Κατερινόπουλος, 2007).

Επίσης οι υδροστρόβιλοι κατηγοριοποιούνται σε υδροστροβίλους μεγάλου, μεσαίου και μικρού υδραυλικού ύψους, ανάλογα προφανώς με το μέγεθος του υδραυλικού ύψους. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται συνδυαστικά οι πιο συνήθεις τύποι υδροστροβίλων, για τις διάφορες κατηγορίες που αναφέρθηκαν.

Πίνακας 5.1 Ταξινόμηση υδροστρόβιλων

	Μεγάλο Υδρ. Ύψος	Μεσαίο Υδρ. Ύψος	Μικρό Υδρ. Ύψος
Στρόβιλοι Δράσεως	Pelton Turgo	Cross-Flow (ή Banki) Pelton Πολλαπλών Δέσμεων υγρού Turgo	Cross-Flow (ή Banki)
Στρόβιλοι Αντιδράσεως	-	Francis	Αξονικής Ροής Βολβοειδής Kaplan

Πηγή: Κατερινόπουλος (2017)



## 5.1 Υδροστροβίλοι Δράσεως

Οι υδροστροβίλοι δράσεως χρησιμοποιούνται συνήθως σε περιπτώσεις μεγάλου υδραυλικού ύψους και μικρής τιμής παροχής νερού. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι σε αυτήν την περίπτωση, η μεγάλη ταχύτητα του νερού, εξαιτίας του μεγάλου υδραυλικού ύψους, επικεντρώνει τη διαθέσιμη υδραυλική ισχύ σε μια μικρή περιοχή ροής. Έτσι, η συγκεντρωμένη αυτή ισχύς μετατρέπεται πιο αποδοτικά, αφού κατευθυνθεί μέσω ενός ή περισσότερων δέσμεων νερού που προσπίπτουν πάνω στο δρομέα, ο οποίος μειώνει σημαντικά την ταχύτητά τους. Η βέλτιστη απόδοση ενός υδροστροβίλου δράσεως, προκύπτει όταν η ταχύτητα του δρομέα είναι περίπου ίση με τη μισή της ταχύτητας της δέσμης νερού, καθώς η τελευταία εγκαταλείπει το ακροφύσιο που την οδήγησε (Αγγελίδης, 2015).

Ένα πλεονέκτημα των υδροστροβίλων δράσεως, σε σχέση με τους υδροστροβίλους αντιδράσεως, είναι το ότι εφόσον το υδραυλικό ύψος μετατρέπεται σε ταχύτητα στα ακίνητα ακροφύσια, δεν υπάρχει πτώση πίεσης στο δρομέα, οπότε δεν είναι απαραίτητη η στεγανοποίηση στα ανοίγματα μεταξύ του δρομέα και της στέγασης του στροβίλου. Το γεγονός αυτό καθιστά τους υδροστροβίλους δράσεως πιο απλούς στο να κατασκευαστούν και ταυτόχρονα πιο ανεκτικούς σε συνθήκες μη καθαρού νερού. Οι πιο βασικοί τύποι υδροστροβίλων δράσεως είναι οι υδροστροβίλοι Pelton, Turgo και CrossFlow (Αγγελίδης, 2015).

### 5.1.1 Υδροστροβίλος Pelton

Ο μόνος τύπος υδροστροβίλου δράσεως που έχει επικρατήσει είναι ο υδροστροβίλος τύπου Pelton, ο οποίος πήρε το όνομα του από τον δημιουργό του, που τον εφηύρε το 1889. Το τμήμα εισόδου του αποτελείται από ένα ή περισσότερα ακροφύσια τα οποία λόγω της διαμόρφωσής τους, δεσμεύουν σχεδόν το 100% της κινητικής ενέργειας του ρευστού σε χαμηλές ταχύτητες, επιτυγχάνοντας έτσι σταθερό υψηλό βαθμό απόδοσης σε όλο το πεδίο της λειτουργίας τους. Ταυτόχρονα αυξάνοντας τον αριθμό των ακροφυσίων, τα οποία μπορούν να φτάσουν το μέγιστο έξι, αυξάνεται και η δέσμευση ενέργειας του ρευστού και συνεπώς η απόδοση του υδροστροβίλου. Το πεδίο λειτουργίας του

αφορά μανομετρικά από 30 – 1500 m και παροχές 0,01 – 5 m<sup>3</sup>/sec. Η απόδοση του είναι της τάξης του 90% (Αγγελίδης, 2015).

### 5.1.2 Υδροστρόβιλος *Turgo*

Ο υδροστρόβιλος *Turgo* αποτελεί παραλλαγή του υδροστρόβιλου *Pelton* και η εφαρμογή του έχει σχεδόν εκλείψει. Λειτουργεί με υψηλότερες παροχές, σε χαμηλότερα μανομετρικά, και παρουσιάζει ελαφρώς χαμηλότερη απόδοση. Στην πραγματικότητα η περωτή *Turgo* είναι η περωτή *Pelton* κομμένη στη μέση, επομένως μια περωτή *Turgo* θα έχει διπλάσια διατομή από μία περωτή *Pelton* ίδιας ισχύος. Το πεδίο λειτουργίας της αφορά μανομετρικά από 30 – 400 m και παροχές 0,02 – 8 m<sup>3</sup>/sec.

### 5.1.3 Υδροστρόβιλος *CrossFlow*

Ο υδροστρόβιλος *CrossFlow* (ή *Banki*) δημιουργήθηκε για τη διαχείριση μεγαλύτερων παροχών νερού και μικρότερου υδραυλικού ύψους, συγκριτικά με τον υδροστρόβιλο *Pelton*. Χρησιμοποιεί ένα ορθογωνικής διατομής ακροφύσιο μεγαλύτερου μήκους, που οδηγεί το νερό καμπυλωτά σε έναν κυλινδρικού σχήματος δρομέα. Το νερό επιβραδύνεται σε δύο στάδια, συναντώντας τα περύγια του δρομέα δύο φορές, καθώς διέρχεται σε αυτόν οριζόντια. Η σχεδίαση μεγαλύτερου μήκους, όσον αφορά το δρομέα και το ακροφύσιο εισόδου, αυξάνει τη χωρητικότητα για παροχή του υδροστροβίλου, επιτρέποντας έτσι τη διαχείριση μικρότερων τιμών υδραυλικού ύψους ( $H < 100$  m). Το εύρος παροχών που καλύπτει είναι μεταξύ 0,04 – 10 m<sup>3</sup>/sec. Ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου *CrossFlow*, κυρίως λόγω της περισσότερο πολύπλοκης διαδρομής της ροής, κυμαίνεται σε τιμές γύρω στο 65%.

## 5.2 Υδροστρόβιλοι Αντιδράσεως

Οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως (Κατερινόπουλος, 2007) χρησιμοποιούνται σε μικρότερα υδραυλικά ύψη, σε σχέση με τους υδροστρόβιλους δράσεως, και σε μεγαλύτερες τιμές παροχής νερού, αν και υπάρχουν αρκετές τέτοιες περιπτώσεις στην πράξη που και οι δύο τύποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Ένα από τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι επιτυγχάνουν καλούς βαθμούς απόδοσης. Καθώς όμως λειτουργούν με εφαρμογή του υδραυλικού ύψους εγκάρσια στο δρομέα, επιβάλλεται η στεγανοποίηση στα ανοίγματα μεταξύ του δρομέα και της στέγασης του στροβίλου, διότι εξαιτίας της διαρροής, δημιουργείται σημαντική απώλεια ισχύος. Έτσι οι επιδόσεις και η απόδοσή τους μπορεί να υποβαθμιστούν, αφού η άμμος και τα κατακάθια λάσπης προκαλούν μεγαλύτερη τριβή στη στεγάνωση, σε σχέση με τους υδροστροβίλους δράσεως.

Για εφαρμογές μικρού υδραυλικού ύψους, οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως προσφέρουν μικρότερες διαμέτρους στροβίλου και μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής, σε σχέση με τους παραδοσιακούς υδροστροβίλους δράσεως. Από την άλλη, οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως απαιτούν μεγαλύτερες τιμές παροχής νερού, εξαιτίας του μικρού υδραυλικού ύψους.

Οι πιο βασικοί τύποι υδροστροβίλων αντιδράσεως είναι οι υδροστρόβιλοι Francis, Kaplan, οι υδροστρόβιλοι αξονικής ροής και οι βολβοειδείς υδροστρόβιλοι.

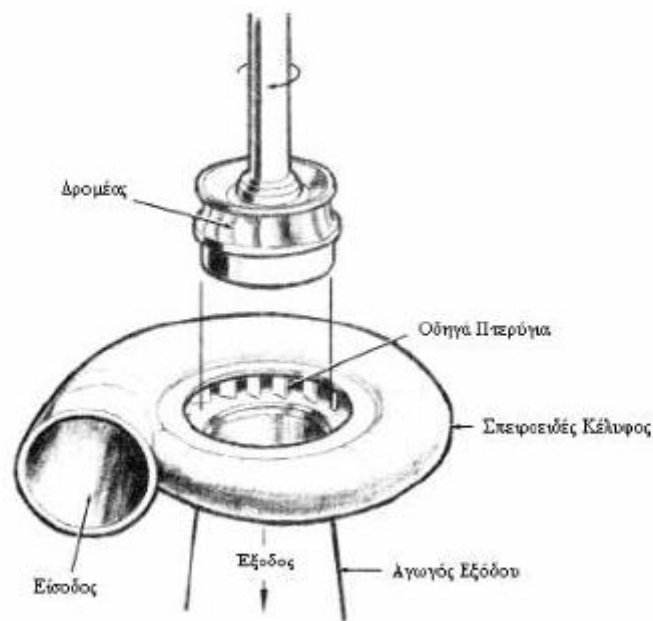
### 5.2.1 Υδροστρόβιλος Francis

Ο τύπος αυτός υδροστροβίλου (**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τον Αμερικανό μηχανικό J. B. Francis το 1849. Η απόδοση της λειτουργίας του μπορεί να φθάσει και το 90%.

Τα κύρια μέρη ενός υδροστρόβιλου Francis (Αγγελίδης, 2015) είναι:

- ✚ Σπειροειδές κέλυφος: Με σκοπό την επίτευξη της ομοιόμορφης τροφοδοσίας και λειτουργίας, το νερό καθώς εξέρχεται από τον αγωγό προσαγωγής εισέρχεται εντός του σπειροειδούς κελύφους το οποίο περιβάλλει πλήρως τον δρομέα. Η διατομή του σπειροειδούς κελύφους μειώνεται κατά μήκος της ροής έτσι ώστε να διατηρείται όσο το δυνατόν σταθερή η ταχύτητα του νερού.
- ✚ Οδηγία πτερύγια: Μέσα στο σπειροειδές κέλυφος το νερό είναι υποχρεωμένο να περάσει μέσα από τα ακίνητα (οδηγία) πτερύγια τα οποία είναι προσαρμοσμένα στην περιφέρεια του δρομέα. Κάθε πτερύγιο μπορεί να περιστρέφεται περί του άξονά του. Σκοπός αυτής της περιστροφής είναι ο

έλεγχος της εισερχόμενης παροχής εντός των πτερυγίων του δρομέα και συνεπώς ο έλεγχος της παρεχομένης ισχύος.



Σχήμα 5.1 Υδροστρόβιλος Francis (Πηγή: Κατερινόπουλος, 2007)

- ✚ Δρομέας: Αποτελείται από μια σειρά καμπυλωμένων πτερυγίων, τα οποία είναι συμμετρικά κατανομημένα και προσαρμοσμένα επί της περιφέρειας. Εκτείνονται μεταξύ της πλήμνης και της στεφάνης στην οποία είναι πακτωμένα. Αυξάνεται έτσι η μηχανική στιβαρότητα της κατασκευής και η αντοχή στις δυνάμεις που αναπτύσσονται στα πτερύγια από τη διερχόμενη ροή. Τα πτερύγια είναι διαμορφωμένα ούτως ώστε το νερό να εισέρχεται στο δρομέα ακτινικά και στο ύψος της εξωτερικής περιφέρειας και να εξέρχεται απ' αυτόν κατά την αξονική διεύθυνση και στο ύψος της εσωτερικής περιφέρειας.
- ✚ Αγωγός Εξόδου: Το νερό βγαίνει μέσα από τον δρομέα κατά την αξονική κατεύθυνση και αποχωρεί από τον υδροστρόβιλο διαμέσου του αγωγού φυγής. Στην πράξη η πλειοψηφία των υδροστρόβιλων Francis έχουν την άτρακτο σε κατακόρυφη θέση.

Οι υδροστρόβιλοι Francis μπορούν να τοποθετηθούν είτε οριζόντια είτε κάθετα και μπορούν να επιτύχουν πολύ καλό βαθμό απόδοσης ακόμα και για παροχές ίσες με το 50% αυτής της σχεδίασης.

### 5.2.2 Υδροστροβίλος Kaplan

Οι υδροστροβίλοι Kaplan αποτελούν μια εξέλιξη του υδροστροβίλου Francis, προκειμένου να γίνει δυνατή η παραγωγή ισχύος σε μεγάλες παροχές και μικρά μανομετρικά ύψη και παρουσιάζει σταθερή απόδοση σε μεγάλο εύρος λειτουργίας. Το πεδίο λειτουργίας της αφορά μανομετρικά κάτω από 50 m και παροχές 0,5 – 50 m<sup>3</sup>/sec.

### 5.2.3 Υδροστροβίλος αξονικής ροής

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία υδροστροβίλων που έχουν ως κοινό τους χαρακτηριστικό τη χρήση ενός δρομέα σχήματος προπέλας. Είναι κυρίως αξονικής ροής, που σημαίνει ότι η ροή του νερού είναι συνέχεια παράλληλη στον άξονα του στροβίλου, μιας και η γωνία κλίσης των πτερυγίων του ρότορα δε μεταβάλλεται.

Ο δρομέας μοιάζει με την προπέλα ενός σκάφους, αν και υπάρχουν αρκετές διαφορές μεταξύ τους, καθώς η προπέλα ενός σκάφους δε λειτουργεί μέσα σε ένα κέλυφος με πίεση, ενώ ο δρομέας αυτού του τύπου υδροστροβίλου λειτουργεί με αυτόν τον τρόπο. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν στην πράξη πολλές περιπτώσεις, όπου τροποποιήθηκε κατάλληλα η προπέλα σκάφους, ώστε να λειτουργήσει ως δρομέας υδροστροβίλου αξονικής ροής, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί κυρίως με το κόψιμο των καμπυλωτών ακμών στο τέλος των πτερυγίων.

Μία συνήθης τιμή του βαθμού απόδοσης των υδροστροβίλων αυτών είναι αυτή του 50%, που είναι ιδιαίτερα χαμηλή, αλλά υπάρχει ένα μικρό εύρος παροχών, για τις οποίες οι υδροστροβίλοι αξονικής ροής επιτυγχάνουν ιδιαίτερα καλή τιμή του βαθμού απόδοσης και υψηλή ειδική ταχύτητα. Γενικά όμως, όσο η τιμή της παροχής μειώνεται, τόσο πέφτει και αυτή του βαθμού απόδοσης.

### 5.2.4 Βολβοειδής Υδροστροβίλοι

Οι βολβοειδείς υδροστροβίλοι είναι κατάλληλοι για μικρά υδραυλικά ύψη και για μεγάλο φάσμα φορτίων. Ουσιαστικά έχουν αντικαταστήσει σήμερα τους υδροστροβίλους Kaplan για μικρές τιμές του υδραυλικού ύψους, για τις οποίες η ταχύτητα της γεννήτριας πρέπει να αυξάνεται. Αυτό γίνεται επειδή η ευθεία

σχεδίαση της διόδου του νερού βελτιώνει τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής, μειώνοντας και το μέγεθος αλλά και το κόστος. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι οι βολβοειδείς υδροστρόβιλοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε εγκαταστάσεις κοντά σε σημεία όπου παρουσιάζεται το φαινόμενο της παλίρροιας.

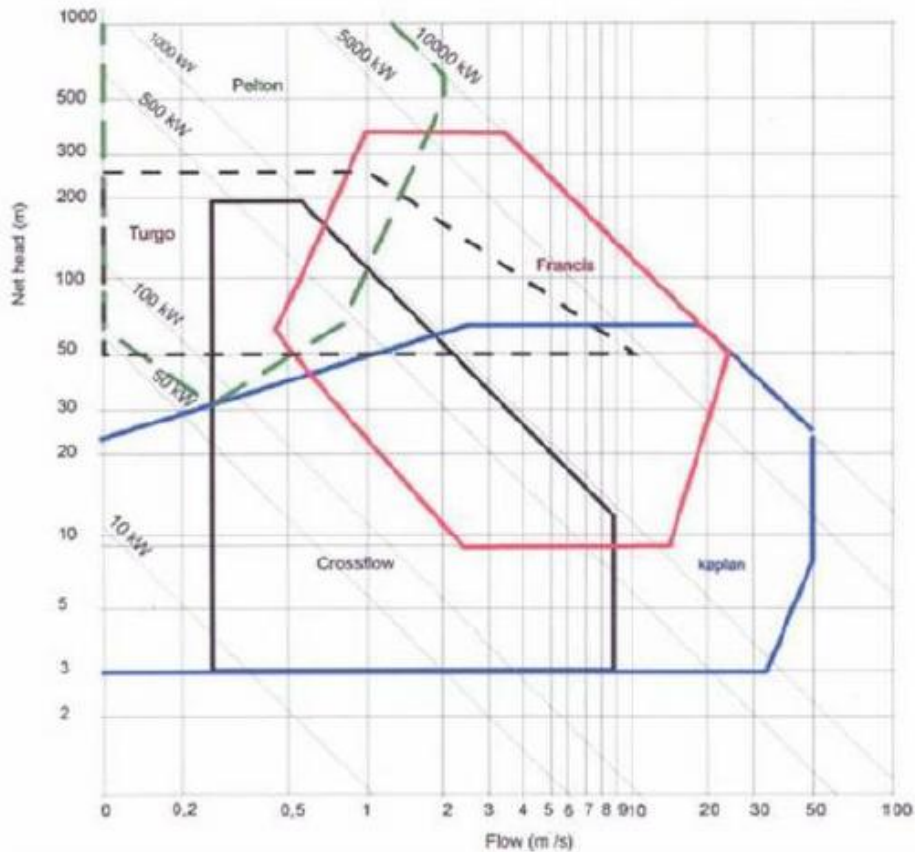
#### *5.2.5 Χρήση φυγοκεντρικών αντλιών ως υδροστρόβιλων*

Όταν η ροή μιας φυγοκεντρικής αντλίας αντιστρέφεται, εφαρμόζοντας υδραυλικό ύψος στο ακροφύσιο εξόδου, η αντλία μετατρέπεται σε υδροστρόβιλο (Κατερινόπουλος, 2007). Οι αντλίες κατασκευάζονται συνήθως σε μεγαλύτερες ποσότητες, τυποποιημένες και έτσι το κόστος τους είναι σημαντικά μικρότερο έναντι αυτού των υδροστρόβιλων. Το αν αξίζει όμως να χρησιμοποιηθεί αντλία αντί για υδροστρόβιλο θα πρέπει να αποφασιστεί λαμβάνοντας υπόψιν όχι μόνο το κόστος, αλλά και την ηλεκτρική ισχύ που παράγεται, σε σχέση με αυτή που θα παραγόταν αν λειτουργούσε υδροστρόβιλος με τις ίδιες συνθήκες ύψους και παροχής, και φυσικά τέλος πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν ο βαθμός απόδοσης.

Όταν η αντλία χρησιμοποιείται ως υδροστρόβιλος, προκειμένου να λειτουργεί στην επιθυμητή ταχύτητα, οι τιμές του υδραυλικού ύψους και της παροχής πρέπει να αυξηθούν σε σχέση με αυτές που έχουν υπολογιστεί για μια κανονική χρήση της αντλίας. Ένα σύνηθες λάθος, κατά τη χρησιμοποίηση μιας αντλίας ως υδροστρόβιλο, είναι το να επιλεγθεί η αντλία από ένα κατάλογο αντλιών με βάση την καμπύλη απόδοσής της, χωρίς να υπολογιστούν οι μεταβολές που θα υπάρξουν όταν αυτή λειτουργήσει ως υδροστρόβιλος, αφού οι κατάλογοι αντλιών αναφέρονται αποκλειστικά στην κανονική χρήση των αντλιών που περιγράφουν. Έτσι η αντλία θα αποτύχει να λειτουργήσει κατάλληλα ως υδροστρόβιλος στην εγκατάσταση.

### **5.3 Επιλογή Τύπου Υδροστρόβιλου**

Προκειμένου να επιλεγθεί ο πιο αποδοτικός και αξιόπιστος υδροστρόβιλος, για μια δεδομένη παροχή και υδραυλικό ύψος, λαμβάνονται υπόψιν οι περιοχές λειτουργίας του κάθε τύπου υδροστρόβιλου. Οι περιοχές αυτές απεικονίζονται στο Σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 Διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου για δεδομένη παροχή και καθαρό υδραυλικό ύψος (Πηγή: Μπέρτσιου, 2016)

Η περιοχή εντός της μπλε γραμμής αναπαριστά την περιοχή λειτουργίας ενός υδροστροβίλου Kaplan, η περιοχή εντός της κόκκινης γραμμής ενός υδροστροβίλου Francis, εντός της πράσινης διακεκομμένης γραμμής ενός υδροστροβίλου Pelton, εντός της μαύρης διακεκομμένης γραμμής ενός υδροστροβίλου Turgo και η περιοχή εντός της μαύρης γραμμής την περιοχή λειτουργίας ενός υδροστροβίλου CrossFlow.

Αν οι συνθήκες παροχής και υδραυλικού ύψους οδηγούν σε κάποιο σημείο, στο παραπάνω διάγραμμα, που βρίσκεται σε περιοχή λειτουργίας που ανήκει όχι σε έναν, αλλά σε περισσότερους τύπους υδροστροβίλων, δηλαδή όταν οι περιοχές λειτουργίας διαφορετικών τύπων υδροστροβίλων επικαλύπτονται, τότε η διαδικασία επιλογής του τύπου υδροστροβίλου βασίζεται στη σύγκριση του κόστους των υδροστροβίλων, αλλά και στην εκτίμηση των ακολούθων παραγόντων (Κατερινόπουλος, 2007):

- ✚ Αν το νερό που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση δεν είναι καθαρό, αλλά περιέχει άμμο ή λάσπη, τότε προτιμάται κάποιος υδροστροβίλος δράσεως, προκειμένου να αποφευχθούν οι απώλειες στις στεγανώσεις των υδροστροβίλων αντιδράσεως.
- ✚ Αν ο υδροστροβίλος πρέπει να τοποθετηθεί σε κάποιο ύψος πάνω από τη στάθμη του νερού του φράγματος, προτιμάται κάποιος υδροστροβίλος αντιδράσεως με σωλήνα εκροής στην έξοδο, έτσι ώστε να γίνει εκμετάλλευση του μέγιστου διαθέσιμου υδραυλικού ύψους.
- ✚ Αν οι τιμές της παροχής και του υδραυλικού ύψους μπορούν να θεωρηθούν σχεδόν σταθερές, τότε θα πρέπει να εξεταστεί πολύ σοβαρά η περίπτωση χρησιμοποίησης φυγοκεντρικής αντλίας με αντεστραμμένη ροή ως υδροστροβίλο, λόγω του σημαντικού πλεονεκτήματος του χαμηλού αρχικού κόστους και της μεγάλης διαθεσιμότητας στην αγορά.
- ✚ Από τη χρησιμοποίηση ενός υδροστροβίλου Pelton προτιμάται η χρησιμοποίηση υδροστροβίλου Cross - Flow ή ενός τύπου Turgo, αφού οι τελευταίοι προσφέρουν μεγαλύτερη ταχύτητα και χειρίζονται μεγαλύτερες παροχές.



### 6.1 Ορισμός

Ως υβριδικό ορίζουμε ένα σύστημα στο οποίο υπάρχουν τουλάχιστον δύο διαφορετικές πηγές παροχής ενέργειας. Το προφανές πλεονέκτημα μίας τέτοιας λύσης είναι ότι σε περίπτωση αδυναμίας παροχής ενέργειας από την μία πηγή χρησιμοποιείται η εφεδρική οπότε το σύστημα δεν τίθεται εύκολα εκτός λειτουργίας και αυξάνεται η διαθεσιμότητα του. Ασφαλώς, μια τέτοια επιλογή αυξάνει αρκετά το κόστος επένδυσης και εγκατάστασης της μονάδας, αλλά αυξάνει και την αξιοπιστία του (Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011).

Σύμφωνα με τον Νόμο 3468/2006 ως υβριδικός σταθμός ορίζεται «κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που:

α) Χρησιμοποιεί μία, τουλάχιστον, μορφή ΑΠΕ.

β) Η συνολική ενέργεια που απορροφά από το Δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού. Ως ενέργεια που απορροφά ο Υβριδικός Σταθμός από το Δίκτυο, κατά το προηγούμενο εδάφιο, ορίζεται η διαφορά μεταξύ της ενέργειας που μετράται κατά την είσοδό της στο σταθμό και της ενέργειας που αποδίδεται απευθείας στο Δίκτυο από τις μονάδες Α.Π.Ε. του Υβριδικού Σταθμού. Η διαφορά αυτή υπολογίζεται, για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, σε ωριαία βάση. Αν για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας εφαρμόζεται τεχνολογία διαφορετική από αυτή των φωτοβολταϊκών, μπορεί να χρησιμοποιείται και συμβατική ενέργεια που δεν απορροφάται στο Δίκτυο, εφόσον η χρήση της ενέργειας αυτής κρίνεται αναγκαία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η χρησιμοποιούμενη συμβατική ενέργεια δεν μπορεί να υπερβαίνει το 10% της συνολικής ενέργειας που παράγεται, σε ετήσια βάση, από τις μονάδες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.

γ) Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων του σταθμού Α.Π.Ε. δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%».

Με δεδομένες τις ιδιαιτερότητες του νησιωτικού χώρου (Βλέπε: Πίνακας 6.1) και κυρίως την έλλειψη νερού, τα υβριδικά συστήματα αποτελούν μία καλή λύση τόσο για την εξασφάλιση της υδροδότησης τους όσο και την ενεργειακή αυτονομία. Η μεταφορά νερού στα νησιά (όπως και στο Αγαθονήσι) είναι μία πολύ ακριβή λύση, οι υπόγειοι και επιφανειακοί υδατικοί πόροι εξαιρετικά περιορισμένοι επομένως η λύση της αφαλάτωσης προβάλλει ως η μοναδική αξιόπιστη και οικονομικά συμφέρουσα λύση. Τα συστήματα αφαλάτωσης όμως καταναλώνουν μεγάλη ενέργεια η οποία στα μη διασυνδεδεμένα νησιά είναι πολύ ακριβή λόγω του τρόπου παραγωγής της. Επομένως η εφαρμογή κάποιου υβριδικού συστήματος θα αποτελέσει λύση τόσο για την εξασφάλιση της ενέργειας των μονάδων αφαλάτωσης αλλά παράλληλα θα ενισχύσει τον ρόλο των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας και θα συμβάλει στην μεγαλύτερη διείσδυση τους στο σύστημα ηλεκτροδότησης.

Πίνακας 6.1 Ιδιαιτερότητες νησιωτικού χώρου που επηρεάζουν την προσφορά υδατικών πόρων:

	<p>Περιορισμένη επιφάνεια για την συλλογή νερού και περιορισμένες δυνατότητες συγκράτησης υδατικών πόρων</p>		<p>Απομόνωση από άλλες κατοικημένες περιοχές-απομόνωση από ηπειρωτικό χώρο</p>		<p>Τρωτότητα από φυσικά φαινόμενα (ερημοποίηση, διάβρωση κλπ)</p>
	<p>Περιορισμένοι υδατικοί πόροι (λίμνες, ποτάμια, χείμαρροι)</p>		<p>Αναντιστοιχία στην ζήτηση και στην προσφορά (θερινοί άνυδρη μήνες με αύξηση του τουρισμού και των αρδευτικών αναγκών)</p>		<p>Ρύπανση (έλλειψη αποχετευτικών δικτύων και ΕΕΛ, έλλειψη ΧΥΤΑ κλπ)</p>

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Επιλογές υδροδότησης μικρών νησιών:

- ✚ Εκμετάλλευση υπόγειων υδάτων (περιορισμένοι υδατικοί πόροι, υφαλμύριση, μεγάλα βάθος γεωτρήσεων-αύξηση κόστους)
- ✚ Συλλογή βρόχινου νερού (απαιτούνται μεγάλες επιφάνειες και αποθηκευτικοί χώροι, κίνδυνοι προσάμμωσης, αναντιστοιχία ζήτησης και προσφοράς, στοχαστικότητα υετού)
- ✚ Μεταφορά νερού με πλοία (μεγάλο κόστος, αυξάνει την εξάρτηση από μεγαλύτερα νησιά η ηπειρωτικές περιοχές)
- ✚ Μονάδες αφαλάτωσης (υψηλό κόστος λόγω του κόστους ενέργειας)
- ✚ Δημιουργία ταμιευτήρων (υψηλό κόστος, μικρές δυνατότητες λόγω περιορισμένων απορροών)

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η λύση της αφαλάτωσης ήταν σχεδόν μονόδρομος για το Αγαθονήσι. Η Δημοτική Αρχή Αγαθονησίου όμως πλέον αντιμετωπίζει το πρόβλημα του υψηλού κόστους του νερού ως απόρροια κυρίως της κατανάλωσης ενέργειας από την μονάδα αφαλάτωσης του νησιού που εγκαταστάθηκε το 2013. Επίσης, η μονάδα αφαλάτωσης αυξάνει τις ανάγκες ενέργειας σε περιόδους που είναι ήδη αυξημένες λόγω τουρισμού, κλιματολογικών συνθηκών κλπ. οπότε τονώνει το ενεργειακό πρόβλημα και την διακύμανση της ζήτησης στο τοπικό σύστημα ηλεκτροδότησης με ότι αυτό μπορεί να συνεπάγεται για τις υποδομές και το λειτουργικό κόστος του συστήματος ηλεκτροδότησης. Η λύση που προτείνεται στο συγκεκριμένο πρόβλημα είναι η εγκατάσταση μία ανεμογεννήτριας που θα εξασφαλίζει τόσο το ρεύμα της μονάδας αφαλάτωσης όσο και μεγάλο μέρος της απαιτούμενης ενέργειας του νησιού. Η επιλογή της ανεμογεννήτριας έγινε διότι μπορεί να εξασφαλίσει την απαραίτητη ενέργεια για το σκοπό που περιγράφηκε, δεν απαιτεί μεγάλο χώρο εγκατάστασης, μπορεί να συνεισφέρει σε ένα υβριδικό σύστημα και έχει εμφανίζει μικρότερο κόστος ανά παραγόμενη κιλοβατώρα σε σχέση με την εναλλακτική της ηλιακής ενέργειας.

## 6.2 Χρησιμοποίηση Αιολικής Ενέργειας για Μονάδα Αφαλάτωσης

Η χρήση της αιολικής ενέργειας σε μονάδες αφαλάτωσης συστήνεται κυρίως σε βουνά και παράκτιες περιοχές με αξιόλογο αιολικό δυναμικό όπως είναι και το

Αγαθονήσι. Το στοιχείο που είναι σημαντικό σε μία τέτοια εφαρμογή είναι η διαδικασία ώστε να αποτραπούν επαναλαμβανόμενοι κύκλοι εκκίνησης και τερματισμού λειτουργίας λόγω αυξομείωσης της τάσης από τις ταχέως και στοχαστικά μεταβαλλόμενες συνθήκες ανέμου. Αν και η αντίστροφη όσμωση όπως και η μηχανική συμπίεση ατμού (Mechanical Vapor Compression - MVC) θεωρούνται τεχνολογίες αφαλάτωσης που δύναται να συνδυαστούν με αιολική ενέργεια, εντούτοις η σταθερή τάση του δικτύου είναι ένα μείζον ζήτημα (Gude et al., 2010).

Τα προβλήματα σταθερότητας του ηλεκτρικού δικτύου τροφοδότησης της μονάδας αφαλάτωσης όταν χρησιμοποιούνται ΑΠΕ γίνονται εντονότερα σε μικρά και απομονωμένα δίκτυα. Αν οι ΑΠΕ διοχετεύουν την ενέργεια στο δίκτυο μπορούν οι άλλες μονάδες παραγωγής ενέργειας να καλύψουν τις μεταπτώσεις στην τάση. Αυτό όμως όπως έχει προαναφερθεί μπορεί να γίνει μέχρι ενός σημείου και κυρίως στην περίπτωση όπου η ενέργεια των ΑΠΕ αποτελεί μικρό ποσοστό του συνόλου και το τοπικό δίκτυο έχει μονάδες παραγωγής που είναι ευέλικτες στην διακυμάνσεις της ισχύος. Κάτι τέτοιο όμως δεν μπορεί να γίνει στην περίπτωση του Αγαθονησίου όπου η προτεινόμενη ανεμογεννήτρια θα αντιπροσωπεύει μεγάλο ποσοστό της ενέργειας του νησιού, το δίκτυο του οποίου λειτουργεί μεμονωμένα.

Στις περιπτώσεις σαν του Αγαθονησίου προτείνονται μία σειρά από τεχνικές για να μπορέσει να λειτουργήσει το σύστημα. Μία επιλογή είναι ο συνδυασμός διαφορετικών μορφών ΑΠΕ ώστε να μειωθούν οι διακυμάνσεις τους. Μια συνήθης τέτοια επιλογή αποτελεί η χρήση τόσο αιολικής όσο και ηλιακής ενέργειας. Ένας τέτοιος συνδυασμός θα μείωνε τις μεταπτώσεις αλλά χωρίς να αποτελεί την οριστική λύση στο πρόβλημα, για μια σειρά από λόγους. Για παράδειγμα η ηλιακή ενέργεια παράγεται μόνον κατά τις ώρες της ημέρας και επομένως το βράδυ το σύστημα και πάλι θα λειτουργεί μόνο με την αιολική ενέργεια. Η μόνη πειστική λύση στο πρόβλημα της σταθερότητας του δικτύου είναι η εισαγωγή στο σύστημα κάποιας διάταξης αποθήκευσης ενέργειας που θα λειτουργεί ως εξισορροπητικός μηχανισμός. Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια η λύση που προκρίνεται είναι η εφαρμογή

μίας διάταξης αντλιοσταμίου μεταξύ δεξαμενών με διαφορά υψομέτρου. Η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης θα διοχετεύεται στην άντληση νερού από την κάτω στην πάνω δεξαμενή. Με αυτόν τον τρόπο όταν η ζήτηση ενέργειας θα είναι υψηλή θα υπάρχει συνδυασμός αιολικών και υδροηλεκτρικής ενέργειας με τον τοπικό σταθμό παραγωγής της ΔΕΗ να δρα υποστηρικτικά και εφόσον χρειάζεται.

Για την επιλογή της εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας πρέπει να ληφθούν υπόψη μία σειρά από παραμέτρους. Οι κυριότεροι παράμετροι σχεδιασμού συστήματος μονάδας αφαλάτωσης ανεμογεννήτριας είναι οι εξής:

- Η ζήτηση νερού και, ως εκ τούτου, η δυναμικότητα μονάδας αφαλάτωσης
- Η θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας και της μονάδας αφαλάτωσης
- Η αλατότητα του νερού τροφοδοσίας
- Η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου
- Η διαμόρφωση του ενεργειακού συστήματος
- Η ικανότητα αποθήκευσης νερού
- Η διαθέσιμη κατανομή ισχύος
- Κατανάλωση ενέργειας της μονάδας αφαλάτωσης
- Η απόρριψη άλατος,
- Η πίεση λειτουργίας (Kondili and Kaldellis, 2008)

### 6.3 Παραδείγματα Εφαρμογών Υβριδικών Συστημάτων

#### 6.3.1 Ηρακλεία

Στην Ηρακλεία εγκαταστάθηκε μία καινοτόμα αυτόνομη πλωτή πλατφόρμα παραγωγής πόσιμου νερού με ενεργειακή αυτονομία. Το συγκεκριμένο έργο αποτελεί παγκόσμια καινοτομία που σχεδιάστηκε από ένα σύνολο φορέων με την συνεργασία και του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Η πλατφόρμα έχει διαστάσεις 20 X 20 μέτρα και ύψος 8 μέτρα, με ένα πυλώνα 22 μέτρων. Σημαντικό στοιχείο είναι ότι η πλατφόρμα μπορεί να λειτουργεί κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες,

παράγοντας 70 μ<sup>3</sup> νερού ανά ημέρα, εξυπηρετώντας τις ανάγκες περίπου 300 κατοίκων. Σημαντικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι η μονάδα μπορεί να λειτουργήσει τελείως αυτόνομα καθώς οι ενεργειακές ανάγκες της καλύπτονται στο σύνολο της από ΑΠΕ (συνδυασμός αιολικής και ηλιακής ενέργειας). Επίσης η εγκατάσταση δύναται να παρακολουθείται και να διαχειρίζεται από μακριά (Kondili and Kaldellis, 2008).



Σχήμα 6.1 Η πλωτή μονάδα αφαλάτωσης στην Ηρακλεία (Πηγή: Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011)

Η κατασκευή της Υδριάδας, όπως είναι το όνομα που δόθηκε την πλατφόρμα, ζυγίζει 150 τόνους και καλύπτει έκταση μισού στρέμματος και κόστισε 2,8 εκ. ευρώ. Βέβαια το κόστος για τις επόμενες αντίστοιχες εγκαταστάσεις υπολογίζεται ότι δεν πρόκειται να ξεπεράσει τις 700.000 ευρώ. Η μονάδα έχει ονομαστική δυνατότητα επεξεργασίας 3,3 κυβικά μέτρα νερού την ώρα μέσω συστήματος αντίστροφης όσμωσης. Το σύστημα όπως προαναφέρθηκε είναι αυτόνομο και καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές του απαιτήσεις κυρίως από μία ανεμογεννήτρια ισχύος 30 kW, με ρυθμιζόμενη γωνία περυγίων, μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής και δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας, Φωτοβολταϊκά στοιχεία, για επικουρική αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, αν αυτό χρειαστεί και μπαταρίες αποθήκευσης (Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011).

Η εν λόγω εγκατάσταση αν και λειτούργησε για 2,5 χρόνια στην συνέχεια εγκαταλείφτηκε με κύριο επιχείρημα ότι δεν μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες του νησιού. Οι τοπικές αρχές υποστηρίζουν ότι η παραγωγή νερού κυμαίνονταν στο ήμισυ της σχεδιαζόμενης και ότι η συντήρηση της μονάδας είναι αρκετά περίπλοκη καθώς προϋποθέτει την ρυμούλκηση της. Από την μεριά της η επιστημονική κοινότητα υποστηρίζει ότι η θέση που αγκυροβόλησε η μονάδα δεν ήταν η ενδεικνυόμενη για την καλύτερη απόδοση της και ότι θα μπορούσε να λειτουργεί έστω και επικουρικά. Μέχρι σήμερα δεν έχει ληφθεί οριστική απόφαση για την τύχη αυτού του πρότζεκτ που σε κάθε περίπτωση έχει εισφέρει πολλαπλά στον επιστημονικό χώρο και στην λύση ενός σοβαρού προβλήματος πολλών περιοχών της ελληνικής επικράτειας και όχι μόνον (Φωτιάδη 26/08/2015).

### *6.3.2 Ικαρία*

Το υβριδικό σύστημα της Ικαρίας είναι το πρώτο του είδους στην Ελλάδα. Βασικός στόχος του συστήματος είναι ο συνδυασμός της αιολικής ενέργειας που παράγεται στο νησί με ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης με σκοπό την διείσδυση των ΑΠΕ στο νησί σε ποσοστό της τάξης του 50% και τελικά στην μεγαλύτερη ενεργειακή αυτονομία του.

Συνοπτικά το έργο περιλαμβάνει την κατασκευή ενός υβριδικού σταθμού παραγωγής, στην τοποθεσία Προεσπέρα, στην βορειοδυτική πλευρά του νησιού. Πρόκειται για ένα υδραντλητικό σύστημα κλειστού τύπου, σε συνδυασμό με ένα αιολικό πάρκο. Συνοπτικά θα περιλαμβάνει δύο τεχνητές λιμνοδεξαμενές, άνω και κάτω, χωρητικότητας 80.000 m<sup>3</sup> η καθεμία, που θα γεμίζουν από την υπερχειλίση του ήδη υπάρχοντος αρδευτικού ταμιευτήρα στο Πέζι. Θα έχει συνολική δυνατότητα υδροηλεκτρικής παραγωγής 4,1 MW, με δύο Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς (ΜΥΗΣ) δεξαμενής, υψηλής πίεσης (>100 m), με στροβίλους μικρής παροχής τύπου Pelton. Ο πρώτος σταθμός (υδροηλεκτρικός) θα βρίσκεται μετά την υπερχειλίση του φράγματος, πριν την άνω δεξαμενή, με ισχύ 1 MW. Ο δεύτερος (υδραντλητικός) θα βρίσκεται πριν την κάτω δεξαμενή, με ισχύ παραγωγής  $2 \times 1,55 = 3,1$  MW. Στην συνέχεια το νερό θα ανυψώνεται,



επιστρέφοντας στην άνω δεξαμενή, με αντλιοστάσιο ισχύος 2 MW. Αυτή η ισχύς θα καλύπτεται από ένα αιολικό πάρκο ισχύος 2,4 MW στη τοποθεσία Στραβοκουντούρα Ραχών (Κατσάφαρος 2011).

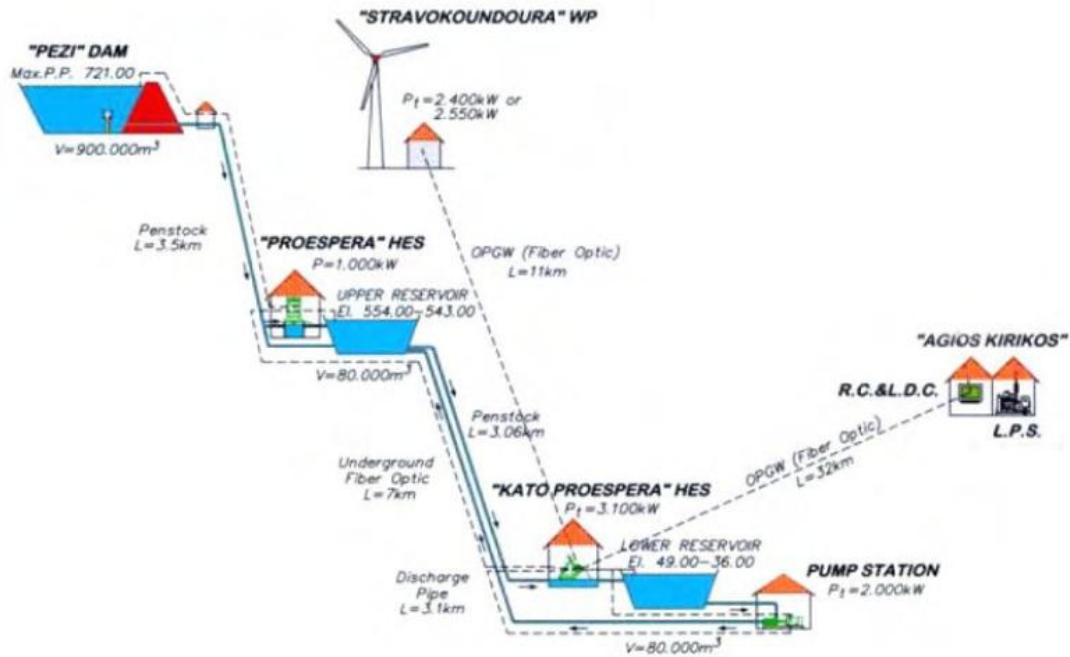
Πίνακας 6.2 Τα χαρακτηριστικά του υβριδικού έργου της Ικαρίας σύμφωνα με την μελέτη

Περιγραφή	Ισχύς
<b>Αιολικό Πάρκο στην Στραβοκουντούρα Ραχών</b>	
Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής (3X800 kW)	2,4 MW
<b>ΜΥΗΣ Προσπέρας (άνω)</b>	
Ισχύς παραγωγής	1,05 MW
<b>ΜΥΗΣ Κάτω Προσπέρας (υδραντλητικός)</b>	
Ισχύς παραγωγής (2X1,55 MW)	3,1 MW
Εγκατεστημένη ισχύς αντλιοστασίου (8X250 kW)	-2,0 MW
<b>Μέγιστη Συνολική Ισχύς</b>	<b>6,55 MW</b>

Πηγή: Κατσάφαρος (2011)

Το έργο αυτό επιτρέπει αφενός την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων (βροχόπτωση), αλλά και την καλύτερη απορρόφηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Λειτουργεί ως ταμιευτήρας που αποθηκεύει το πλεόνασμα ενέργειας από ασταθείς πηγές, όπως είναι η αιολική, και το διαθέτει όταν ζητηθεί στην κατανάλωση. Επιλέχθηκε να εγκατασταθεί σε ΑΣΠ νησιού, ώστε να αυξήσει την διείσδυση ΑΠΕ, ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση πετρελαίου. Οι πετρελαιομηχανές έχουν πολύ υψηλό κόστος λειτουργίας, αλλά χρησιμοποιούνται αναγκαστικά στα ΑΣΠ των νησιών, λόγω της ευκολίας μεταφοράς του καυσίμου. Η παραγωγή ενέργειας στα ΑΣΠ που λειτουργούν με πετρέλαιο κοστίζει περισσότερο απ' ό,τι στην ηπειρωτική χώρα. Επιπλέον στα νησιά η πώληση ενέργειας σε σχέση με τις υποδομές που κατασκευάζονται είναι μικρή, εκτός από τον μήνα Αύγουστο. Η επένδυση ενός υβριδικού έργου σε ένα αυτόνομο σύστημα ωφελεί οικονομικά, γιατί αντικαθιστά πετρέλαιο με ΑΠΕ, αλλά και μειώνει την εξάρτηση από ένα καύσιμο που εισάγεται, σε αντίθεση με τον λιγνίτη που εξορύσσεται εδώ. Η χρήση των φυσικών, “καθαρών” πηγών ενέργειας έχει επιπλέον περιβαλλοντικά οφέλη. (Κατσάφαρος 2011).





Σχήμα 6.2 Διάγραμμα και χαρακτηριστικά του έργου στην Ικαρία (Πηγή: Κατσάφαρος, 2011)

Τα έργα εγκαινιάστηκαν τον Οκτώβριο του 2010 και υλοποιούνται από την κατασκευαστική ENET A.E. για λογαριασμό της “Δ.Ε.Η. Ανανεώσιμες Α.Ε.” (θυγατρική της ΔΕΗ). Το κόστος ανέρχεται περίπου σε 23 εκατομμύρια € και περιλαμβάνει: χωματουργικές εργασίες, κτιριακές εγκαταστάσεις, υδροστροβίλους, αγωγούς νερού (σωληνώσεις), γραμμές μεταφοράς ενέργειας, γραμμές επικοινωνίας (οπτικές ίνες) και εγκατάσταση εποπτικού συστήματος SCADA. Η αίθουσα ελέγχου του ΤΣΠ Αγίου Κήρυκου πρόκειται να ανακαινιστεί και να φιλοξενήσει το αναβαθμισμένο Κέντρο Ελέγχου και Κατανομής Φορτίου (ΚΕΚΦ). Θα διαθέτει κεντρικό SCADA, το οποίο μέσω δικτύου οπτικών ινών θα ελέγχει όλες τις ενεργειακές πηγές του νησιού, δηλαδή θερμικές μονάδες του ΤΣΠ, το υβριδικό έργο (Α/Π, 2 ΜΥΗΣ) και άλλες Α/Γ του νησιού. Προβλέπονται επίσης άλλα 3 εκ. € για την αναβάθμιση του δικτύου μέσης τάσης του νησιού. Βασικός χρηματοδότης είναι η ΔΕΗΑΝ, με 17,5 εκ. € ενώ τα υπόλοιπα 5,5 εκ. € δίνονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Το έργο προβλέπεται να ολοκληρωθεί μέχρι το τέλος του 2012. (Κατσάφαρος 2011).

Το υβριδικό σύστημα Ικαρίας πάντως αντιμετωπίζει έως σήμερα μια σειρά από δυσκολίες, πολλές εκ των οποίων οφείλονται στο γεγονός ότι δεν υπήρχε προηγούμενη εμπειρία σε σύστημα με τέτοια χαρακτηριστικά. Το έργο αν και ήταν αρχικά να παραδοθεί το 2010, πλέον αναμένεται να παραδοθεί εντός του 2017. Επιπλέον σημαντικές είναι και οι υπερβάσεις στο κόστος του έργου, με το τελικό κόστος να είναι πολλαπλάσιο που αρχικά εκτιμώμενου.

### *6.3.3 Δράμα και Ημαθία*

Στην Ελλάδα αυτή τη στιγμή λειτουργούν δυο έργα άντλησης - ταμίευσης. Το πρώτο ξεκίνησε το 1979 στο νομό Ημαθίας, στην περιοχή **Σφηκιά**, στον ποταμό Αλιάκμονα. Αποτελείται από έναν υδροηλεκτρικό σταθμό εγκατεστημένης ισχύος 315 MW και τρεις υδροστροβίλους Francis αντιστρεπτής λειτουργίας. Το νερό αντλείται από τον κάτω ταμιευτήρα που βρίσκεται στα Ανώματα, στον πάνω ταμιευτήρα στη Σφηκιά κατά την διάρκεια της νύχτας και απελευθερώνεται τις ώρες αιχμής την ημέρα. Το δεύτερο εν ενεργεία σύστημα άντλησης ταμίευσης περατώθηκε το 1998 στον ποταμό Νέστο, στην περιοχή **Θησαυρού** στο νομό Δράμας. Ομοίως με το υδροηλεκτρικό στη Σφηκιά, το έργο στο Θησαυρό αποτελείται από τρεις αντιστρέψιμες μονάδες Francis συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 381 MW και αντλεί το νερό από τον υποκείμενο ταμιευτήρα του υδροηλεκτρικού Πλατανόβρυσης (Μαμάσης και Στεφανάκος, 2012).

### *6.3.4 Ιαπωνία*

Στο εξωτερικό συστήματα αντλησιοταμίευσης βρίσκουν εφαρμογή στην περιοχή **Yamnashi - Ken** και στο νησί **Okinawa** της Ιαπωνίας. Το μεν πρώτο, έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ 1600 MW, αποτελείται από δύο ταμιευτήρες με υψομετρική διαφορά 685 m, ενώ ο σταθμός παραγωγής ενέργειας βρίσκεται 500 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Το δεύτερο είναι το πρώτο έργο άντλησης ταμίευσης στον κόσμο που χρησιμοποιεί θαλασσινό νερό προς άντληση και έχει ισχύ μόλις 30 MW (Μαμάσης και Στεφανάκος, 2012).

### 6.3.5 Νησί El Hierro - Ισπανία

Το υβριδικό σύστημα στο νησί El Hierro ξεκίνησε σχεδόν παράλληλα με το υβριδικό της Ικαρίας με αρκετά παρόμοια χαρακτηριστικά. Το El Hierro είναι το μικρότερο και πιο νοτιοδυτικό απ' τα Κανάρια νησιά με έκταση 278 km<sup>2</sup> και πληθυσμό περίπου 10,5 χιλ. κατοίκους. Η ηλεκτροδότησή τους το 2005 χρειαζόταν περίπου 35 GWh και γινόταν με ένα αυτόνομο πετρελαϊκό σταθμό, ισχύος 10,1 MW, που ήδη είναι 11,36 MW. Η ζήτηση είχε ετήσια αύξηση 7-8% και, σύμφωνα με το σχεδιασμό του 2006, αναμένεται να προσεγγίσει τις 48 GWh το 2015. Το φορτίο αιχμής ήταν 7,5 MW και η ελάχιστη ζήτηση 3 MW. Η παραγωγή με πετρέλαιο είχε πολύ υψηλό κόστος (€0,242/kWh) και αποφάσισαν να κάνουν ένα υβριδικό αιολικό-υδροηλεκτρικό έργο, στο οποίο 5 ανεμογεννήτριες των 2,3 MW, συνολικής ισχύος 11,5 MW, θα ηλεκτροδοτούν ένα αντλητικό σταθμό 6 MW, προκειμένου να αντλούν νερό από ένα κάτω ταμιευτήρα, χωρητικότητας 150 χιλ. κυβ. μέτρων, για να γεμίζουν ένα κρατήρα παλιού ηφαίστειου σε υψόμετρο 700-715 μ., μετατρέποντάς τον σε άνω ταμιευτήρα, μέγιστης χωρητικότητας 556 χιλ. κυβ. μέτρων. Στη συνέχεια από τον ταμιευτήρα το νερό θα τροφοδοτεί ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο 11,32 MW, το οποίο με τη σειρά του θα καλύπτει τις ανάγκες της ζήτησης στο δίκτυο (<http://greeklignite.blogspot.gr/2014/05/1-0.html>).

Το έργο προϋπολογίστηκε αρχικά να κοστίσει 54 εκατ. ευρώ και το ανέλαβε η Gorona del Viento El Hierro S.A., μια εταιρεία που δημιουργήθηκε απ' την τοπική κυβέρνηση (60%), την Ισπανική Endesa (30%) και το Τεχνολογικό Ινστιτούτο των Καναρίων Νήσων (10%). Το κόστος αναθεωρήθηκε σε 65 εκατ. ευρώ και τελικά κόστισε περίπου 80 εκατ. ευρώ, τα 35 απ' τα οποία τα έδωσε το Ισπανικό δημόσιο ως επιδότηση. Η κατασκευή ξεκίνησε τον Ιούνιο 2009 και υπολόγιζαν να το έχουν έτοιμο στο τέλος 2012, αλλά τελικά ολοκληρώθηκε το 2014, οι δοκιμές ξεκίνησαν το Φεβρουάριο του 2015. Στην τελική διαμόρφωση του έργου η χωρητικότητα του άνω ταμιευτήρα περιορίστηκε σε 379,6 χιλ. κυβ. μέτρα, με το υψόμετρο μέγιστης στάθμης στα 709,5μ και επένδυση του πυθμένα με γεωμεμβράνη πάχους 2χιλιοστών. Ο κάτω ταμιευτήρας διαμορφώθηκε με ένα χωμάτινο φράγμα μέγιστου ύψους 23 μ., επένδυση του πυθμένα με γεωμεμβράνη

πάχους 2χιλιοστών και με το υψόμετρο μέγιστης στάθμης στα 56μ. Το αιολικό πάρκο θα τροφοδοτεί ενέργεια απευθείας στο δίκτυο και η ανισορροπία μεταξύ παραγωγής και ζήτησης θα καλύπτεται απ' το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο, (όπως φαίνεται στη 2η φωτογραφία, το Ελ Ιέρο είναι ένας βράχος που ξεπροβάλλει απότομα απ' τη θάλασσα, με πολύ ευνοϊκό ανάγλυφο για συνεχή ρεύματα ανέμου). Υπάρχουν δυο αγωγοί μεταφοράς του νερού ανάμεσα στους δυο ταμιευτήρες: ο ένας διαμέτρου 0,8μ και μήκους 3015μ για την άντληση προς τον άνω ταμιευτήρα και ο άλλος διαμέτρου 1,0μ και μήκους 2350μ για την προσαγωγή νερού και την παραγωγή ενέργειας. Οι 2 αγωγοί είναι παράλληλοι και διέρχονται από μια στοά μήκους 530μ (<http://greeklignite.blogspot.gr/2014/05/1-0.html>).



Σχήμα 6.3 Άποψη των βασικών συνιστωσών του συστήματος στο El Hierro (Πηγή: <http://greeklignite.blogspot.gr/2014/05/1-0.html>)

Συμπληρωματικά προς το υβριδικό σύστημα κατασκευάστηκαν και συστήματα θέρμανσης νερού με ηλιακούς συλλέκτες για τη θέρμανση των κατοικιών. Το Ελ Ιέρο βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 27ο 43' και έχει μόλις 105 χιλ. ετήσια βροχόπτωση, σε 5-6 μέρες βροχής το χρόνο (<http://greeklignite.blogspot.gr/2014/05/1-0.html>).

### 6.3.6 *Wales Alaska*

Η κοινότητα Wales βρίσκεται στο δυτικότερο άκρο της χερσονήσου Seward στην Αλάσκα, περίπου 180 μίλια νοτιοδυτικά από το Kotzebue και έχει περίπου 160 κατοίκους. Το μέσο ηλεκτρικό φορτίο της κοινότητας είναι περίπου 70 kW, με

φορτίο αιχμής περίπου 140 kW, ενώ επιπλέον υπάρχουν σημαντικά θερμικά φορτία για τη θέρμανση των κτιρίων και του νερού (Βρεττός, 2010).

Πίνακας 6.3 Τα στοιχεία του υβριδικού συστήματος της κοινότητας wales

Στοιχεία Συστήματος	Χαρακτηριστικά Μεγέθη
2 Ανεμογεννήτριες	65 Kw (peak continuous)
3 Ντηζελογεννήτριες	2x168 kW, 1x75 kW
1 Ελεγκτής Τοπικού Ελεγχόμενου Φορτίου	89 kW
1 Ελεγκτής Απομακρυσμένου Ελεγχόμενου Φορτίου	144 kW
1 Περιστροφικός Μετατροπέας	156 kVA
1 Σύστημα Αποθήκευσης με Μπαταρίες	1.2 VDC 130 Ah 31.2 kWh
1 Βοηθητικός Φορτιστής Μπαταριών	300 VDC 30 A

Πηγή: Βρεττός (2010)

Το 1995 η Αρχή Ενέργειας της Αλάσκα, ο ηλεκτρικός οργανισμός του Kotzebue, ο ηλεκτρικός συνεταιρισμός των κοινοτήτων της Αλάσκα και το Εθνικό Εργαστήριο ΑΠΕ (NREL) συνεργάστηκαν με σκοπό τη δημιουργία ενός υβριδικού συστήματος που να συνδυάζει ντιζελογεννήτριες και ανεμογεννήτριες για την κοινότητα. Έπειτα από διάφορα εμπόδια που είχαν να αντιμετωπιστούν μεταξύ των ετών 1996 και 1999, τελικά την άνοιξη του 2000 ολοκληρώθηκε, στο Εθνικό Κέντρο Αιολικής Τεχνολογίας (NWTC) του NREL, η δοκιμαστική λειτουργία του συστήματος ελέγχου. Οι Α/Γ, οι πίνακες ελέγχου και ο υπόλοιπος βοηθητικός εξοπλισμός εγκαταστάθηκαν το καλοκαίρι του 2000. Το ΥΒΣ τέθηκε σε μερική λειτουργία τον Οκτώβριο του ίδιου έτους, μια επιτυχημένη επίδειξη όλων των καταστάσεων λειτουργίας του πραγματοποιήθηκε το φθινόπωρο του επόμενου έτους και τελικά ξεκίνησε να λειτουργεί πλήρως τον Μάρτιο του 2002, συνδυάζοντας συμβατική παραγωγή, ανεμογεννήτριες, αποθήκευση ενέργειας, μετατροπείς ισχύος και διάφορες διατάξεις ελέγχου. Ο βασικός στόχος ήταν η ικανοποίηση της ζήτησης της κοινότητας σε ηλεκτρική ενέργεια, καθώς και η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου με την μείωση του χρόνου λειτουργίας των μονάδων diesel. Παράλληλα, η περίσσεια αιολικής ισχύος

διοχετεύεται σε διάφορα θερμικά φορτία της κοινότητας εξοικονομώντας έτσι καύσιμα για τις ανάγκες της θέρμανσης (Βρεττός, 2010). Τα στοιχεία του συστήματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.

Δυστυχώς, τα δεδομένα από τη συμπεριφορά του συστήματος σε διάφορες καταστάσεις λειτουργίας είναι περιορισμένα. Ωστόσο, τον Αύγουστο του 2002 πραγματοποιήθηκε μία περίοδος δοκιμών διάρκειας 18 ημερών, σύμφωνα με την οποία το σύστημα στο 20% του χρόνου λειτούργησε με σβηστές τις ντιζελογεννήτριες, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό ειδικά για το συγκεκριμένο μήνα, όπου παρατηρούνται από τις μικρότερες μέσες ταχύτητες ανέμου στο Wales. Σε αυτή τη δοκιμαστική περίοδο οι ανεμογεννήτριες κατάφεραν να καλύψουν το 41% της ζήτησης, ενώ οι υπόλοιπες ανάγκες καλύφθηκαν από τη συμβατική παραγωγή. Συγκεκριμένα, οι Α/Γς παρείχαν 10.000 kWh ηλεκτρικής ενέργειας στα θερμικά φορτία του συστήματος με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση περίπου 450 λίτρα καυσίμου θέρμανσης. Τα τελευταία αυτά αποτελέσματα από την περίοδο δοκιμών φέρουν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα αποτελέσματα των αρχικών προσομοιώσεων. Σύμφωνα με τα τελευταία, η μέση διείσδυση της αιολικής ισχύος θα ήταν περίπου 70%, η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου θα ήταν 45% και ο χρόνος λειτουργίας των μονάδων diesel θα μειωνόταν κατά 25%. Επιπλέον, στο διάστημα δοκιμών, ο συντελεστής χρησιμοποίησης των δύο ανεμογεννητριών ήταν 0,382 και 0,377 (Βρεττός, 2010).

### 7.1 Στόχοι Σχεδιασμού για το Σύστημα Αγαθονησίου

Για το σωστό σχεδιασμό της μονάδας παραγωγής ενέργειας με χρήση ΑΠΕ που θα καλύπτει τις ανάγκες νερού μέσω αφαλάτωσης και τις ανάγκες ηλεκτροδότησης του Αγαθονησίου, είναι σημαντικός ο υπολογισμός και η εκτίμηση μιας σειράς παραμέτρων που αφορούν το μέγεθος των αναγκών σε νερό και ηλεκτρικό ρεύμα, τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων που θα χρησιμοποιηθούν. Τέλος, βασικό στοιχείο του σχεδιασμού είναι η μεθοδολογία και οι κανόνες-στόχοι που τον διέπουν.

Οι στόχοι του σχεδιασμού σε ένα υβριδικό σύστημα, που υιοθετήθηκαν και στην παρούσα εργασία, είναι οι εξής:

- ✚ Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πρέπει να χρησιμοποιούνται στο μέγιστο δυνατό βαθμό.
- ✚ Η περίσσεια ενέργεια να είναι όσο το δυνατό λιγότερη.
- ✚ Το κόστος της εγκατάστασης να είναι το ελάχιστο δυνατό.
- ✚ Το κόστος λειτουργίας να είναι το ελάχιστο δυνατό.
- ✚ Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις να είναι οι ελάχιστες δυνατές.
- ✚ Να υπάρχει επάρκεια νερού και ηλεκτρικής ενέργειας.
- ✚ Όσο αφορά την αφαλάτωση: Να υπάρχει πάντα διαθέσιμη ενέργεια για την παραγωγή νερού (περιορισμός συνεχούς λειτουργίας) και η ισχύς που δίνεται στην μονάδα να είναι σταθερή (περιορισμός σταθερής λειτουργίας).

Οι στόχοι του σχεδιασμού, σε συνδυασμό με τους περιορισμούς οδηγούν στην δημιουργία ενός συνόλου κανόνων σχεδιασμού που πρέπει να ικανοποιούνται σε μεγάλο ή μικρό βαθμό, αφού πολλοί από τους στόχους έρχονται σε αντίθεση μεταξύ τους. Ο σχεδιασμός τελικά πρέπει να απαντάει στο ερώτημα ποιες ΑΠΕ και τι δυναμικότητας πρέπει να χρησιμοποιηθούν, που θα εγκατασταθούν, τι δυναμικότητας θα είναι η διάταξη αποθήκευσης ενέργειας, πόσο νερό πρέπει να παραχθεί;

## 7.2 Μελλοντική Ζήτηση Νερού και Ενέργειας

### 7.2.1 Εκτίμηση Ζήτησης Νερού

#### 7.2.1.1 Νερό για ύδρευση/άρδευση

Το νερό ύδρευσης αφορά τις ανάγκες των κατοίκων κυρίως στα τρία βασικά χωριά του νησιού. Από τον Δήμο Αγαθονησίου μάλιστα γίνεται η εκτίμηση ότι οι μελλοντικές ανάγκες υδροδότησης του νησιού θα σημειώσουν αύξηση της τάξης του 12% από τις ποσότητες που χρειάστηκαν το 2015. Δεδομένου ότι ο ορίζοντας σχεδιασμού της παρούσας εργασίας θα πρέπει να είναι μία περίοδος 20 έως 30 χρόνων και εκτιμώντας την πληθυσμιακή εξέλιξη του νησιού τα τελευταία έτη, την τουριστική δραστηριότητα και την τάση αύξησης των αναγκών για νερό ύδρευσης τα τελευταία έτη στο Αγαθονήσι, θα ληφθεί ως ποσοστό αύξησης της ζήτησης ύδρευσης το 10%, που πλησιάζει και την εκτίμηση του Δήμου Αγαθονησίου.

Πίνακας 7.1 Ανάγκες ύδρευσης σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση

Μήνας	Πληθυσμός	Υφιστάμενη		Μελλοντική (εκτίμηση αύξησης 10%)	
		Ημερήσια Ζήτηση(m <sup>3</sup> )	Μηνιαία Ζήτηση(m <sup>3</sup> )	Ημερήσια Ζήτηση(m <sup>3</sup> )	Μηνιαία Ζήτηση(m <sup>3</sup> )
ΙΑΝ	185	48,1	1.443	52,9	1.587
ΦΕΒ	185	48,1	1.443	52,9	1.587
ΜΑΡ	185	48,1	1.443	52,9	1.587
ΑΠΡ	250	65	1.950	71,5	2.145
ΜΑΙ	350	91	2.730	100,1	3.003
ΙΟΥΝ	450	117	3.510	128,7	3.861
ΙΟΥΛ	550	143	4.290	157,3	4.719
ΑΥΓ	600	156	4.680	171,6	5.148
ΣΕΠ	400	104	3.120	114,4	3.432
ΟΚΤ	200	52	1.560	57,2	1.716
ΝΟΕ	185	48,1	1.443	52,9	1.587
ΔΕΚ	185	48,1	1.443	52,9	1.587
<b>Συνολική Ζήτηση (m<sup>3</sup>)</b>			<b>29.055</b>		<b>31.961</b>

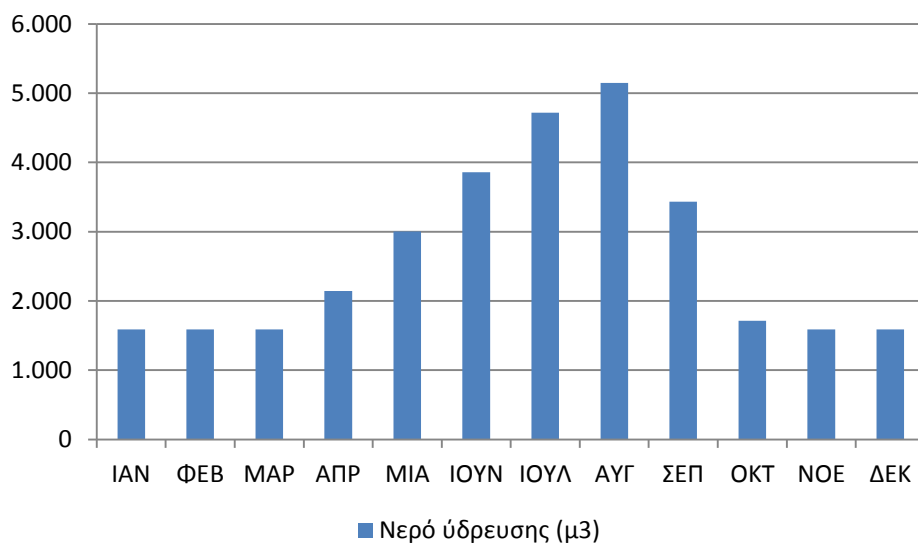
Πηγή: Ιδία επεξεργασία



Από τον Πίνακα 2.14 γίνεται η μελλοντική πρόβλεψη αναγκών ύδρευσης του Αγαθονησίου και ο Πίνακας 7.1.

Στο Σχήμα 7.1 φαίνεται η διακύμανση της ζήτησης κατά τη διάρκεια ενός έτους. Όπως είναι εύλογο κατά τους θερινούς μήνες και συγκεκριμένα Ιούλιο - Αύγουστο όπου η τουριστική κίνηση είναι στην αιχμή της παρουσιάζονται οι μέγιστες ανάγκες. Με βάσει αυτές θα γίνει και ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση στη συνέχεια.

Το νερό άρδευσης συνυπολογίζεται με το νερό ύδρευσης καθότι αφενός δεν υπάρχουν μεγάλες αρδευόμενες εκτάσεις και αφετέρου το δίκτυο άρδευσης/ύδρευσης είναι κοινό. Οι καλλιέργειες που απατώνται στο νησί είναι κυρίως μη αρδευόμενες. Καλλιέργειες που ενδεχομένως αρδεύονται εποχιακά είναι εκείνες που υπάρχουν κοντά στους οικισμούς και αφορούν προϊόντα που παράγονται κυρίως για την κάλυψη των οικογενειακών αναγκών κάθε νοικοκυριού. Στην περίπτωση αυτή μέσω του οικιακού δικτύου ύδρευσης μπορεί να ποτίζονται μικρή κήποι και περιβόλια.



Σχήμα 7.1 Μελλοντική μηνιαία ζήτηση για νερό ύδρευσης στο Αγαθονήσι (Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Επίσης συνεκτιμάται το γεγονός ότι κάποιες από τις καλλιέργειες που απαντώνται στο νησί (κριθάρι, βίκος) δεν χρειάζονται άρδευση καθώς η καλλιεργητική τους

περίοδος συμπίπτει με την χειμερινή περίοδο που υπάρχουν αρκετές βροχοπτώσεις.

#### 7.2.1.2 Ισοζύγιο νερού-Συνολικές μελλοντικές ανάγκες

Οι συνολικές ανάγκες νερού που καλείται να καλύψει η παρούσα εργασία προκύπτουν ως άθροισμα των μελλοντικών αναγκών σε νερό ύδρευσης και άρδευσης, έτσι όπως υπολογίστηκαν παραπάνω. Με σταθερό το γεγονός ότι η μοναδική πηγή υδροδότησης του νησιού αυτή την στιγμή είναι η μονάδα αφαλάτωσης προκύπτει το ημερήσιο και μηνιαίο ισοζύγιο του Πίνακα 7.2. Δεδομένου ότι το ισοζύγιο νερού είναι ελλειμματικό σε κάποιες περιπτώσεις η συγκεκριμένη ζήτηση θα πρέπει να καλυφθεί είτε από μεταφορά νερού είτε από κάποια άλλη πηγή. Στην παρούσα εργασία θα διερευνηθεί η κάλυψη της υπερβάλλουσας ζήτησης με την εγκατάσταση μίας ακόμη μονάδας αφαλάτωσης.

Πίνακας 7.2 Μελλοντικές ανάγκες ύδρευσης/άρδευσης (δεδομένα σχεδιασμού συστήματος)

Μήνας	Ημερήσια Ζήτηση	Μηνιαία Ζήτηση	Ημερήσιο Ισοζύγιο	Μηνιαίο Ισοζύγιο
ΙΑΝ	52,9	1.587	27,1	813
ΦΕΒ	52,9	1.587	27,1	813
ΜΑΡ	52,9	1.587	27,1	813
ΑΠΡ	71,5	2.145	8,5	255
ΜΙΑ	100,1	3.003	-20,1	-603
ΙΟΥΝ	128,7	3.861	-48,7	-1.461
ΙΟΥΛ	157,3	4.719	-77,3	-2.319
ΑΥΓ	171,6	5.148	-91,6	-2.748
ΣΕΠ	114,4	3.432	-34,4	-1.032
ΟΚΤ	57,2	1.716	22,8	684
ΝΟΕ	52,9	1.587	27,1	813
ΔΕΚ	52,9	1.587	27,1	813
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				<b>-3.159</b>

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Από τα στοιχεία του Πίνακα 7.2 προκύπτει ότι στην περίοδο αναφοράς του σχεδιασμού θα υπάρχει ετήσιο έλλειμμα 3.159 κυβικών μέτρων νερού. Το έλλειμμα αυτό βέβαια υφίστανται και σήμερα απλώς μεγαλώνει με την πάροδο

του χρόνου. Για την κάλυψη των αιχμών της ζήτησης θα πρέπει να εγκατασταθεί μίας μονάδα αφαλάτωσης με δυναμικότητα τέτοια ώστε να μπορεί να ανταποκρίνεται στην ζήτηση του μήνα Αύγουστου που είναι και η υψηλότερη του έτους. Επομένως, η νέα μονάδα αφαλάτωσης προτείνεται να έχει δυναμικότητα 100 m<sup>3</sup> ανά ημέρα.

### 7.2.2 Εκτίμηση Ζήτησης Ενέργειας

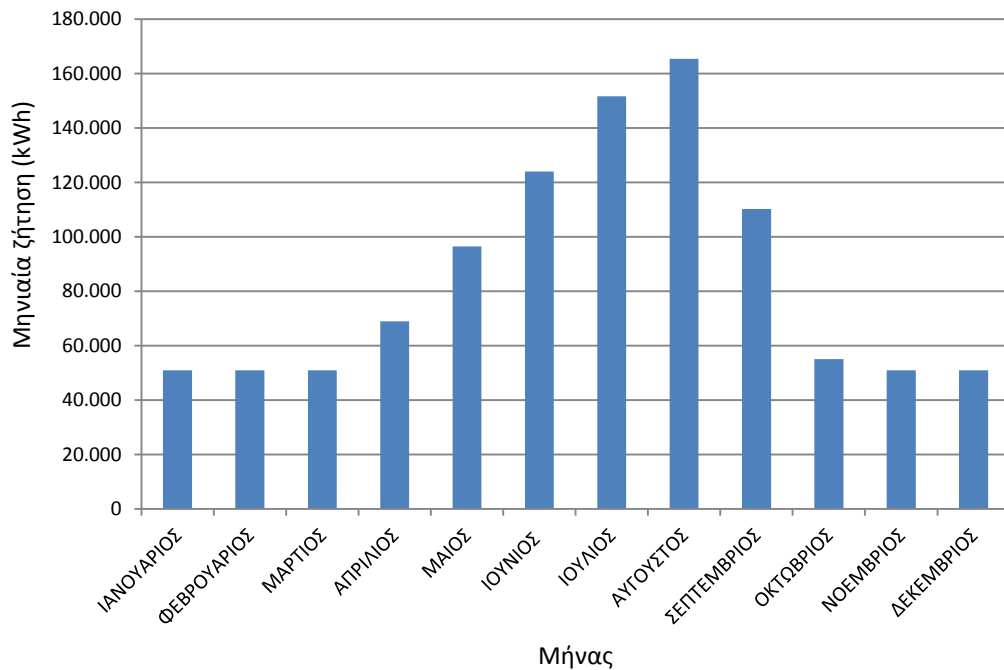
Σύμφωνα με στοιχεία που παρατίθενται σε άλλο κεφάλαιο η μέγιστη ζήτηση ενέργειας (αιχμή) για το Αγαθονήσι είναι της τάξης των 182 kW (στοιχεία 2013) και εντοπίζεται τον μήνα Αύγουστο. Δεδομένης της αύξησης της ζήτησης από την μονάδα αφαλάτωσης αλλά και από τις αυξανόμενες ανάγκες του πληθυσμού στο μέλλον κατασκευάστηκε ο Πίνακας 7.3. Ενδεικτικά η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν σε άλλο κεφάλαιο, έχει ως εξής:

Πίνακας 7.3 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση

Μήνας	Ημερήσια Ζήτηση (kWh)	Μηνιαία Ζήτηση (kWh)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1.700	51.000
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	1.700	51.000
ΜΑΡΤΙΟΣ	1.700	51.000
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	2.297	68.919
ΜΑΙΟΣ	3.216	96.486
ΙΟΥΝΙΟΣ	4.135	124.054
ΙΟΥΛΙΟΣ	5.054	151.622
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	5.514	165.405
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	3.676	110.270
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	1.838	55.135
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	1.700	51.000
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1.700	51.000
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΤΗΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (kWh)</b>		<b>1.026.892</b>

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η διακύμανση της ζήτησης κατά τη διάρκεια ενός έτους. Όπως είναι εύλογο κατά τους θερινούς μήνες και συγκεκριμένα Ιούλιο - Αύγουστο όπου η τουριστική κίνηση είναι στην αιχμή της παρουσιάζονται οι μέγιστες ανάγκες.



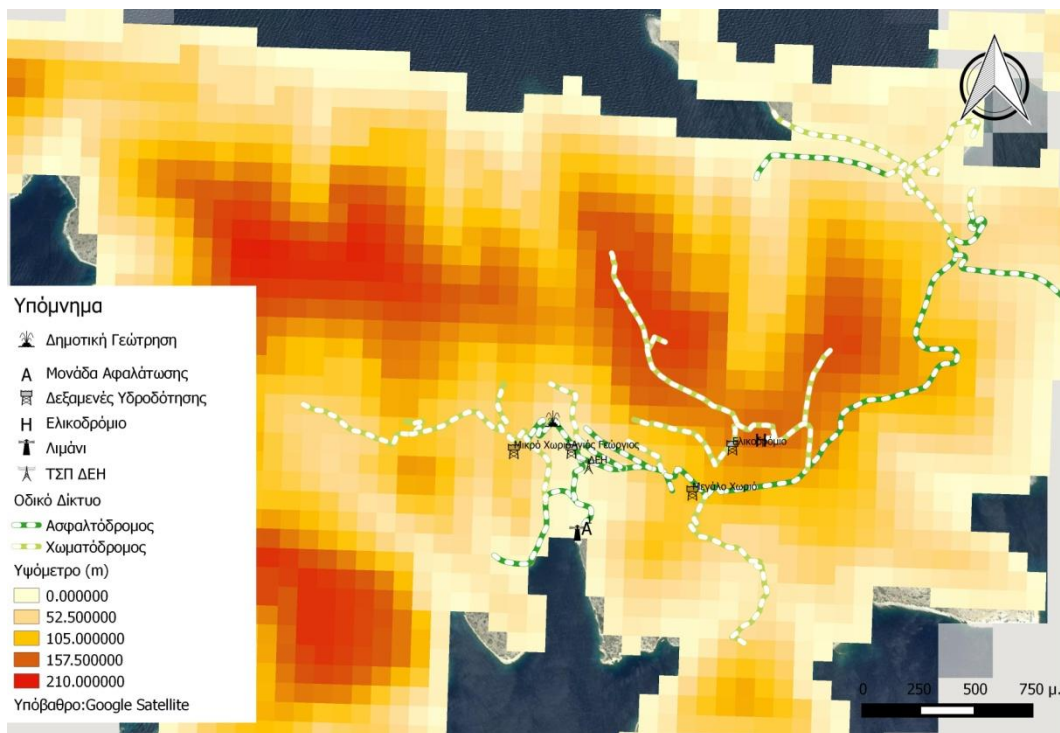
Σχήμα 7.2 Μηνιαία ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (Πηγή: Ίδια επεξεργασία)

### 7.3 Υψομετρικά Δεδομένα

Για την δημιουργία ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης είναι απαραίτητη η μελέτη του συστήματος υδροδότησης σε σχέση με τα υψομετρικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Για τον σκοπό αυτόν στην συνέχεια παρατίθενται το υπάρχον σύστημα υδροδότησης και τα υψομετρικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, σε συνδυασμό με μία σειρά άλλα δεδομένα, όπως η χωροθέτηση της μονάδας αφαλάτωσης, του σταθμού παραγωγής ενέργειας της ΔΕΗ κλπ.

Από το υψομετρικά δεδομένα προκύπτει ότι η περιοχή του ελικοδρομίου βρίσκεται πλησίον στο σύστημα υδροδότησης και στους οικισμούς ενώ

παράλληλα διαθέτει ικανό υψόμετρο για την δημιουργία του συστήματος αντλιοσταμίου. Στην συνέχεια θα διερευνηθεί η δυνατότητα δημιουργίας της μία δεξαμενής του συστήματος (αυτής που θα βρίσκεται ψηλά) στην περιοχή του ελικοδρομίου. Μία τέτοια επιλογή θα δημιουργούσε την απαιτούμενη διαφορά υψόμετρου για την λειτουργία της αντλιοσταμίου ενώ παράλληλα θα αποτελούσε μία εγκατάσταση που λόγω υψόμετρου και διασύνδεσης μπορεί να υδροδοτήσει το σύνολο των κατοικημένων περιοχών. Για την δημιουργία της άλλης δεξαμενής του συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί η περιοχή του Αγίου Γεωργίου που έχει χαμηλό υψόμετρο, είναι πλησίον της μονάδας αφαλάτωσης και υπάρχουν ήδη δεξαμενές αποθήκευσης και αντλιοστάσιο μεταφοράς του νερού προς την δεξαμενή του Μεγάλου Χωριού.



Σχήμα 7.3 Υψομετρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης (Πηγή: Ίδια επεξεργασία)

#### 7.4 Αιολικό Δυναμικό

Σημαντικό στοιχείο για την υλοποίηση ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων ανάπτυξης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Από τις ΑΠΕ η μορφή που μπορεί να εξασφαλίσει μεγάλη

αποδοτικότητα και να στηρίξει ένα σύστημα αφαλάτωσης και παραγωγής ενέργειας πολλαπλού σκοπού είναι η ανάπτυξη αιολικών πάρκων.

Με βάση τα στοιχεία<sup>7</sup> από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, προκύπτει η ύπαρξη σημαντικού αιολικού δυναμικού. Το σημαντικότερο δυναμικό συγκεντρώνεται στον άξονα Ανατολής – Δύσης όπου υπάρχουν οι υψηλότεροι λόφοι του νησιού (βλέπε Σχήμα 7.3). Σημαντικό αιολικό δυναμικό παρατηρείται και σε άλλα σημεία (κυρίως σε δύο σημεία στα νότια) του νησιού και κατά μήκος των κορυφογραμμών.

Το αιολικό δυναμικό στις περιοχές που επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στο Σχήμα 7.4 είναι της τάξης των 10 m/s. Η ταχύτητα αυτή είναι αρκετά αντιπροσωπευτική καθώς αφορά την μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου. Επίσης, υπάρχουν και άλλες ελκυστικές περιοχές για εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων με ταχύτητες ανέμου της τάξης των 8 έως 10 m/s.

---

<sup>7</sup> Στηρίζεται σε μοντέλα από στοιχεία του 2001.

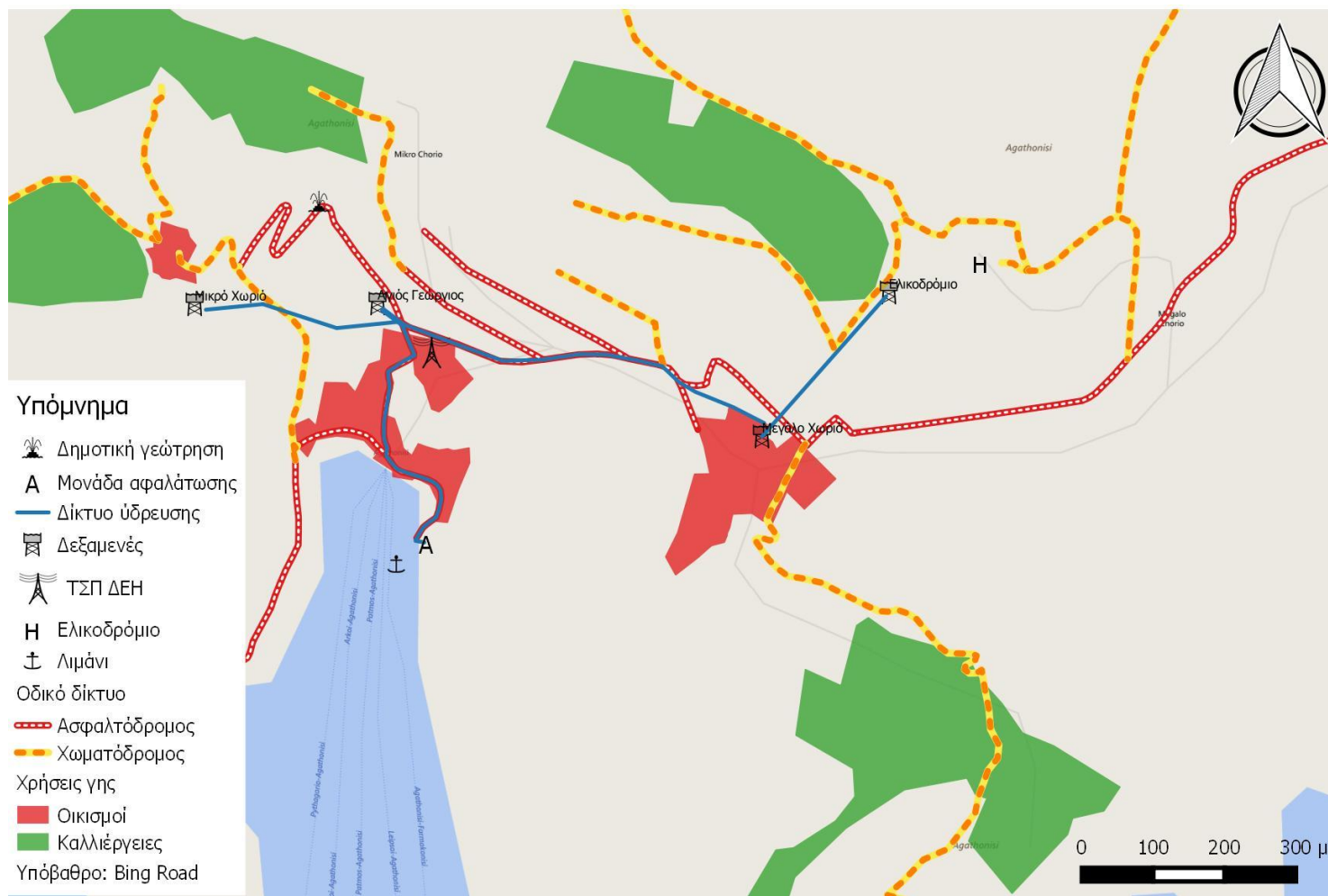




Σχήμα 7.4 Αιολικό δυναμικό στο Δήμο Αγαθονησίου (Πηγή: ΚΑΠΕ, Ιδία επεξεργασία)

Κλείνοντας το κεφάλαιο με τα δεδομένα του σχεδιασμού και περνώντας στο κεφάλαιο του σχεδιασμού του προτεινόμενου υβριδικού ενεργειακού έργου του Δήμου Αγαθονησίου, παρατίθεται το Σχήμα 7.5. Στο χάρτη αυτόν αποτυπώνεται το σύνολο του συστήματος ύδρευσης και ηλεκτροδότησης του Δήμου και δίνεται η σχέση του με τις κατοικημένες περιοχές, τους δρόμους κλπ.





Σχήμα 7.5 Συνολική καταγραφή δεδομένων υδροδότησης/ηλεκτροδότησης (Πηγή: Ίδια επεξεργασία)

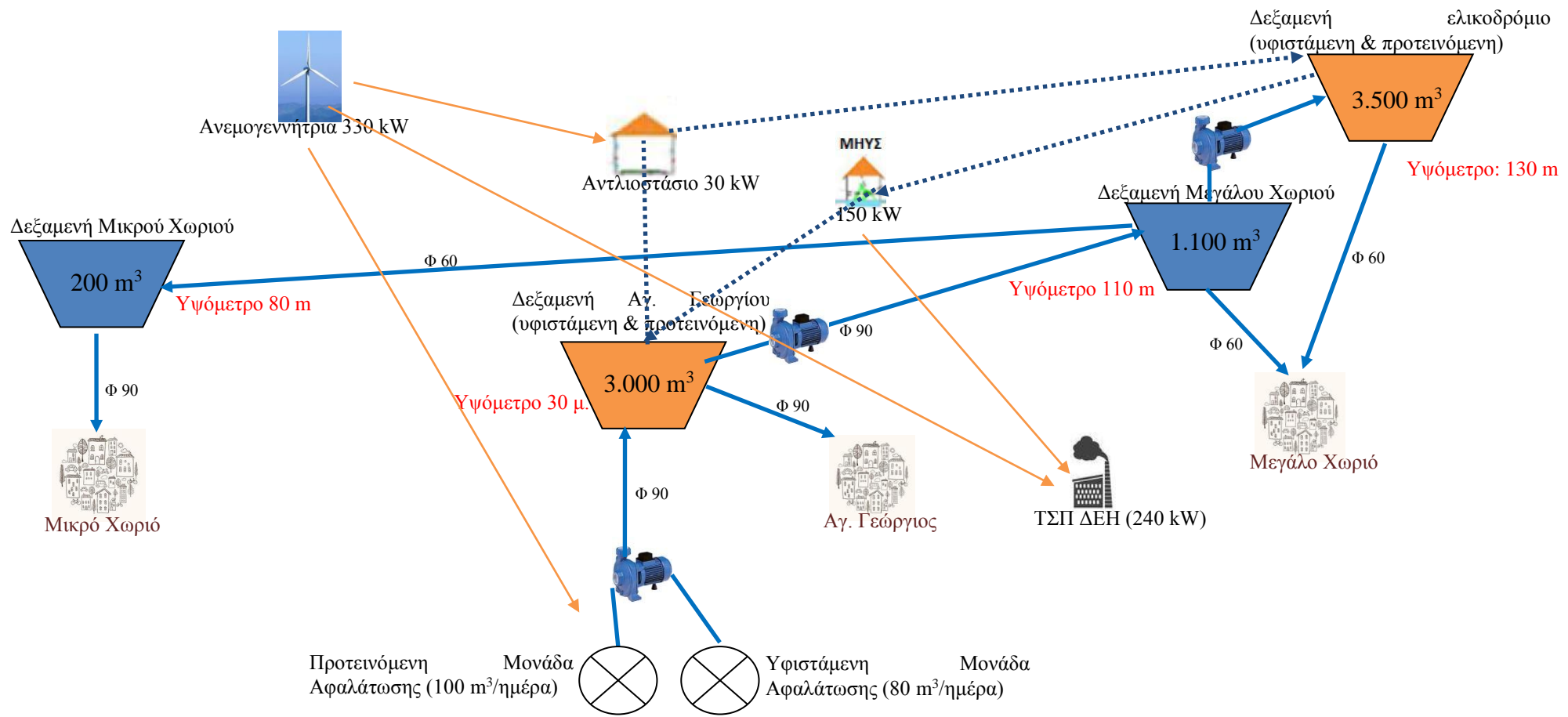
### 8.1 Τεχνική Περιγραφή του Έργου

Με δεδομένο ότι η μεταφορά νερού αλλά και η παραγωγή ενέργειας από το τοπικό σταθμό παραγωγής diesel έχει πολύ υψηλό κόστος, στα πλαίσια αυτής της εργασίας εξετάζουμε τη λειτουργία ενός υβριδικού αιολικού - υδροηλεκτρικού έργου, στο οποίο μια ανεμογεννήτρια (Α/Γ) **330 kW** θα ηλεκτροδοτεί τις μονάδες αφαλάτωσης (υφιστάμενη και προτεινόμενη) και ένα αντλητικό σταθμό **30 kW** προκειμένου το νερό που παράγεται (πόσιμο νερό) να αντλείται από μια κάτω δεξαμενή για να γεμίζει μια άνω δεξαμενή. Στη συνέχεια από τη δεξαμενή το νερό θα τροφοδοτεί ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο **150 kW**, το οποίο με τη σειρά του θα καλύπτει τις ανάγκες της ζήτησης στο δίκτυο.

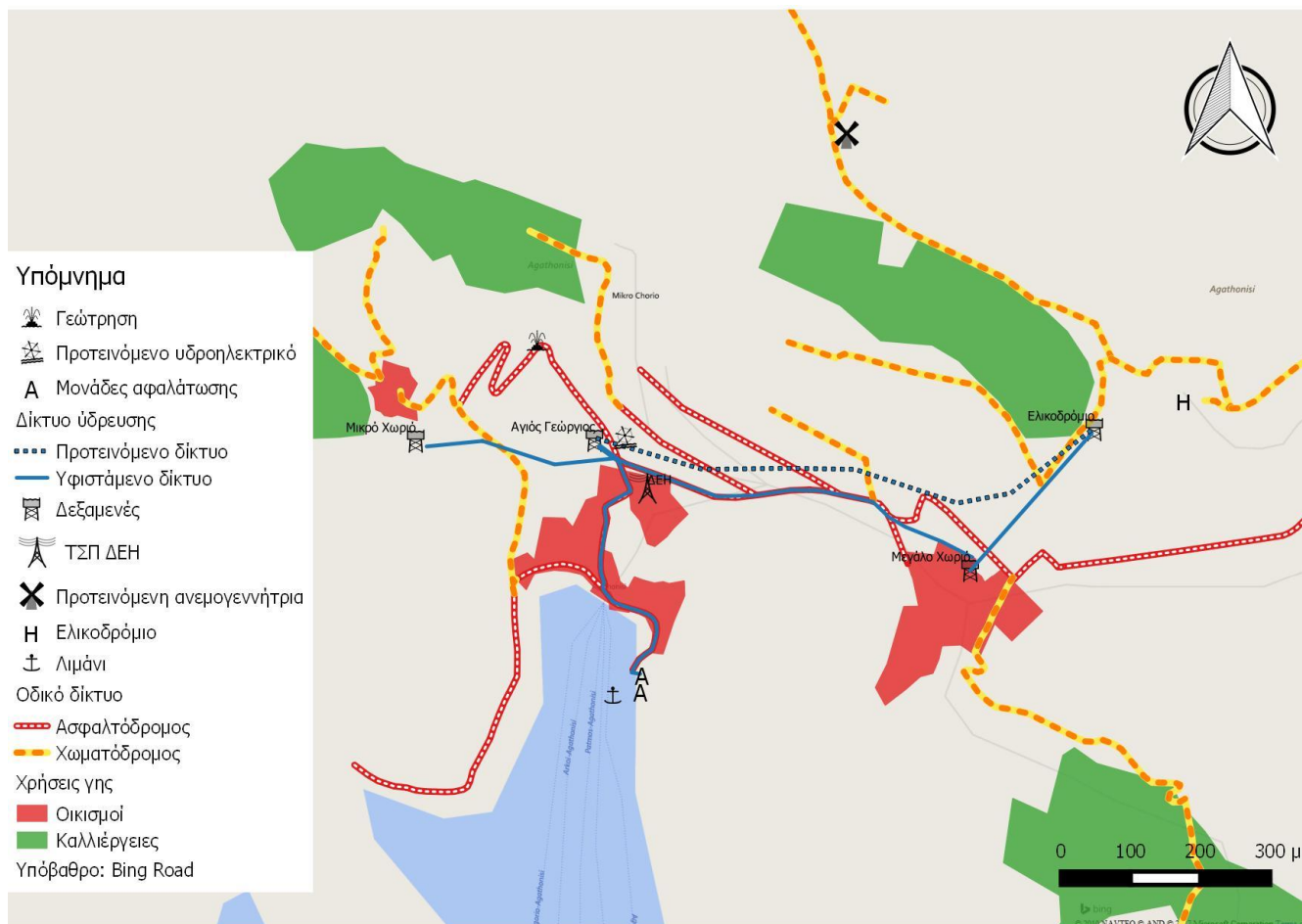
Στην περιοχή που βρίσκεται η μεταλλική δεξαμενή του ελικοδρομίου θα προστεθεί μία ακόμη δεξαμενή, έτσι ώστε η συνολική χωρητικότητα να ανέλθει σε στα  $3.500 \text{ m}^3$ . Αντίστοιχα, στις δεξαμενές του Αγίου Γεωργίου θα προστεθεί ακόμη μία δεξαμενή χωρητικότητα  $2.160 \text{ m}^3$ , έτσι ώστε η συνολική δυναμικότητα να ανέλθει σε  $3.000 \text{ m}^3$ . Η κεντρική δεξαμενή του Αγίου Γεωργίου και οι δεξαμενές στην θέση ελικοδρόμιο θα ενωθούν μεταξύ τους με δίδυμες σωληνώσεις, όπου στην μία κατεύθυνση θα κατασκευαστεί το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο και στην άλλη θα υπάρχει ο αντλητικός σταθμός που θα ανεβάζει το νερό από την χαμηλή δεξαμενή στην υψηλή.

Η πτώση του νερού από τις δεξαμενές στο ελικοδρόμιο στην δεξαμενή του Αγίου Γεωργίου είναι της τάξης των **100 μ**.

Στο Σχήμα 8.1 που ακολουθεί βλέπουμε την παρουσίαση του υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του Αγαθονησίου, έτσι όπως αυτό προκύπτει από το σχεδιασμό μας.



Σχήμα 8.1 Εσωτερική διαμόρφωση του ΥΒΕ Αγαθονησίου συμπεριλαμβανομένου του ΤΣΠ της ΔΕΗ (Πηγή: Ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 8.2 Η συνολική πρόταση του υβριδικού συστήματος Αγαθονησίου (Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

## 8.2 Ανεμογεννήτρια

### 8.2.1 Μετατροπή ανεμολογικών δεδομένων σε ηλεκτρική ενέργεια

Από την ταχύτητα του ανέμου έτσι όπως προκύπτει από το Σχήμα 7.4 θα υπολογιστεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ανεμογεννήτρια. Για τον υπολογισμό αυτό χρησιμοποιείται η καμπύλη ισχύος της Α/Γ. Για την μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας του συστήματος, δεδομένων των αναγκών για ηλεκτρική ενέργεια, επιλέγεται ένας τύπος ανεμογεννήτριας που να μεγιστοποιεί την απόδοση σε ενέργεια με βάση τα στοιχεία για τον μέσο ετήσιο άνεμο της περιοχής. Με την λογική αυτή επιλέχθηκε η μονάδα της ENERCON E-33 – 330 kW.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η συγκεκριμένη Α/Γ μπορεί να εγκατασταθεί με ένα κανονικού μεγέθους γερανό ενώ δεν απαιτεί φαρδύ οδικό δίκτυο. Αυτά τα χαρακτηριστικά της ταιριάζουν απόλυτα στην περιοχή χωροθέτησης και περιορίζουν σημαντικά την δυσκολία και το κόστος εγκατάστασης. Επίσης η συγκεκριμένη Α/Γ εξασφαλίζει εύκολη συντήρηση μέσω εσωτερικού κλιμακοστασίου και έχει μειωμένο συνολικό ύψος, ελαχιστοποιώντας την οπτική όχληση.

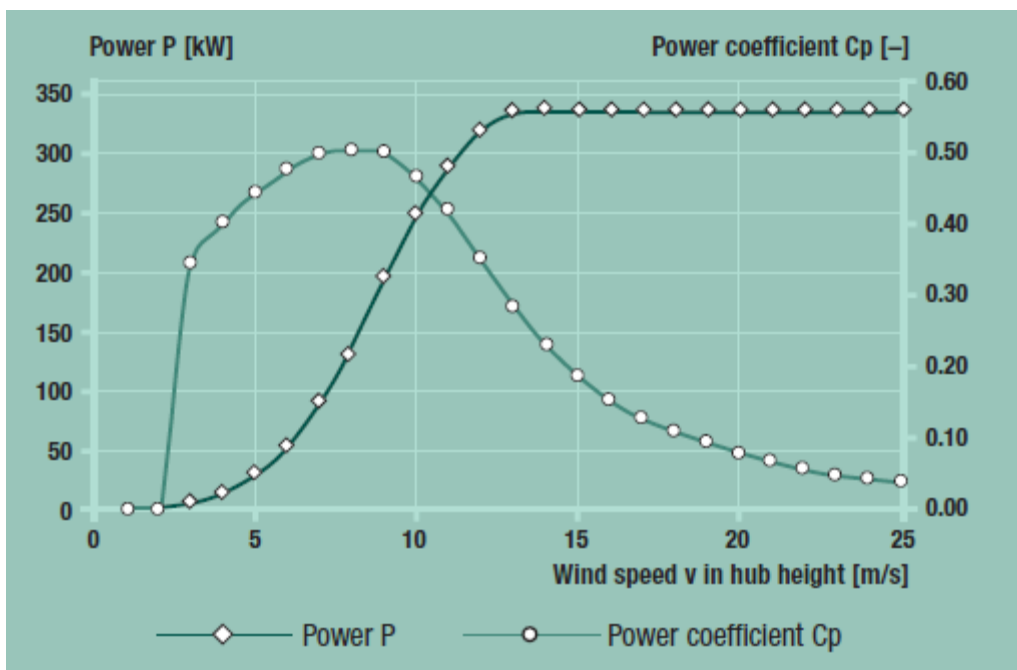
Με την λειτουργία της ανεμογεννήτριας σε συνδυασμό με το υδροηλεκτρικό σύστημα θα παρέχεται πλήρης και σταθερή παροχή ρεύματος που θα καλύπτει τόσο τις ενεργειακές ανάγκες των δύο μονάδων αφαλάτωσης (προτεινόμενη και υφιστάμενη) όσο και τις συνολικές ανάγκες ηλεκτροδότησης του νησιού. Ο τοπικός σταθμός παραγωγής του νησιού θα λειτουργεί επικουρικά και εφόσον χρειάζεται. Στην περίπτωση διασύνδεσης του νησιού με γειτονικά νησιά θα μπορεί μέρος της παρεχόμενης ενέργειας να κατευθύνεται και προς αυτές τις περιοχές.

Η φιλοσοφία του Υβριδικού Συστήματος είναι να δίνει πάντα προτεραιότητα στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και δευτερευόντως στο συμβατικό σταθμό, ο οποίος πλέον θα χρησιμοποιείται εφεδρικά. Έτσι, το σύστημα θέτει ως κύριο στόχο τη μέγιστη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στην κατανάλωση, δευτερευόντως τη χρήση της υδατόπτωσης – σε συνεργασία με τις Α/Γ ή όχι – ώστε να καλύπτεται η ζήτηση και τέλος, όταν η παραγωγή από ΑΠΕ συνολικά δεν επαρκεί, να γίνεται χρήση του συμβατικού σταθμού.

### 8.2.1.1 Χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας

Τα χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας που προτείνεται να χωροθετηθεί στο Αγαθονήσι έχουν ως εξής (ENERCON, 2016):

- Ονομαστική ισχύς: 330 kW
- Διάμετρος ρότορα: 33,4 μ
- Hub height: 44 – 50 m
- Wind class (IEC): IEC/NVN I and IEC/NVN II
- Turbine concept: Gearless, variable speed, variable pitch control



Σχήμα 8.3 Εξίσωση καμπύλης ισχύος της Α/Γ ENERCON E33 - 330 kW (Πηγή: ENERCON, 2016)

### Rotor

- Type: Upwind rotor with active pitch control
- Direction of rotation: Clockwise
- Number of blades: 3
- Swept area: 876 m<sup>2</sup>
- Blade material: Fibreglass (epoxy resin); integrated lightning protection

-Rotational speed: Variable, 18 – 45 rpm

-Cut-out wind speed: 28 – 34 m/s (with ENERCON storm control)

-Remote monitoring: ENERCON SCADA

Πίνακας 8.1 Στοιχεία αποδοτικότητας της Α/Γ ENERCON E33 - 330 kW με βάση την ταχύτητα ανέμου

Wind [m/s]	Power P [kW]	Power coefficient Cp [-]
1	0.0	0.00
2	0.0	0.00
3	5.0	0.35
4	13.7	0.40
5	30.0	0.45
6	55.0	0.47
7	92.0	0.50
8	138.0	0.50
9	196.0	0.50
10	250.0	0.47
11	292.8	0.41
12	320.0	0.35
13	335.0	0.28
14	335.0	0.23
15	335.0	0.18
16	335.0	0.15
17	335.0	0.13
18	335.0	0.11
19	335.0	0.09
20	335.0	0.08
21	335.0	0.07
22	335.0	0.06
23	335.0	0.05
24	335.0	0.05
25	335.0	0.04

$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$

Details – ENERCON power curve – (see last page)

Πηγή: ENERCON (2016)



Από στοιχεία που παρέχει ο κατασκευαστής της Α/Γ που επιλέχθηκε προκύπτει η εξίσωση καμπύλης ισχύος της μονάδας (ENERCON, 2016). Από τα ανεμολογικά στοιχεία για την περιοχή χωροθέτησης προκύπτει ότι η μέση ετήσια ένταση ανέμων είναι της τάξης των 8,9 έως 10,2 m/s, επομένως προκύπτει η μέση παραγωγή ενέργειας η οποία θα είναι της τάξης των 220-250 kW. Με την προτεινόμενη χωροθέτηση, αξιοποιείται το μέγιστο δυνατό αιολικό δυναμικό, γίνεται αξιοποίηση των επικρατούντων βόρειων ανέμων, με την ελάχιστη απαίτηση σε δίκτυα μεταφοράς αλλά και εύκολη πρόσβαση. Η παραγόμενη ενέργεια από την Α/Γ ισοδυναμεί με την υφιστάμενη διαθέσιμη ισχύ του σταθμού της ΔΕΗ και σε συνδυασμό και με το υδροηλεκτρικό σύστημα θα μπορεί να ικανοποιεί τις περισσότερες μέρες του έτους τις συνολικές ανάγκες του νησιού.

Προκειμένου να υπολογιστεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την Α/Γ χρησιμοποιείται η καμπύλη ισχύος. Συγκεκριμένα, στην προσπάθεια να εκτιμηθεί μια ικανοποιητική εξίσωση που να δίνει τη τιμή της ισχύος σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου, στο κυρτό τμήμα της καμπύλης ισχύος προσαρμόστηκε μια πολυωνμική εξίσωση 6ου βαθμού:

$$P = \begin{cases} 0, & u \leq 2 \\ 0.000479 \cdot u^6 - 0.020121 \cdot u^5 + 0.237154 \cdot u^4 - 0.358363 \cdot u^3 - 0.779043 \cdot u^2 + 3.713895 \cdot u, & 2 < u < 17 \\ 900, & u \geq 17 \end{cases}$$

όπου  $u$  (m/s) η ταχύτητα του ανέμου. Στη συνέχεια η ισχύς που προσδιορίζεται πολλαπλασιάζεται με το χρόνο και έτσι βρίσκουμε την ημερήσια παραγωγή ενέργειας. Αυτή την ενέργεια έχουμε να διαχειριστούμε και να αποφασίσουμε πώς θα την μοιράσουμε μεταξύ της μονάδας αφαλάτωσης και του αντλιοστασίου με σκοπό να αυξήσουμε τα οφέλη από τη λειτουργία του υβριδικού έργου.

### 8.3 Νέα Μονάδα Αφαλάτωσης

Για την κάλυψη των αναγκών υδροδότησης του Δήμου Αγαθονησίου προτείνεται η χωροθέτηση μίας νέας **μονάδας αφαλάτωσης δυναμικότητας 100 m<sup>3</sup> ανά ημέρα**. Με την μονάδα αυτή θα υπάρχει θετικό ισοζύγιο νερού για τα επόμενα 20 έτη, χωρίς την ανάγκη μεταφοράς νερού. Επιπλέον θα υφίστανται η δημοτική γεώτρηση για έκτακτες περιπτώσεις και για περαιτέρω ασφάλεια στο σύστημα

υδροδότησης. Επιλέχθηκε η πρόταση για μία μονάδα αφαλάτωσης που θα καλύπτει το σύνολο της εναπομένουσας ζήτησης διότι η μεταφορά νερού κοστίζει πολύ ακριβά (12,5 ευρώ ανά m<sup>3</sup>) και δεν αποτελεί σε καμία περίπτωση συμφέρουσα επιλογή. Επιπλέον με την εγκατάσταση της προτεινόμενης μονάδας αφαλάτωσης θα υπάρχει η δυνατότητα καλύτερου προγραμματισμού και η κάλυψη των αναγκών υδροδότησης σε περιπτώσεις συντήρησης ή βλαβών στο σύστημα.

Η χωροθέτηση της νέας μονάδας αφαλάτωσης θα γίνει πλησίον της υπάρχουσας μονάδας αφαλάτωσης, όπου: υπάρχει διαθέσιμος χώρος, είναι εύκολη η διασύνδεση της μονάδας με το σύστημα υδροδότησης και υδροληψίας (από την θάλασσα), υπάρχει παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και πληρούνται όλες οι απαραίτητες προϋποθέσεις χωροθέτησης.

Η τεχνολογία επεξεργασία του θαλασσινού νερού προτείνεται να είναι η αντίστροφη όσμωση, η οποία έχει μία σειρά από θετικά χαρακτηριστικά και ταιριάζει καλύτερα στην περίπτωση του μελετώμενου Δήμου (Βλέπε Κεφάλαια 3.2 & 3.3). Το κόστος απόκτησης και χωροθέτησης της μονάδας αφαλάτωσης εκτιμάται σε 350.000 ευρώ, με βάση παρόμοιες δυναμικότητες εγκαταστάσεις στον νησιωτικό χώρο. Σε ότι αφορά στο λειτουργικό κόστος εκείνο με βάση τα συγκριτικά στοιχεία για τον ελληνικό νησιωτικό χώρο που παρατίθενται στο Κεφάλαιο 3.3.1 εκτιμάται σε 2 ευρώ ανά κυβικό μέτρο παραγόμενου καθαρού νερού.

#### 8.4 Δίκτυο Υδροδότησης

Για την υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος θα απαιτηθεί η κατασκευή ενός διπλού δικτύου ύδρευσης που θα ενώνει τις δεξαμενές στο ελικοδρόμιο με τις δεξαμενές του Αγίου Γεωργίου. Η μία κατεύθυνση θα χρησιμοποιηθεί για να αντλείται το νερό από την χαμηλή δεξαμενή (δεξαμενές Αγ. Γεωργίου) προς την υψηλή (δεξαμενές ελικοδρομίου) και η άλλη κατεύθυνση για την πτώση του νερού από την υψηλή δεξαμενή στην χαμηλή και την παραγωγή ενέργειας μέσω του υδροστρόβιλου. Η απόσταση δικτύωσης μεταξύ των δεξαμενών των δύο

περιοχών είναι της τάξης των 700 μέτρων σε ευθεία και 1 χιλιομέτρου από το οδικό δίκτυο.

Επίσης θα απαιτηθεί η τοποθέτηση μία δεξαμενής χωρητικότητας 3.050 κυβικών σε περιοχή του Δήμου Αγαθονησίου πλησίον της δεξαμενής στο ελικοδρόμιο και μία δεξαμενή 2.160 περίπου κυβικών, στην περιοχή που βρίσκεται η δεξαμενή του Αγίου Γεωργίου. Οι δεξαμενές αυτές θα αυξήσουν την συνολική χωρητικότητα του συστήματος, με στόχο αφενός την μεγαλύτερη αποθηκευτική ικανότητα που βοηθάει σε περιόδους αιχμής και αφετέρου την λειτουργία του υδροηλεκτρικού συστήματος. Η χωροθέτηση της μεγαλύτερης δεξαμενής στην περιοχή του ελικοδρομίου εξυπηρετεί την υψομετρική διαφορά (100 μ.) για την παραγωγή ενέργειας αλλά ταυτόχρονα εξασφαλίζει και την δυνατότητα τροφοδότησης με νερό του συνόλου του νησιού καθώς και συνδέεται με τις υπόλοιπες δεξαμενές άρδευσης και βρίσκεται υψηλότερα, επομένως το νερό θα κατευθύνεται με φυσική ροή και χωρίς κόστος άντλησης.

#### 8.5 Υδροηλεκτρικό – Αντλιοστάσιο

Για την λειτουργία του συστήματος αντλιοσταμείωσης απαιτείται η λειτουργία αντλιοστασίου στον χώρο των δεξαμενών του Αγίου Γεωργίου. Η εγκατάσταση θα γίνει στο χώρο του υπάρχοντος αντλιοστασίου και θα περιλαμβάνει μία αντλητική διάταξη 30 kW η οποία θα τροφοδοτείται με ρεύμα από την Α/Γ σε περιόδους χαμηλής ζήτησης ενέργειας. Η αντλία θα ανεβάζει νερό από την δεξαμενή του Αγ. Γεωργίου προς εκείνες του ελικοδρομίου τόσο για την υδροδότηση των οικισμών όσο και για την αποθήκευση ενέργειας που θα εκτονώνεται σε περιόδους υψηλής ζήτησης.

Ο υδροστρόβιλος θα εγκατασταθεί πλησίον του αντλιοστασίου του Αγίου Γεωργίου για την παραγωγή ενέργειας από την πτώση του νερού μεταξύ των δύο δεξαμενών. Με βάση ότι το υδροηλεκτρικό θα είναι παροχής  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}^8$ , η πτώση

---

<sup>8</sup> Η παροχή αυτή σε συνδυασμό με την χωρητικότητα των δεξαμενών του συστήματος εξασφαλίζουν ότι ο υδροστρόβιλος μπορεί να λειτουργεί περί τις 5 ώρες συνεχόμενα. Το χρονικό διάστημα αυτό καλύπτει τις αιχμές της ηλεκτρικής ζήτησης που είναι συνήθως τις ώρες 12:00 – 14:00 και 19:00 – 22:00 ημερησίως.

του νερού θα είναι της τάξης των 100 μ και την ανάλυση που προηγήθηκε (Κεφάλαιο 5), προτείνεται η εγκατάσταση ενός στροβίλου Pelton ισχύος 150 kW.

Η ισχύς  $I$  (σε kW) που απαιτεί μία αντλία ή αποδίδει ένας υδροστρόβιλος υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$I = g \cdot Q \cdot H_{\text{man}} \cdot \eta_t, \text{ για υδροστρόβιλο}$$

$$I = g \cdot Q \cdot H_{\text{man}} / \eta_p, \text{ για αντλία}$$

Όπου  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας  $9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $Q$  η παροχή στο αγωγό πτώσης ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $H_{\text{man}}$  το μανομετρικό ύψος της αντλίας ή του υδροστρόβιλου και  $\eta_t$ ,  $\eta_p$  οι συντελεστές βαθμού απόδοσης του υδροστρόβιλου και της αντλίας που λαμβάνονται ίσον με 0,9 και 0,69, αντίστοιχα.

Η εξίσωση ενέργειας για τον υπολογισμό του μανομετρικού ύψους γράφεται ως εξής:

$$H_A + H_{\text{man}} = H_B + \Sigma h_{f(A-B)} + \Sigma h_{m(A-B)}, \text{ για αντλία}$$

$$H_A = H_{\text{man}} + H_B + \Sigma h_{f(A-B)} + \Sigma h_{m(A-B)}, \text{ για υδροστρόβιλο}$$

Όπου  $H_{\text{man}}$  είναι το μανομετρικό ύψος της αντλίας ή του υδροστρόβιλου, αντίστοιχα

$H_A$  είναι η στάθμη στην δεξαμενή A,

$H_B$  η στάθμη στη δεξαμενή B,

$\Sigma h_{f(A-B)}$  το άθροισμα των γραμμικών απωλειών των σωλήνων και

$\Sigma h_{m(A-B)}$  το άθροισμα των τοπικών απωλειών

Η φιλοσοφία τέτοιων συστημάτων στηρίζεται στην αξιοποίηση της περίσσειας αιολικής ενέργειας που δεν καταναλώνεται από το δίκτυο η οποία επιτυγχάνεται μέσω άντλησης νερού από τον κάτω ταμιευτήρα και αποθήκευσης στον άνω. Με δεδομένη τη ζήτηση του δικτύου και σε περιόδους άπνοιας ή μειωμένης αιολικής παραγωγής, η αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια του νερού αξιοποιείται αντιστρέφοντας την παραπάνω διαδικασία, αφού το νερό μέσω του στροβίλου παράγει τώρα την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια και συγκεντρώνεται στον

κάτω ταμιευτήρα. Με τον τρόπο αυτό, **το βασικό μειονέκτημα της στοχαστικής εμφάνισης του ανέμου μετατρέπεται σε πλεονέκτημα καθώς παρέχεται εγγυημένη ισχύς στο σύστημα.** Το σύστημα της αντλησιοταμίευσης δεν αποτελεί τεχνολογική πρωτοτυπία, αφού τέτοια συστήματα λειτουργούν στο ηπειρωτικό δίκτυο προσφέροντας την αποθηκευμένη ενέργεια σε ώρες αιχμής (μονάδες αιχμής).

#### 8.6 Κεντρική Μονάδα Εποπτικού Ελέγχου (ΚΜΕ)

Λόγω έλλειψης χρήσης κάποιου αλγορίθμου βραχυχρόνιας πρόβλεψης ταχύτητας ανέμου, η Κεντρική Μονάδα Ελέγχου (ΚΜΕ) συγκρίνει τις ταχύτητες ανέμου των προηγούμενων χρονικών στιγμών λειτουργίας του και εάν αυτές είναι μειούμενες φτάνοντας σε κάποιο κρίσιμο κατώφλι, τότε το σύστημα εξετάζει αν τα υποσυστήματα παραγωγής ενέργειας είναι σε θέση να λειτουργήσουν και αυτομάτως επιλέγει κάποιο, κατά προτεραιότητα το Υδροηλεκτρικό, και το θέτει σε κατάσταση αναμονής. Εάν υπάρχει η επάρκεια νερού στον άνω ταμιευτήρα, το σύστημα θέτει το στρόβιλο σε λειτουργία υπό κενό φορτίο ώστε να είναι έτοιμος να αναλάβει φορτία άμεσα σε περίπτωση ελλείμματος αιολικής ενέργειας. Οι στρόβιλοι Pelton είναι ιδανικοί για τέτοια χρήση αφού είναι στρόβιλοι δράσεως και μπορούν να λάβουν φορτία άμεσα, λειτουργώντας υπό κενό φορτίο.

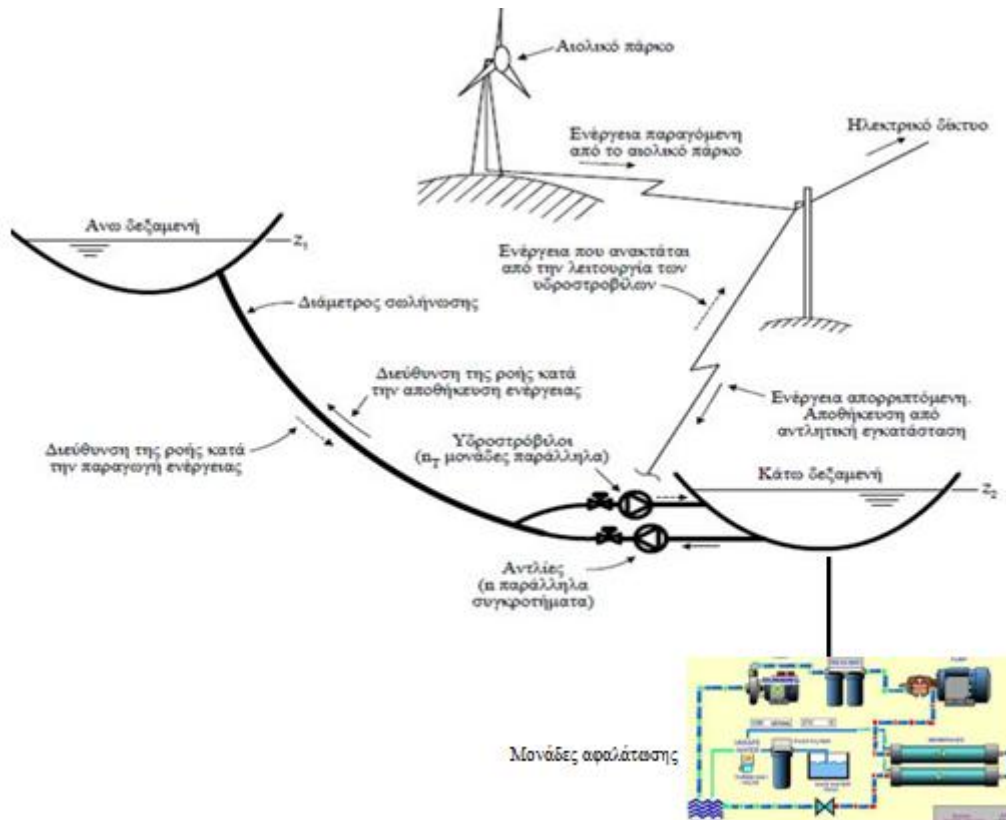
#### 8.7 Συνολικό Σύστημα

Συνοπτικά και συμπερασματικά το προτεινόμενο Υβριδικό Σύστημα του Αγαθονησίου θα αποτελείται από τα παρακάτω υποσυστήματα:

- ✚ Το αιολικό πάρκο (Α/Π).
- ✚ Τον άνω και τον κάτω ταμιευτήρα νερού (δεξαμενές). Πρόκειται για την επέκταση των υπαρχουσών δεξαμενών.
- ✚ Το αντλιοστάσιο και το σταθμό του στρόβιλου.
- ✚ Τον υπάρχοντα ΤΣΠ της ΔΕΗ.
- ✚ Την Κεντρική Μονάδα εποπτικού Ελέγχου (ΚΜΕ) που θα συντονίζει και θα παρακολουθεί την λειτουργία του συστήματος.

- ✚ Νέα μονάδα επεξεργασίας θαλασσινού νερού με την μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης.
- ✚ Δίδυμο δίκτυο μεταφοράς νερού από τις δεξαμενές του Αγίου Γεωργίου έως τις δεξαμενές του ελικοδρομίου.

Τέλος, θεωρείται απαραίτητο να επισημανθεί η σημασία του υδροηλεκτρικού έργου τόσο στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών αιχμής όσο και στην ομαλή ένταξη της ηλεκτρικής ενέργειας από την Α/Γ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υδροστρόβιλοι άμεσης απόκρισης όπως αυτός που προτείνεται λειτουργούν σταθεροποιητικά στο σύστημα ηλεκτροδότησης και στην αστάθεια (λόγω στοχαστικότητας) που παρουσιάζουν οι ΑΠΕ.



Σχήμα 8.4 Σχηματική απεικόνιση λειτουργία του προτεινόμενου συστήματος ύδρευσης/ηλεκτροδότησης (Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Τα αντιστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα σκοπό έχουν την αποθήκευσης ενέργειας υπό την μορφή υδραυλικής ενέργειας και στη συνέχεια της μετατροπής της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω υδροστρόβιλου υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω υδροστρόβιλου με

άντληση νερού στον άνω ταμιευτήρα από τον κάτω. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα κατά την διάρκεια των ωρών (π.χ. βραδινές ώρες) και ημερών (π.χ. αργιών) με χαμηλή ενεργειακή ζήτηση που υπάρχει περίσσια ενέργειας από τις μονάδες βάσης. Σε περιπτώσεις αρνητικού ενεργειακού ισοζυγίου λαμβάνει χώρα η αντίστροφη ενέργεια όπου ο υδροστρόβιλος παράγει ηλεκτρισμό για την εξισορρόπηση του δικτύου από την αποθηκευμένη ενέργεια του νερού.

Πρέπει πάντως να επισημανθεί ότι η διαδικασία μετατροπής της περισσευούμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε υδραυλική (άντληση) και στην συνέχεια εκ νέου μετατροπή της σε ηλεκτρική (υδροστρόβιλο) συνοδεύεται με απώλειες της τάξης του 25%. Παρόλα αυτά η επένδυση είναι οικονομικά συμφέρουσα λόγω της σημαντικής διαφοράς στο κόστος μονάδας αιχμής και βάσεων όσον αφορά τα συμβατικά αναστρέψιμα έργα. Το αντιστρέψιμο υδροηλεκτρικό αποθηκεύει ποσότητες ενέργειας που με καμία άλλη μέθοδο δεν μπορούν να επιτευχθούν.

Κλείνοντας, σημαντικό στοιχείο του συστήματος είναι ότι μπορεί να συνδυάζεται εύκολα με τις υπόλοιπες μονάδες παραγωγής και έτσι αντιμετωπίζονται τα πολύ σοβαρά προβλήματα ασυνέχεια της αιολικής ενέργειας και ευστάθειας του συστήματος, με την παραγωγή εγγυημένης ηλεκτρικής ισχύς στο δίκτυο.

## 9 Οικονομική Αξιολόγηση του Προτεινόμενου Έργου

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία προσεγγιστική ανάλυση των βασικότερων οικονομικών παραμέτρων του προτεινόμενου έργου. Επίσης θα παρουσιαστεί μία συγκριτική εικόνα της υφιστάμενης και της προτεινόμενης κατάστασης για να φανούν οι οικονομικές συνέπειες (θετικές και αρνητικές) της υλοποίησης του προτεινόμενου έργου. Η οικονομική αξιολόγηση αφορά τόσο επενδύσεις σε εξοπλισμό, κόστος κατασκευής, χωροθέτησης κλπ που θα γίνουν μία φορά όσο και λειτουργικά κόστη που υφίστανται καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας.

Τα κόστη που θα παρατεθούν στην συνέχεια βασίζονται σε συγκριτικές εκτιμήσεις και έρευνες μέσω άλλων μελετών και δεν αποτελούν ακριβή κοστολόγηση αλλά ενδεικτική.

### 9.1 Κόστος Κατασκευής

Τα κόστη κατασκευής, αγοράς, χωροθέτησης κλπ περιλαμβάνουν τα εξής:

Πίνακας 9.1 Εκτιμώμενες δαπάνες προμήθειας και εγκατάστασης του προτεινόμενου έργου

A/A	Περιγραφή Εργασίας	Εκτίμηση Δαπάνης (€)
<b>1</b>	<b>Δαπάνες μελετών-Επιβλέψεων-Αδειοδοτήσεων</b>	<b>100.000</b>
	Αρχιτεκτονική, Η/Μ μελέτες, Αδειοδότηση, Επιβλέψεις	
<b>2</b>	<b>Μονάδα αφαλάτωσης</b>	<b>350.000</b>
	Κατασκευή βάσεων για τον εξοπλισμό και υποδομές, περίφραξη, φωτισμός και μέτρα ασφαλείας	
	Φρεάτιο άντλησης θαλασσινού νερού, φίλτρο, σωλήνες προσαγωγής – επιστροφής, εργασίες στη θάλασσα, σωλήνες τροφοδότησης	
	Εξοπλισμός: προεπεξεργασίας, φίλτρα, αντλιοστάσιο θαλ/νού νερού, δεξαμενή, containers, μονάδες αφαλάτωσης RO	
	Μεταφορά-εγκατάσταση εξοπλισμού	
	Δοκιμές θέση σε λειτουργία (commissioning)	
	Αποκατάσταση και βελτίωση περιβάλλοντος χώρου	
	Εκπαίδευση	
<b>3</b>	<b>Αντλιοστάσια, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί</b>	<b>150.000</b>



A/A	Περιγραφή Εργασίας	Εκτίμηση Δαπάνης (€)
	<b>μεταφοράς, αυτοματισμοί</b>	
	Αντλιοστάσιο, αντλίες, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί	
<b>4</b>	<b>Δεξαμενές</b>	<b>300.000</b>
	Έργα υποδομής (χωματουργικά, αποκατάσταση περιβάλλοντος), προμήθεια ή κατασκευή δεξαμενών	
<b>5</b>	<b>Υδροστρόβιλος</b>	<b>400.000</b>
	Πλήρης εξοπλισμός υδροστρόβιλου (υδροστρόβιλος, μεταφορά σε λιμάνι προορισμού στην Ελλάδα, κόστος εγκατάστασης)	
	Αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί	
	Έργα υποδομής (χωματουργικά, δίκτυα, αποκατάσταση περιβάλλοντος)	
<b>6</b>	<b>Ανεμογεννήτριες</b>	<b>400.000</b>
	Προμήθεια, μεταφορά, εγκατάσταση, διαμόρφωση χώρου χωροθέτησης	
	<b>ΦΠΑ (16% ισχύει για μικρά νησιά)</b>	<b>240.000</b>
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>1.940.000</b>

Πηγή: Μπέρτσιου (2016); Εμμανουηλίδης και Κάραλης (2011); <https://agathonisiafalatosi.wordpress.com/about/>

## 9.2 Κόστος Λειτουργίας

Στον Πίνακα 9.2 παρουσιάζονται τα ετήσια κόστη λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης, τα οποία βασίζονται σε εκτιμήσεις, έπειτα από έρευνα κόστους λειτουργίας και συντήρησης αντίστοιχων έργων. Μέρος των στοιχείων προκύπτουν από το κόστος λειτουργίας της υφιστάμενης μονάδας αφαλάτωσης και του συστήματος υδροδότησης του νησιού.

Πίνακας 9.2 Εκτιμώμενες λειτουργικές δαπάνες έργου

A/A	Περιγραφή Εργασίας	Εκτίμηση Δαπάνης (€)
<b>1</b>	<b>Δαπάνες Διοίκησης – Διαχείρισης Έργου</b>	<b>50.000</b>
	Αμοιβή προσωπικού διαχείρισης	
<b>2</b>	<b>Μονάδες αφαλάτωσης</b>	<b>30.000<sup>1</sup></b>
	Λειτουργία και συντήρηση μονάδας	
	Δαπάνες προσωπικού	
<b>3</b>	<b>Αντλιοστάσια, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί</b>	<b>2.000</b>
	Συντήρηση του εξοπλισμού, ανταλλακτικά, αναλώσιμα	
<b>4</b>	<b>Δεξαμενές</b>	<b>1.000</b>
	Συντήρηση, αναλώσιμα	
<b>5</b>	<b>Υδροστρόβιλος</b>	<b>3.000</b>
	Συντήρηση μονάδας, αναλώσιμα	
<b>6</b>	<b>Ανεμογεννήτριες</b>	<b>28.000</b>
	Συντήρηση μονάδας, ανταλλακτικά, αναλώσιμα	
	Δαπάνες προσωπικού, λειτουργία-συντήρηση-ασφάλεια	
<b>ΦΠΑ (16% ισχύει για μικρά νησιά)</b>		<b>18.240</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>132.240</b>
<sup>1</sup> Το ποσό αυτό προκύπτει υπό την προϋπόθεση ότι το κόστος ενέργειας των μονάδων θα καλύπτονται από την Α/Γ και τον υδροστρόβιλο και δεν θα επιβαρύνονται από τις χρεώσεις της ΔΕΗ.		

Πηγή: Μπέρτσιου (2016); Εμμανουηλίδης και Κάραλης (2011); Δήμος Αγαθονησίου (2016)

Προκειμένου να επιτευχθεί η ομαλή λειτουργία του έργου, θα υπάρχει τμήμα διεύθυνσης και διαχείρισης αυτού, που θα είναι υπεύθυνο για τη συνεχή παρακολούθηση της λειτουργίας, την ανάλυση των στοιχείων, την προμήθεια των απαραίτητων αναλώσιμων, τον συντονισμό του υπόλοιπου προσωπικού, τις πληρωμές, την πραγματοποίηση των προγραμματισμένων συντηρήσεων, αλλά και την αντιμετώπιση τυχόν έκτακτων προβλημάτων στη λειτουργία του έργου.

Η λειτουργία της μονάδας αφαλάτωσης και του υδροστροβίλου, καθώς και οι συντηρήσεις επί τόπου θα γίνονται από ειδικά εκπαιδευμένους τεχνικούς, με δυνατότητα εναλλαγής αυτών σε περιπτώσεις αδειών ή ασθένειας, ειδικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που η ζήτηση αφαλατωμένου νερού είναι αυξημένη

λόγω των τουριστών. Για το σκοπό αυτό απαιτούνται τρεις τεχνικοί, πλήρους απασχόλησης. Για πιο σύνθετες εργασίες και βλάβες προβλέπεται η μετάβαση εξειδικευμένου προσωπικού από άλλες περιοχές.

### 9.3 Συγκριτική Αξιολόγηση

Το προτεινόμενο σύστημα αναμένεται να καλύπτει την συνολική υφιστάμενη και μελλοντική ζήτηση σε νερό για τον Δήμο Αγαθονησίου ενώ παράλληλα θα εξασφαλίζει ενεργειακή αυτονομία με την χρήση των ΑΠΕ (και συμπληρωματικά μέσω του ΤΣΠ της ΔΕΗ στον Άγιο Γεώργιο). Το συνολικό όφελος, μετά την υλοποίηση του συστήματος αφορά την παραγωγή και διάθεση νερού και την παραγωγή και διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης θα πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχουν και οφέλη που δεν δύναται να ποσοτικοποιηθούν όπως η προμήθεια καθαρού νερού που υπερκαλύπτει τις ανάγκες και δημιουργεί τις συνθήκες ανάπτυξης του νησιού, παραγωγή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλό κόστος.

Πίνακας 9.3 Δαπάνες ύδρευσης/ηλεκτροδότησης χωρίς την υλοποίηση του προτεινόμενου έργου (για 25 έτη)

Περιγραφή δαπάνης	Υπολογισμός	Κόστος 25ετίας
Μεταφορά Νερού	204.075 m <sup>3</sup> x 12,5 €/ m <sup>3</sup>	2.550.938 €
Κόστος υπάρχουσας αφαλάτωσης	22.500 ευρώ/έτος	562.500 €
Κόστος ενέργειας κατοίκων	1.026.892 kWh x 0,2	5.134.460 €
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>8.247.898 €</b>
Στην εκτίμηση δεν περιλαμβάνεται η προμήθεια νέων Η/Ζ που προβλέπεται από την ΔΕΗ για να μπορεί να ανταποκριθεί στις μελλοντικές ανάγκες ηλεκτροδότησης του νησιού.		

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Το συνολικό κόστος υλοποίησης της πρότασης ανέρχεται σε 1.940.000 ευρώ. Μέσα στο κόστος αυτό περιλαμβάνονται και έργα που θα έπρεπε να υλοποιηθούν σε κάθε περίπτωση όπως η επέκταση της χωρητικότητας στις δεξαμενές υδροδότησης. Επίσης αν δεν υλοποιηθεί το προτεινόμενο έργο η ΔΕΗ θα πρέπει να προβεί σε αναβάθμιση του σταθμού παραγωγής της στο νησί αφού με την υπάρχουσα δυναμικότητα δεν μπορεί να καλυφθεί η εγκατάσταση και άλλης

μονάδας αφαλάτωσης αλλά και η αυξανόμενη ζήτηση από τον Δήμο στο μέλλον. Η προβολή του κόστους της υφιστάμενης και της προτεινόμενης κατάστασης θα γίνει με χρονικό ορίζοντα 25 ετών, που είναι ο χρονικός ορίζοντας μελέτης.

Με ένα πρόχειρο υπολογισμό από τον Πίνακα 9.3 και Πίνακα 9.4 προκύπτει ότι υπάρχει σημαντικό όφελος από την λειτουργία του προτεινόμενου έργου σε ορίζοντα 25ετίας, που ανέρχεται σε τρία περίπου εκατομμύρια ευρώ. Σε αυτό συντελεί το μεγάλο κόστος μεταφοράς νερού (12,5 ευρώ ανά κυβικό) σε σημερινές τιμές από τον Δήμο Αγαθονησίου καθώς και το υψηλό κόστος ενέργειας για την λειτουργία των μονάδων αφαλάτωσης. Επίσης κάποια έργα θα πρέπει να υλοποιηθούν σε κάθε περίπτωση γιατί ο σταθμός της ΔΕΗ δεν θα μπορεί να εξυπηρετήσει την μελλοντική ζήτηση ενεργείας, οι δεξαμενές υδροδότησης χρειάζονται επέκταση προκειμένου να λειτουργεί καλύτερα το δίκτυο ύδρευσης και η δεύτερη μονάδα αφαλάτωσης είναι υποχρεωτική για να μειωθεί το τεράστιο κόστος τροφοδότησης νερού του νησιού.

Πίνακας 9.4 Δαπάνες ύδρευσης/ηλεκτροδότησης μετά την υλοποίηση του προτεινόμενου έργου (για 25 έτη)

Περιγραφή δαπάνης	Υπολογισμός	Κόστος 25ετίας
Δαπάνες κατασκευής		1.940.000
Λειτουργικές δαπάνες	132.240 €/έτος	3.306.000
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>5.246.000</b>

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Το προτεινόμενο έργο μπορεί να γίνει πολύ ελκυστικό και άμεσα βιώσιμο αν συνυπολογιστεί η πιθανότητα επιχορήγησης από εθνικούς και ευρωπαϊκούς πόρους. Δεδομένου ότι τα έργα προβλέπουν χρήση ΑΠΕ σε μία νησιωτική, ιδιαίτερα ευαίσθητη περιοχή, ενδέχεται η έγκριση επιχορήγησης που μπορεί να καλύψουν το μεγαλύτερο κόστος του έργου. Αυτές οι ενισχύσεις μπορεί να αφορούν ευρωπαϊκή χρηματοδότηση, χρήματα από το Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων αλλά και χαμηλότοκο δανεισμό από την Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασία επιχειρήθηκε μία ανάλυση των σύνθετων προβλημάτων ύδρευσης/ηλεκτροδότησης ενός μικρού ελληνικού νησιού. Από την ανασκόπηση των διαθέσιμων τεχνολογικών εφαρμογών αλλά και αξιολογώντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του νησιού επιχειρείται η επίλυση του προβλήματος ύδρευσης/ηλεκτροδότησης με ένα συνολικό και αειφορικό τρόπο που παράλληλα θα στοχεύει στην τόνωση των τοπικών αναπτυξιακών δυνατοτήτων του Αγαθονησίου.

Πρώτο βήμα στην συνολική διαδικασία έρευνας αποτέλεσε η κατανόηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του Δήμου Αγαθονησίου και ο τρόπος σύνδεσης τους με τις υφιστάμενες προσεγγίσεις επίλυσης ζητημάτων ύδρευσης και ηλεκτροδότησης. Τα κύρια συμπεράσματα από αυτήν την διαδικασία είναι τα εξής:

- ✚ Οι περιβαλλοντικές συνέπειες από την καύση συμβατικών καυσίμων, καθώς και το ενδεχόμενο εξάντλησής τους, οδήγησε στην αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στην ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων με χρήση ΑΠΕ.
- ✚ Η Ελλάδα και ειδικά τα νησιά του Αιγαίου (συμπεριλαμβανομένου του Αγαθονησίου) ενδείκνυνται για την εγκατάσταση υβριδικών έργων με βάση την αιολική ενέργεια, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού αιολικού δυναμικού που διαθέτει.
- ✚ Σε σύγκριση με την λύση των φωτοβολταϊκών, που επίσης είναι μία ελκυστική περίπτωση, η αιολική ενέργεια υπερέχει από οικονομικής άποψης, ενώ απαιτεί μικρότερη έκταση εγκατάστασης του εξοπλισμού.
- ✚ Τα υβριδικά έργα είτε μπορούν να εγκατασταθούν ως ανεξάρτητα συστήματα είτε να ενταχθούν σε υπάρχοντες σταθμούς παραγωγής βασισμένες σε συμβατικές μορφές ενέργειας, έπειτα από τις κατάλληλες παρεμβάσεις.
- ✚ Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα, σε τοπικό επίπεδο, της εγκατάστασης ΥΕ συνοψίζονται στη σημαντική προσφορά απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας

όλη τη διάρκεια του χρόνου, με αποφυγή διακοπών ρεύματος και μείωση εκπεμπόμενων ρύπων.

- ✚ Οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως σε σχέση με τους υδροστροβίλους δράσεως ενδείκνυται συνήθως για μικρά υδραυλικά ύψη και μεγάλες παροχές.
- ✚ Η σημασία της αφαλάτωσης στο πρόβλημα της έλλειψης νερού, γίνεται κατανοητή από τη ραγδαία αύξηση της παγκόσμιας εγκατεστημένης δυναμικότητας των μονάδων αφαλάτωσης τα τελευταία πενήντα χρόνια.
- ✚ Μεταξύ των τεχνολογιών αφαλάτωσης, η αντίστροφη ώσμωση βρίσκει τη μεγαλύτερη εφαρμογή λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, της καταλληλότητας αυτών των συστημάτων για σύνδεση με Φ/Β ή ανεμογεννήτριες και της υψηλής παραγωγικότητας ποσοτήτων αφαλατωμένου νερού σε σύγκριση με άλλες διαδικασίες αφαλάτωσης.
- ✚ Στις μεθόδους αφαλάτωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε συμβατικές ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ωστόσο όλες οι μέθοδοι αφαλάτωσης δεν μπορούν να συνδυαστούν με όλες τις ΑΠΕ.
- ✚ Η αντλησιοταμίευση αποτελεί την ιδανική λύση για την περαιτέρω διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα των περιοχών. Για να επιτευχθούν υψηλά ποσοστά διείσδυσης που θα ξεπερνούν το 20% απαιτούνται διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας. Τα πλεονεκτήματα αυτά την καθιστούν έως τώρα την μόνο ελκυστική μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας τόσο για μικρής κλίμακας έργα όσο και για μεγαλύτερα. Η μέθοδος αυτή είναι πολλαπλού σκοπού καθώς ικανοποιεί πληθώρα στόχων (αποθήκευσης ενέργειας, αποθήκευσης νερού, διαχείριση υδατικών πόρων κλπ).

Τα βασικά συμπεράσματα από το δεύτερο μέρος της εργασίας που περιλαμβάνει την ανάλυση των στοιχείων ύδρευσης/ηλεκτροδότησης του νησιού και την εκπόνηση της πρότασης είναι τα εξής:

- ✚ Το Αγαθονήσι παρουσιάζει έντονη αυξομείωση στις ανάγκες ηλεκτροδότησης και ύδρευσης κατά τους θερινούς μήνες, γεγονός που συνεπάγεται αιχμές που δύσκολα γεφυρώνονται.
- ✚ Η έλλειψη υδατικών πόρων είναι μία απειλή για το Αγαθονήσι και η λειτουργία της αφαλάτωσης στον Άγιο Γεώργιο, αν και περιορίσει το

πρόβλημα, δεν το έλυσε. Οι πρόσθετες ανάγκες υδροδότησης είναι μεγάλες και απειλούν την ανάπτυξη και βιωσιμότητα του νησιού. Η μεταφορά νερού αποτελεί μία προσωρινή λύση λόγω του υπέρογκου κόστους (12,50 €/m<sup>3</sup>) αλλά και μία σειράς άλλων ζητημάτων (ασφάλεια στην τροφοδοσία, ποιότητα νερού κλπ).

- ✚ Η εγκατάσταση μία δεύτερης μονάδας αφαλάτωσης που προτείνεται και από τον Δήμο Αγαθονησίου θα μπορέσει να λύσει το πρόβλημα υδροδότησης σε συνδυασμό με έργα αναβάθμισης του δικτύου υδροδότησης.
- ✚ Για την λειτουργία δεύτερης μονάδας αφαλάτωσης απαιτείται αναβάθμιση του ΤΣΠ της ΔΕΗ ή χρήση ΑΠΕ. Με το προτεινόμενο σχέδιο λύνεται το συγκεκριμένο πρόβλημα.
- ✚ Η προτεινόμενη εγκατάσταση μία ανεμογεννήτριας και ενός υδροστρόβιλου θα εξασφαλίσει την ενέργεια για την λειτουργία των μονάδων αφαλάτωσης και θα μειώσει σημαντικά το ενεργειακό κόστος που είναι το μεγαλύτερο μέρος του λειτουργικού κόστους. Επίσης οι ΑΠΕ θα μπορούν να καλύψουν το μεγαλύτερο μέρος των συνολικών ενεργειακών αναγκών του νησιού, με τον σταθμό της ΔΕΗ να λειτουργεί συμπληρωματικά.
- ✚ Η χρήση των προτεινόμενων ΑΠΕ στο νησί θα αποφέρουν σημαντικό οικονομικό όφελος αφού η λειτουργία του ΤΣΠ της ΔΕΗ στο Αγαθονήσι έχει ένα από τα μεγαλύτερα κόστη λειτουργίας λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών (τύπος μονάδων, καύσιμο, μικρή δυναμικότητα, απόσταση μεταφοράς καυσίμων κλπ).
- ✚ Η περιοχή χωροθέτησης της Α/Γ είναι πλησίον σε δίκτυα διασύνδεσης, έχει υψηλό αιολικό δυναμικό και βρίσκεται εκτός ευαίσθητων περιοχών (αρχαιολογικές περιοχές, προστατευόμενες περιοχές κλπ). Επίσης η επιλογή μία τέτοιας μονάδας Α/Γ εξασφαλίζει την εύκολη και χαμηλούς κόστους μεταφορά και εγκατάσταση στην περιοχή χωροθέτησης.
- ✚ Η επέκταση της δεξαμενής στο ελικοδρόμιο θα συνεισφέρει πέρα από την λειτουργία της αντλησιοταμίευσης και στην καλύτερη απόδοση του συστήματος υδροδότησης καθώς η δεξαμενή αυτή είναι στο υψηλότερο

σημείο και μπορεί να τροφοδοτεί και τις τρεις δεξαμενές του συστήματος και επομένως όλες τις κατοικημένες περιοχές του νησιού.

- ✚ Οι συνολικές δαπάνες κατασκευής του προτεινόμενου έργου ανέρχονται σε 1.940.000. Σημαντικό γεγονός είναι ότι λόγω της χρήσης ΑΠΕ και της περιοχής χωροθέτησης του έργου (δυσπρόσιτη περιοχή) μπορεί ένα μεγάλο μέρος του κόστους να επιδοτηθεί από ευρωπαϊκούς και εθνικούς πόρους.
- ✚ Οι λειτουργικές δαπάνες μετά την εφαρμογή τη πρότασης υπολογίστηκαν σε 132.000 ευρώ ανά έτος. Το κόστος αυτό περιλαμβάνει την παραγωγή και διάθεση νερού και την παραγωγή και διάθεση ενέργειας μέσω των προτεινόμενων συστημάτων. Το ύψος της δαπάνης είναι μικρό αν συγκριθεί ακόμη και με το ετήσιο κόστος μεταφοράς νερού στο νησί (το οποίο σήμερα ανέρχεται σε 100.000 ευρώ ανά έτος).
- ✚ Σε ορίζοντα 25ετίας που είναι ο χρονικό ορίζοντας σχεδιασμού φαίνεται ότι το προτεινόμενο σύστημα είναι οικονομικά αποδοτικότερο από ότι το σημερινό σύστημα ηλεκτροδότησης/άρδευσης.
- ✚ Μεγάλο μέρος της προστιθέμενης αξίας της εργασίας είναι η ανάλυση και καταγραφή των στοιχείων ύδρευσης και ηλεκτροδότησης του νησιού αλλά και των μελλοντικών αναγκών.
- ✚ Πρέπει επίσης να σημειωθεί, ότι η ανάπτυξη υβριδικών σταθμών στα νησιά, δεν έρχεται σε αντίθεση με την προοπτική διασύνδεσής τους με το ηπειρωτικό δίκτυο, μια κεφαλαιώδους σημασίας κατεύθυνση που έχει εξαγγελθεί από την Υπουργό Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής και την οποία υποστηρίζει η ΡΑΕ, από τα πρώτα χρόνια λειτουργίας της, εμπράκτως με μελέτες και εισηγήσεις της. Αντίθετα, τα έργα είναι σε μεγάλο βαθμό συμπληρωματικά. Οι υβριδικοί σταθμοί, αφενός μπορούν να στηρίζουν τη λειτουργία εκτεταμένων διασυνδέσεων, καινοφανούς διάστασης και πολυπλοκότητας σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά και να αποτελέσουν τον προάγγελο των συστημάτων αποθήκευσης που αργά ή γρήγορα θα καταστούν αναγκαία σε επίπεδο επικράτειας για την επίτευξη της μεγάλης διεύθυνσης ΑΠΕ, όπως αναφέρθηκε πρωτύτερα. Εξάλλου, η ένταξη υβριδικών εκτιμάται ενωρίτερα από τη διασύνδεση των νησιών σε πολλές περιπτώσεις.



- ✚ Τέλος, όπως επισημαίνουν πολλοί συγγραφείς [Koroneos et al. (2007); Kondili and Kaldellis (2008)] η χρήση ΑΠΕ σε μονάδες αφαλάτωσης απομονωμένων περιοχών όπως είναι τα μικρά νησιά όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ υψηλή, το πόσιμο νερό είναι σε έλλειψη και το αιολικό και ηλιακό δυναμικό είναι σημαντικό είναι μία πολλά υποσχόμενη επιλογή.

Εν κατακλείδι θα πρέπει να επισημανθούν κάποια ζητήματα που χρήζουν περαιτέρω έρευνας και δεν μπόρεσαν να μελετηθούν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Τα συγκεκριμένα ζητήματα αποτελούν επίσης σημεία περαιτέρω προβληματισμού και τροφοδότηση της έρευνας πάνω στα ζητήματα που τέθηκαν στο παρόν πόνημα. Τα ζητήματα αυτά είναι τα εξής:

- ✚ Για μία ασφαλέστερη οικονομική αξιολόγηση της προτεινόμενης λύσης απαιτείται ακριβής υπολογισμός του κόστους και των δαπανών, κάτι που απαιτεί λεπτομερέστερη έρευνα.
- ✚ Για την υλοποίηση ενός υβριδικού συστήματος όπως το προτεινόμενο απαιτείται λεπτομερέστερη μελέτη για κάθε ζήτημα όπως η χωροθέτηση και η δυναμικότητα της ανεμογεννήτριας, η επιλογή του υδροστρόβιλου κλπ.
- ✚ Για την συνολική αποτίμηση του έργου θα πρέπει να γίνει μία ανάλυση κόστους οφέλους που θα προσμετρά τόσο τα οικονομικά δεδομένα όσο και τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά. Η προτεινόμενη λύση παρουσιάζει πληθώρα πλεονεκτημάτων για το περιβάλλον και την τοπική κοινωνία.

### Επιστημονικά Άρθρα

Al-Karaghoulis A., Renne D. and Kazmerski L. (2009). Solar and wind opportunities for water desalination in the Arab regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2397-2407.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Al-Karaghoulis et al., 2009)

Gude G. V., Nirmalakhandan N. and Deng S. (2010). Renewable and sustainable approaches for desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2641-2654.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Gude et al., 2010)

Kondili E. and Kaldellis J. (2008). Wind Energy Based Desalination Processes and Plants. Xth World Renewable Energy Congress.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Kondili and Kaldellis, 2008)

Koroneos C., Dompros A. and Roumbas G. (2007). Renewable energy driven desalination systems modeling. *Journal of Cleaner Production*, 15, 449-464.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Koroneos et al., 2007)

Sharma S. and Senapati T. (2013). Energy Storage Methods for Renewable Energy Sources. *International Journal of Science and Research*, 4 (3), 294-299.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Sharma and Senapati, 2013)

Zotalis K., Dialynas E., Mamassis N. and Angelakis A. (2014). Desalination Technologies: Hellenic Experience. *Water*, 6, 1134-1150.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Zotalis et al., 2014)

### Μελέτες

National Hydropower Association. Challenges and Opportunities For New Pumped Storage Development, A White Paper Development by NHA's Pumped Storage Development Council. Available at: [http://www.hydro.org/wp-content/uploads/2014/01/NHA\\_PumpedStorage\\_071212b12.pdf](http://www.hydro.org/wp-content/uploads/2014/01/NHA_PumpedStorage_071212b12.pdf) [Accessed 19/01/2017].

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (National Hydropower Association)

Εμμανουηλίδης Γ. και Κάραλης Γ. (2011). Μονάδες αφαλάτωσης στα άνυδρα νησιά του Αιγαίου, Τεχνολογίες, θεσμικό πλαίσιο, χρήση ΑΠΕ και μελέτες περίπτωσης: Πάτμος, Λειψοί, Θηρασιά. Ενεργειακό Γραφείο Ίου-Αιγαίου – Σύμβουλος των νησιών στον ενεργειακό σχεδιασμό.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Εμμανουηλίδης και Κάραλης, 2011)

Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου (2014). Επιχειρησιακό Σχέδιο Αγροτικής Ανάπτυξης 2014-2020 - Αγαθονήσι. Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, Γενική Διεύθυνση Περιφερειακής Αγροτικής Οικονομίας και Κτηνιατρικής.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, 2014)

### Βιβλία

Bourouni K. (2012). *Optimization of Renewable Energy Systems: The Case of Desalination at Arzu Sencan Sahin* “Modeling and Optimization of Renewable Energy Systems”, ISBN 978-953-51-0600-5, 308 pages, Publisher: InTech. Available at: <http://www.intechopen.com/books/modeling-and-optimization-of-renewable-energy-systems/optimization-of-renewable-energy-systems-the-case-of-desalination/> [Accessed 13/01/2017].

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Bourouni, 2012)

### Θεσμικά Κείμενα

Νόμος 3468/2006 «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις», ΦΕΚ 129/Α/27-06-2006.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Νόμος 3468/2006)

Υπουργική Απόφαση «Προσδιορισμός κατώτατων και ανώτατων ορίων των αναγκαίων ποσοτήτων για την ορθολογική χρήση νερού στην άρδευση», ΦΕΚ 428/Β/2-6-1989.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (ΦΕΚ 428/Β/2-6-1989)

### Άλλα Κείμενα

European Commission, Directorate – General For Energy. The future role and challenges of Energy Storage. DG ENER Working Paper.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (European Commission)

Miller R. and Winters M. (2009). Opportunities in Pumped Storage Hydropower: Supporting Attainment of Our Renewable Energy Goals. Available at: [http://www.hydroworld.com/articles/hr/print/volume-28/issue-5/Featured\\_Articles/energy-storage-opportunities-for-pumped-storage-supporting-renewable-energy-goals.html](http://www.hydroworld.com/articles/hr/print/volume-28/issue-5/Featured_Articles/energy-storage-opportunities-for-pumped-storage-supporting-renewable-energy-goals.html) [Accessed 13/01/2017].

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Miller and Winters, 2009)

Αγγελίδης Π. (2015). Σημειώσεις μαθήματος Υδροδυναμικά έργα, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, Ξάνθη, 2015.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Αγγελίδης, 2015)

Ανδρίτσος Ν. (2008). Ενέργεια και Περιβάλλον. Διδακτικές σημειώσεις του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Διαθέσιμο στο: [http://users.auth.gr/users/8/3/010438/public\\_html/tdk/Teaching/BOOK\\_1.pdf](http://users.auth.gr/users/8/3/010438/public_html/tdk/Teaching/BOOK_1.pdf) [Ανάκτηση 20/12/2016].

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Ανδρίτσος, 2008)

Βρεττός Ε. (2010). Ενεργειακή Προσομοίωση και Βέλτιστη Διαστασιολόγηση Υβριδικού Συστήματος ΑΠΕ – Συσσωρευτών – Υδρογόνου. Διπλωματική εργασία του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Επιβλέπων: Παπαθανασίου Σ.).

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Βρεττός, 2010)

ΔΕΔΔΗΕ (2015). Σχέδιο αντιμετώπισης εκτάκτων καταστάσεων στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Διαθέσιμο στο: <http://www.rae.gr/site/file/system/docs/consultations/04092015/121115> [Ανάκτηση 03/03/2017].

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (ΔΕΔΔΗΕ, 2015)

Δήμος Αγαθονησίου (2016). Επίσημα στοιχεία που εστάλησαν από τον Δήμαρχο Αγαθονησίου κ. Ευάγγελο Κόττορο με το έγγραφο με υπ' αριθμ. πρωτοκόλλου 2800/9-12-2016.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Δήμος Αγαθονησίου, 2016)

Καρταλίδης Α. (2011). Σχεδιασμός Συστήματος Παραγωγής Ενέργειας από ΑΠΕ για την Κάλυψη Αναγκών Ηλεκτρικής Ενέργειας και Νερού με Αφαλάτωση. Διπλωματική εργασία στο ΜΠΣ Οργάνωση και Διοίκηση Βιομηχανικών Συστημάτων, Συστήματα Διαχείρισης της Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και του Πανεπιστημίου Πειραιά (Επιβλέπων καθηγητής: Ασημακόπουλος Δ.).

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Καρταλίδης, 2011)

Κατερινόπουλος Φ. (2007). Μικροϋδροηλεκτρικά έργα: Τεχνολογία, διαδικασία μελέτης και εφαρμογές. Διπλωματική εργασία του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Επιβλέπων: Αναγνωστόπουλος Ι.).

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Κατερινόπουλος, 2007)

Κατσάφαρος Ι. (2011). Μελέτη του ενεργειακού συστήματος Ικαρίας. Διπλωματική εργασία του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών (Επιβλέπουσα: Πυργιώτη Ε.).

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Κατσάφαρος, 2011)

Μαμάσης Ν. και Στεφανάκος Ι., (2012). Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, Υδροηλεκτρική Ενέργεια. Σημειώσεις Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Διαθέσιμο στο: [http://users.itia.ntua.gr/nikos/metsono/ene\\_yhs\\_10.pdf](http://users.itia.ntua.gr/nikos/metsono/ene_yhs_10.pdf) [Ανάκτηση 20/12/2016]

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Μαμάσης και Σταφανάκος, 2012)

Μπέρτσιου Μ. (2016). Αξιολόγηση υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στους Φούρνους Κορσέων. Διπλωματική εργασία του ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Επιβλέπουσα: Μπαλάς Ε.).

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Μπέρτσιου, 2016)

Μυσίρης Π. (2015). Αξιολόγηση ενός υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη νήσο Δονούσα. Διπλωματική εργασία του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Κατεύθυνση "Υδρολογία και Περιβαλλοντική Διαχείριση Υδατικών Πόρων" (Επιβλέπων καθηγητής: Μπαλάς Ε.).

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Μυσίρης, 2015)

Παπαντώνης Δ. (2009). Παρουσίαση με τίτλο: Νέες προοπτικές για την ανάπτυξη της αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα, τεχνολογία και τεχνολογικοί περιορισμοί. Διαθέσιμο στο: [http://library.tee.gr/digital/m2380/m2380\\_papantonis.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2380/m2380_papantonis.pdf) [Ανάκτηση 20/01/2017].

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Παπαντώνης, 2009)

Φωτιάδη Ι. 26/08/2015. Άρθρο της «Καθημερινής» με τίτλο *Σκουριάζει η «Υδριάδα» της Ηρακλείας*, διαθέσιμο στο: <http://www.kathimerini.gr/828422/article/epikairothta/ellada/skoyriazei-h-ydriada-ths-hrakleias>

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Φωτιάδης 26/08/2015)

### Διαδικτυακοί Τόποι

Blog που ασχολείται με ενεργειακά θέματα, άρθρο για τα υβριδικά συστήματα Ελλάδας και Ισπανίας με τίτλο: «Ισπανία - Ελλάδα 1-0: το υβριδικό έργο στο Ελ Ιέρο τελείωσε, τι απέγινε το "πρωτοπόρο" υβριδικό της Ικαρίας;». Διαθέσιμο στο: <http://greeklignite.blogspot.gr/2014/05/1-0.html>, πρόσβαση στις 12/01/2017.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (<http://greeklignite.blogspot.gr/2014/05/1-0.html>)

Δήμος Αγαθονησίου. Γενικές πληροφορίες από τον ιστότοπο: <http://agathonisi.gr>, πρόσβαση στις 12/01/2017.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Ιστοσελίδα Δήμου Αγαθονησίου)

Ελληνική Στατιστική Αρχή. Στατιστικά δεδομένα διαθέσιμα στον ιστότοπο: <http://www.statistics.gr>, πρόσβαση στις 12/01/2017.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (ΕΛ.ΣΤΑΤ)

Ιστοσελίδα του έργου αφαλάτωσης του Δήμου Αγαθονησίου. Γενικές πληροφορίες για το έργο. Διαθέσιμες στο: <http://agathonisiafalatosi.wordpress.com/about/>, πρόσβαση στις 12/01/2017.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας:  
(<https://agathonisiafalatosi.wordpress.com/about/>)

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας. Πληροφορίες από τον ιστότοπο: [http://www.cres.gr/kape/images/maps/img\\_pre.htm](http://www.cres.gr/kape/images/maps/img_pre.htm), πρόσβαση στις 25/12/2016.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (ΚΑΠΕ)

Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. Στοιχεία για την ηλεκτροδότηση του Αγαθονησίου, διαθέσιμα στον ιστότοπο: <http://www.rae.gr>, πρόσβαση στις 12/01/2017.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (ΡΑΕ)

Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού. Πληροφορίες από τον ιστότοπο: [https://www.hnhs.gr/images/pdf\\_aggelies/en/2015/Blocks/en0615\\_02.pdf](https://www.hnhs.gr/images/pdf_aggelies/en/2015/Blocks/en0615_02.pdf), πρόσβαση στις 12/01/2017.

Παραπομπή στο κείμενο της εργασίας: (Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού)