



---

Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών  
Τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος  
Τομέας Ανανεώσιμων Ενεργειακών Πόρων  
Εργαστήριο Ανανεώσιμων Ενεργειακών Τεχνολογιών

---

Πτυχιακή Εργασία  
“Μελέτη εγκατάστασης αιολικού πάρκου και συστήματος  
αντλησιοταμίευσης για το νησί της Σάμου”

---

Φοιτητής: Μπουζουνιέρακης Νικόλαος 1732  
Εισηγητής & Επιβλέπων: Κατσιγιαννης Ιωάννης



---

Χανιά, Ιούνιος 2020

Copyright © Μπουζουνιεράκης Νικόλαος, 2020  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το τμήμα Μηχανικών Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του τμήματος.

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

---

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, αισθάνομαι την ηθική υποχρέωση να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με τον τρόπο τους στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας αλλά και των σπουδών μου.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κ. Γιάννη Κατσιγιαννη για την πολύτιμη βοήθειά του, τόσο στην επιλογή του ιδιαίτερα ενδιαφέροντος θέματος, όσο και στην σωστή καθοδήγηση που μου παρείχε όλον αυτόν τον καιρό, μεταδίδοντάς μου απαραίτητες γνώσεις και κατευθυντήριες γραμμές, μέχρι το τέλος.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω, στους καθηγητές του τμήματος για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσαν όλον αυτό τον καιρό. Ακόμη, ευχαριστώ τους φίλους μου που ήταν στο πλάι μου και όλους τους συμφοιτητές μου για την βοήθεια και την συνεργασία που είχαμε κατά την διάρκεια των σπουδών.

Τέλος, έχω την ανάγκη να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, και ιδιαίτερα τους γονείς μου, Μιχάλη και Γιάννα, τον αδελφό μου Στέλιο, διότι δίχως την στήριξη και την συμπαράστασή τους δεν θα είχα καταφέρει να πραγματοποιήσω και να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.

---

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Καθώς η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων προκαλεί όλο και περισσότερα προβλήματα, η στροφή προς φιλικότερες και βιώσιμες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας, καθίσταται πιο αναγκαία από ποτέ άλλοτε. Τον ρόλο αυτό τις τελευταίες δεκαετίες τις έχουν αναλάβει οι τεχνολογίες, οι οποίες βασίζονται στις λεγόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Πέραν των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν οι ΑΠΕ, εμφανίζουν ένα σημαντικό μειονέκτημα, αυτό της διακόμανσης στην διαθεσιμότητά τους. Κάτι τέτοιο, καθιστά την στήριξη εξ ολοκλήρου και μόνο σε αυτές ανέφικτη. Η ανάγκη για εύρεση λύσης σε αυτό πρόβλημα, οδήγησε στην αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας των ΑΠΕ, έτσι ώστε να είναι διαθέσιμη όποτε αυτή απαιτείται.

Στην Ελλάδα υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός νησιών τα οποία δεν είναι διασυνδεδεμένα με το εθνικό σύστημα ενέργειας. Ωστόσο, πολλά εξ αυτών παρουσιάζουν αρκετά μεγάλο αιολικό και ηλιακό δυναμικό (μορφές ΑΠΕ). Εκμεταλλεύοντας το δυναμικό αυτό και εγκαθιστώντας συστήματα αποθήκευσης ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα, η λειτουργία των εν λόγω νησιών βελτιώνεται σημαντικά. Μια από τις πιο ώριμες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα είναι το λεγόμενο σύστημα αντλησιοταμίευσης. Ο ρόλος, το οποίο αυτό αναλαμβάνει, είναι της εξισορρόπησης μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να προσομοιάσει μια εγκατάσταση συστήματος αντλησιοταμίευσης και αιολικού πάρκου στο νησί της Σάμου και να εξετάσει την επίδραση του στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) της Σάμου.

**Λέξεις κλειδιά:** υβριδικός σταθμός, σύστημα αντλησιοταμίευσης, ενεργειακή αποθήκευση, νησιωτικό σύστημα ενέργειας, ανεμογεννήτρια.

---

## ABSTRACT

---

As the consumption of fossil fuels keeps creating more and more problems, a turn into technologies more friendly and viable, becomes more necessary than ever before. This role in the last few decades, has taken over by the technologies, which based in the so called renewable energy sources (RES). Beyond the many advantages that RES have, they have a significant disadvantage, which is variance of availability. This, makes energy support entirely in RES impossible. The need of finding a solution to this matter, lead into energy storage, so that it will be available in need.

In Greece there is a large number of islands which are not connected with the main interconnected Greek power system. However, many of them present a significant amount of wind and solar potential (type of RES). Taking advantage of this potential and install large-scale energy storage, the operation of these islands will significantly improve. One of the most mature large-scale energy storage technologies is the pumped hydro storage. The role, which has to take over, is balance between energy production and demand.

The purpose of this Thesis is to simulate a hybrid power station consisting of a pumped hydro storage installation and a wind park in Samos Island and evaluate the effects of this system to the existing power system of Samos.

**Keywords:** energy storage, hybrid power station, insular power system, pumped hydro storage, wind turbine.

---

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

Περίληψη.....	i
Abstract.....	ii
Περιεχόμενα.....	iii
Κατάλογος γραφημάτων.....	vii
Κατάλογος πινάκων.....	ix
Κατάλογος εικόνων.....	x
Κατάλογος ακρωνύμιων.....	xi
Εισαγωγή.....	xii

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

1.1 Ενέργεια.....	1
1.2 Το ενεργειακό πρόβλημα.....	2
1.3 Επιπτώσεις στο περιβάλλον.....	4
1.4 Επάρκεια των αποθεμάτων.....	5
1.5 Τωρινή ενεργειακή κατάσταση.....	6
1.6 Μελλοντική ενεργειακή κατάσταση.....	8
1.7 Τρόποι αντιμετώπισης.....	10

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	12
2.2 Μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	13
2.3 Πλεονεκτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	14
2.4 Μειονεκτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	15
2.5 Δράσεις για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε Ελλάδα.....	15
2.6 Τρέχουσα κατάσταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	17
2.6.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα.....	17
2.6.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ευρώπη.....	18
2.7 Εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παγκοσμίως.....	19
2.8 Μελλοντική κατάσταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	20

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

3.1 Αιολική Ενέργεια.....	22
3.2 Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας.....	22
3.3 Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας.....	23
3.4 Άνεμος.....	24
3.5 Ανεμογεννήτριες.....	28
3.5.1 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα.....	30
3.5.2 Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα.....	32
3.5.3 Συντήρηση ανεμογεννήτριας.....	34
3.5.4 Αιολικό πάρκο.....	35
3.5.5 Κριτήρια επιλογής θέσης εγκατάστασης αιολικού πάρκου.....	36
3.5.6 Κριτήρια επιλογής ανεμογεννήτριας.....	36
3.6 Τρέχουσα κατάσταση αιολικών σε Ελλάδα, Ευρώπη και παγκόσμια.....	36
3.7 Μελλοντική εγκατεστημένη ισχύς αιολικών παγκοσμίως.....	41

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Η ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

4.1 Υδραυλική ενέργεια.....	42
4.2 Υδρολογικός κύκλος.....	43
4.3 Πλεονεκτήματα υδραυλικής ενέργειας.....	46
4.4 Μειονεκτήματα υδραυλικής ενέργειας.....	47
4.5 Υδροηλεκτρικός σταθμός.....	47
4.5.1 Κατηγορίες Υδροηλεκτρικών Σταθμών.....	47
4.5.2 Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί.....	49
4.5.3 Πλεονεκτήματα Μικρών Υδροηλεκτρικών Σταθμών.....	51
4.5.4 Μειονεκτήματα Μικρών Υδροηλεκτρικών Σταθμών.....	52
4.6 Υδροστρόβιλος.....	53
4.7 Υδροηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα.....	55
4.8 Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Ευρώπη.....	58
4.9 Υδροηλεκτρική Ενέργεια παγκοσμίως.....	62

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

5.1 Ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας.....	64
5.2 Πλεονεκτήματα αποθήκευσης ενέργειας.....	65
5.3 Μειονεκτήματα αποθήκευσης ενέργειας.....	65
5.4 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.....	65
5.5 Χαρακτηριστικά συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας.....	67

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

6.1 Συμβατικό ενεργειακό σύστημα.....	69
6.2 Υβριδικό ενεργειακό σύστημα.....	70
6.2.1 Πλεονεκτήματα υβριδικού ενεργειακού συστήματος.....	71
6.2.2 Μειονεκτήματα υβριδικού ενεργειακού συστήματος.....	72
6.3 Κατηγοριοποίηση υβριδικών σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας.....	72
6.4 Τεχνολογίες μονάδων υβριδικών σταθμών μεγάλου μεγέθους.....	73
6.5 Τεχνολογίες μονάδων υβριδικών σταθμών μικρού μεγέθους.....	74
6.6 Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά.....	75
6.6.1 Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά για απαλοιφή αιχμών ισχύος.....	76
6.6.2 Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά και μονάδες ΑΠΕ.....	77

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΤΟ ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

7.1 Θεσμικό πλαίσιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	78
7.2 Θεσμικό πλαίσιο ανεμογεννητριών.....	80
7.3 Θεσμικό πλαίσιο υβριδικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.....	82
7.4 Κώδικας διαχείρισης μη διασυνδεδεμένων νήσων.....	84

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Ο ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΤΗΣ ΣΑΜΟΥ**

8.1 Γενικά χαρακτηριστικά της Σάμου.....	86
8.2 Ενεργειακά χαρακτηριστικά της Σάμου.....	86
8.3 Περιγραφή του υπό μελέτη υβριδικού σταθμού της Σάμου.....	88



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

9.1 Εισαγωγή.....	90
9.2 Δεδομένα.....	90
9.3 Οικονομικά δεδομένα.....	95
9.4 Περιορισμοί.....	96
9.5 Ορισμοί.....	97
9.6 Παράμετροι.....	99
9.7 Υπολογισμοί.....	101
9.7.1 Ενεργειακοί υπολογισμοί.....	101
9.7.2 Οικονομικοί υπολογισμοί.....	107

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

10.1 Σκοπιά του διαχειριστή του δικτύου της Σάμου.....	110
10.1.1 Πριν την εισαγωγή του υβριδικού σταθμού.....	110
10.1.2 Μετά την εισαγωγή του υβριδικού σταθμού.....	113
10.1.2.1 Υβριδικός σταθμός ονομαστικής ισχύος 3,5 MW.....	113
10.1.2.2 Υβριδικός σταθμός ονομαστικής ισχύος 7,0 MW.....	116
10.1.2.3 Υβριδικός σταθμός ονομαστικής ισχύος 10,5 MW.....	119
10.2 Σκοπιά του επενδυτή του έργου.....	121
10.2.1 Υβριδικός σταθμός ονομαστικής ισχύος 3,5 MW.....	122
10.2.2 Υβριδικός σταθμός ονομαστικής ισχύος 7,0 MW.....	124
10.2.3.Υβριδικός σταθμός ονομαστικής ισχύος 10,5 MW.....	126

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

11.1 Σκοπιά του διαχειριστή του δικτύου της Σάμου.....	129
11.1.1 Πριν και μετά την εισαγωγή του υβριδικού σταθμού.....	129
11.1.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ υβριδικών σταθμών.....	131
11.2 Σκοπιά του επενδυτή του έργου.....	132
11.2.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ υβριδικών σταθμών.....	132

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βιβλιογραφικές αναφορές.....	137
------------------------------	-----

### **Κεφάλαιο 1**

**Γράφημα 1.1** - Εναπομείναντα έτη ανά καύσιμο.

**Γράφημα 1.2** - Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση ανά τύπο καυσίμου.

**Γράφημα 1.3** - Ενεργειακή κατανάλωση σε ΕΤΠΠ ανά χώρα.

**Γράφημα 1.4** - Παγκόσμιος πληθυσμός σε δισεκατομμύρια.

**Γράφημα 1.5** - Ιστορική και προβλεπόμενη κατανάλωση ενέργειας ανά πηγή (ΕΤΠΠ).

### **Κεφάλαιο 2**

**Γράφημα 2.1** - Συνολική διείσδυση των ΑΠΕ ανά τομέα τελικής κατανάλωσης.

**Γράφημα 2.2** - Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας από ΑΠΕ.

**Γράφημα 2.3** - Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση.

**Γράφημα 2.4** - Προβλεπόμενη ενεργειακή κατανάλωση.

### **Κεφάλαιο 3**

**Γράφημα 3.1** - Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών.

**Γράφημα 3.2** - Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών στην Ευρώπη.

**Γράφημα 3.3** - Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών σε χώρες της Ευρώπης.

**Γράφημα 3.4** - Εξέλιξη της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος παγκοσμίως.

**Γράφημα 3.5** - Προβλεπόμενη εγκατεστημένη ισχύς αιολικών παγκοσμίως.

### **Κεφάλαιο 4**

**Γράφημα 4.1** - Διάγραμμα επιλογής υδροστροβίλου.

**Γράφημα 4.2** - Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά τύπο καυσίμου το 2018.

**Γράφημα 4.3** - Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά τύπο καυσίμου το 2018.

**Γράφημα 4.4** - Εγκατεστημένη Ισχύς Υδροηλεκτρικής Ενέργειας, 1900-2017.

**Γράφημα 4.5** - Εγκατεστημένη Ισχύς Υδροηλεκτρικής Ενέργειας στην Ευρώπη το 2018.

**Γράφημα 4.6** - Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικά στην Ευρώπη.

**Γράφημα 4.7** - Ποσοστό κάθε περιοχής ως προς την εγκατεστημένη ισχύ παγκοσμίως.

**Γράφημα 4.8** - Ποσοστό κάθε περιοχής ως προς την παραγωγή ενέργειας παγκοσμίως.

## **Κεφάλαιο 8**

**Γράφημα 8.1** - Ημερήσια καμπύλη φορτίου για το έτος 2015.

## **Κεφάλαιο 9**

**Γράφημα 9.1** - Ετήσια ενεργειακή ζήτηση της Σάμου.

**Γράφημα 9.2** - Ετήσιο αιολικό δυναμικό της Σάμου.

**Γράφημα 9.3** - Ετήσια καμπύλη διάρκειας αιολικού δυναμικού της Σάμου.

**Γράφημα 9.4** - Ημερήσιος μέσος όρος ηλιακού δυναμικού της Σάμου.

**Γράφημα 9.5** - Ετήσια καμπύλη διάρκειας ηλιακού δυναμικού της Σάμου.

## **Κεφάλαιο 10**

**Γράφημα 10.1** - Ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά πηγή ενέργειας.

**Γράφημα 10.2** - Καμπύλες φορτίου (α) 4<sup>ης</sup> ημέρας και (β) 206<sup>ης</sup> ημέρας του έτους.

**Γράφημα 10.3** - Ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά πηγή ενέργειας (ΥΒΣ 3,5 MW).

**Γράφημα 10.4** - Καμπύλες φορτίου (α) 4<sup>ης</sup> ημέρας (Peak Shaving) και (b) 206<sup>ης</sup> ημέρας (Peak shaving + Valley Filling) με ΥΒΣ 3,5 MW.

**Γράφημα 10.5** - Ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά πηγή (ΥΒΣ 7,0 MW).

**Γράφημα 10.6** - Καμπύλες φορτίου (α) 4<sup>ης</sup> ημέρας (Peak Shaving) και (b) 206<sup>ης</sup> ημέρας (Peak shaving + Valley Filling) με ΥΒΣ 7,0 MW.

**Γράφημα 10.7** - Ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά πηγή (ΥΒΣ 10,5 MW).

**Γράφημα 10.8** - Καμπύλες φορτίου (α) 4<sup>ης</sup> ημέρας (Peak Shaving) και (b) 206<sup>ης</sup> ημέρας (Peak shaving + Valley Filling) με ΥΒΣ 10,5 MW.

**Γράφημα 10.9** - Οικονομικές καμπύλες σεναρίων (ΥΒΣ 3,5 MW).

**Γράφημα 10.10** - Οικονομικές καμπύλες σεναρίων (ΥΒΣ 7,0 MW).

**Γράφημα 10.11** - Οικονομικές καμπύλες σεναρίων (ΥΒΣ 10,5 MW).

### **Κεφάλαιο 3**

Πίνακας 3.1 - Κλίμακα Beaufort.

Πίνακας 3.2 - Ταξινόμηση μεγεθών ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα.

### **Κεφάλαιο 4**

Πίνακας 4.1 - Κατηγορία ΥΒΣ ανάλογα με την εγκατεστημένη του ισχύ.

Πίνακας 4.2 - Κατηγορία ΥΒΣ ανάλογα με το ύψος πτώσεως του νερού.

Πίνακας 4.3 - Εξέλιξη υδροηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το έτος 2040 .

Πίνακας 4.4 - Υδροηλεκτρική ενέργεια στην Ευρώπη ανά χώρα.

Πίνακας 4.5 - Υδροηλεκτρική ενέργεια παγκοσμίως το 2018.

### **Κεφάλαιο 6**

Πίνακας 6.1 - Κατηγοριοποίηση ΥΒΣ ανάλογα με την ζήτηση ισχύος.

### **Κεφάλαιο 9**

Πίνακας 9.1 - Τεχνικά χαρακτηριστικά ΑΣΠ της Σάμου.

Πίνακας 9.2 - Ενεργειακές παράμετροι.

Πίνακας 9.3 - Οικονομικές παράμετροι.

### **Κεφάλαιο 10**

Πίνακας 10.1 - Οικονομικά στοιχεία 1<sup>ο</sup> σεναρίου για ΥΒΣ 3,5 MW.

Πίνακας 10.2 - Οικονομικά στοιχεία 2<sup>ο</sup> σεναρίου για ΥΒΣ 3,5 MW.

Πίνακας 10.3 - Οικονομικά στοιχεία 1<sup>ο</sup> σεναρίου για ΥΒΣ 7,0 MW.

Πίνακας 10.4 - Οικονομικά στοιχεία 2<sup>ο</sup> σεναρίου για ΥΒΣ 7,0 MW.

Πίνακας 10.5 - Οικονομικά στοιχεία 1<sup>ο</sup> σεναρίου για ΥΒΣ 10,5 MW.

Πίνακας 10.6 - Οικονομικά στοιχεία 2<sup>ο</sup> σεναρίου για ΥΒΣ 10,5 MW.

### **Κεφάλαιο 11**

Πίνακας 11.1 - Αποτελέσματα πριν και μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ.

Πίνακας 11.2 - Αποτελέσματα ΥΒΣ διαφόρων ονομαστικών ισχύων.

Πίνακας 11.3 - Οικονομικά αποτελέσματα διαφορετικών ΥΒΣ και σεναρίων.

### **Κεφάλαιο 3**

Εικόνα 3.1 - Ανεμολόγιο.

Εικόνα 3.2 - α) Ανεμοδείκτης. β) Ανεμόμετρο.

Εικόνα 3.3 - Ανεμοδείκτης και ανεμόμετρο σε συνδυασμό.

Εικόνα 3.4 - Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα. α) Μονοπτέρυγη. β) Διπτέρυγη.  
γ) Τριπτέρυγη. δ) Πολυπτέρυγη.

Εικόνα 3.5 - Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα.

Εικόνα 3.6 - Διάταξη και βασικά μέρη μια Α/Γ τύπου “Ελικας”.

Εικόνα 3.7 - Ανεμογεννήτριες τύπου: α) Darrieus και β) Savonius.

Εικόνα 3.8 - Ανεμογεννήτρια «Darrieus», κατακόρυφου άξονα.

Εικόνα 3.9 - Διάταξη Α/Γ σε αιολικό πάρκο.

Εικόνα 3.10 - Χωρική κατανομή εγκατεστημένης ισχύος αιολικών στην Ελλάδα.

### **Κεφάλαιο 4**

Εικόνα 4.1 - Υδρολογικός κύκλος.

Εικόνα 4.2 - Γενική διάταξη υδροηλεκτρικού σταθμού φράγματος.

Εικόνα 4.3 - Υδροστρόβιλος δράσης (Pelton).

Εικόνα 4.4 - Υδροστρόβιλος αντίδρασης (Francis).

### **Κεφάλαιο 6**

Εικόνα 6.1 - Βασική δομή και λειτουργία ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού.

### **Κεφάλαιο 8**

Εικόνα 8.1 - Δομή υβριδικού σταθμού.

---

## Κατάλογος ακρωνυμίων

---

**ΟΠΕΚ** = Οργανισμός Εξαγωγών Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών.

**ΕΤΠΠ** = Εκατομμύρια Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου.

**ΑΠΕ** = Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

**ΥΗΕ** = Υδροηλεκτρική Ενέργεια.

**ΗΠΑ** = Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.

**ΥΠΕΚΑ** = Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

**ΑΤΚΕ** = Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας.

**ΕΕ** = Ευρωπαϊκή Ένωση.

**Α/Γ** = Ανεμογεννήτρια.

**ΥΗΣ** = Υδροηλεκτρικός Σταθμός.

**ΜΥΗΣ** = Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός.

**ΣΠΗΕ** = Σταθμός Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.

**ΜΔΝ** = Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.

**ΕΠΟ** = Έκθεση Περιβαλλοντικών Όρων.

**ΥΒΣ** = Υβριδικός Σταθμός.

**ΑΣΠ** = Αυτόνομο Σύστημα Παραγωγής.

**ΚΠΑ** = Καθαρή Παρούσα Αξία.

**ΕΒΑ** = Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης.

**ΣΗΕ** = Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Καθώς η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων προκαλεί όλο και περισσότερα προβλήματα, η στροφή προς φιλικότερες και βιώσιμες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας, καθίσταται πιο αναγκαία από ποτέ άλλοτε. Τον ρόλο αυτό τις τελευταίες δεκαετίες τις έχουν αναλάβει οι τεχνολογίες, οι οποίες βασίζονται στις λεγόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Πέραν των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν οι ΑΠΕ, εμφανίζουν ένα σημαντικό μειονέκτημα, αυτό της διακύμανσης στην διαθεσιμότητά τους. Η ανάγκη για εύρεση λύσης σε αυτό πρόβλημα, οδήγησε στην αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας προερχόμενη από ΑΠΕ, ώστε να είναι διαθέσιμη όποτε αυτή απαιτείται. Μια από τις πιο ώριμες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα είναι το λεγόμενο σύστημα αντλησιοταμίευσης. Ο ρόλος, το οποίο αυτό αναλαμβάνει είναι της αποθήκευσης της ενέργειας από ΑΠΕ, έτσι ώστε η ενέργεια αυτή να διοχετεύεται στο δίκτυο ενέργειας όποτε επιθυμείται.

Στην Ελλάδα υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός νησιών τα οποία δεν είναι διασυνδεδεμένα με το εθνικό σύστημα ενέργειας, εκ των οποίων πολλά είναι αυτά που παρουσιάζουν αρκετά μεγάλο αιολικό και ηλιακό δυναμικό (μορφές ΑΠΕ). Ένα εξ αυτών είναι και η Σάμος. Στην παρούσα εργασία προσομοιάζεται μια εγκατάσταση συστήματος αντλησιοταμίευσης και αιολικού πάρκου (ΥΒΣ) στο νησί της Σάμου. Εκμεταλλεύοντας το αιολικό δυναμικό και εγκαθιστώντας το εν λόγω σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα, η λειτουργία του ενεργειακού συστήματος, καθώς και η οικονομία της Σάμου αναμένεται να βελτιωθεί σημαντικά.

Στην παρούσα εργασία τα πρώτα 7 κεφάλαια αποτελούν το θεωρητικό υπόβαθρο, το οποίο είναι απαραίτητο για την κατανόηση. Αρχικά, σε αυτά γίνεται αναφορά στον βασικό προβληματισμό, έπειτα γίνεται αναφορά στις ΑΠΕ και στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, και τέλος στους νόμους τους οποίους τα πλαισιώνουν. Στα κεφάλαια 8 και 9 περιγράφεται το υπό μελέτη σύστημα και αναφέρονται τα απαιτούμενα δεδομένα και υπολογισμοί. Ενώ, στο κεφάλαιο 10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Τέλος, τα κεφάλαια 11 και 12 αφορούν τα συμπεράσματα.

## Κεφάλαιο 1

### *Το ενεργειακό πρόβλημα* →

---

Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά γίνεται μια γενική περιγραφή για την ενέργεια και πως αυτή συνδέεται με τον άνθρωπο, πως συνέβαλε στην εξέλιξή του και πως οδηγήθηκε η ανθρωπότητα στο ενεργειακό πρόβλημα. Στη συνέχεια, γίνεται μια αναλυτικότερη περιγραφή όσον αφορά την εποχή συνειδητοποίησης του ενεργειακού προβλήματος, τους κύριους λόγους που αυτό δημιουργήθηκε και τις επιπτώσεις που έχει στο περιβάλλον και όχι μόνο. Αργότερα, προτού αναλυθεί η τωρινή και η μελλοντική ενεργειακή κατάσταση παγκοσμίως, γίνεται μια αναφορά ως προς την επάρκεια των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων. Τέλος, προτείνονται λύσεις και τρόποι αντιμετώπισης του ενεργειακού προβλήματος.

### 1.1 Ενέργεια

Ο άνθρωπος συνδέθηκε με την ενέργεια από τότε που πρωτοεμφανίστηκε πάνω στην γη. Αρχικά, όπως και οι υπόλοιποι οργανισμοί του πλανήτη, μέσω της τροφής. Η ενέργεια αποθηκευόταν στο σώμα του και την χρησιμοποιούσε για να κινηθεί, να κυνηγήσει και να αντιμετωπίσει τους εχθρούς του. Αργότερα, μέσω της μυϊκής δύναμης άλλων ζωντανών οργανισμών χρησιμοποιούσε αυτήν την ενέργεια, είτε για την μετακίνησή του, είτε για την προστασία του. Έπειτα, μέσω της φλόγας και της ξυλείας, όπου χρησιμοποιούσε την ενέργειά τους για την θέρμανσή του, για το ψήσιμο της τροφής του και την παραγωγή εργαλείων. Αλλά και μέσω της αξιοποίησης της ηλιακής θερμότητας, της δύναμης του ανέμου, του άνθρακα και του πετρελαίου, κατόρθωσε να αυξήσει σημαντικά τις δυνατότητες του και τις πιθανότητες επιβίωσής του στον πλανήτη. Η εκμετάλλευση της ενέργειας, που υπήρχε άφθονη και σε διάφορες μορφές στο φυσικό περιβάλλον (ξυλεία, άνθρακας, πετρέλαιο, αιολική, ηλιακή), αποτέλεσαν καθοριστικό παράγοντα για την μετέπειτα τεχνολογική και όχι μόνο εξέλιξή του. Το ξύλο, ο άνθρακας, το πετρέλαιο, ο ήλιος, ο άνεμος, αποτέλεσαν πηγές ενέργειας για τον άνθρωπο από τις οποίες επωφελήθηκε. Ως πηγή ενέργειας ορίζεται κάθε ύλη, σύστημα ή διάταξη, από όπου μπορεί να ληφθεί ενέργεια για



παραγωγή θερμότητας, φωτός ή ισχύος. Οι πηγές ενέργειας διακρίνονται, ανάλογα με τον ρυθμό αναδημιουργίας τους και κατανάλωσής τους, σε:

- **Αναλώσιμες.** Πηγές ενέργειας που εξαντλούνται ή είναι πεπερασμένες ή ανανεώνονται με εξαιρετικά αργό ρυθμό. Χαρακτηριστικά παραδείγματα, που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι ο άνθρακας και το πετρέλαιο.
- **Ανανεώσιμες.** Πηγές ενέργειας που ανανεώνονται συνεχώς και ταχέως επιτρέποντας έτσι τη σταθερή και αξιόπιστη χρήση τους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα, που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι η θερμότητα του ηλίου, η δύναμη του ανέμου και η ξυλεία.

Έπειτα από όλα τα στάδια εξέλιξης που πέρασε ο άνθρωπος (δημιουργία ηλεκτρισμού, ανάπτυξη συγκοινωνιών, πυρηνική ενέργεια), φτάνει στην σημερινή εποχή όπου συντελείται ένα τεχνολογικό θαύμα. Όπου, η ενέργεια πλέον αποτελεί ένα απαραίτητο αγαθό για τις καθημερινές του δραστηριότητες, για την οικονομία αλλά και για την τεχνολογία. Η κατανάλωση ενέργειας κατά κεφαλή αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο της ποιότητας του βιοτικού επιπέδου μιας χώρας, καθώς και τα δύο αυτά μεγέθη σχετίζονται σχεδόν γραμμικά μεταξύ τους. Η προσπάθεια όμως του σύγχρονου ανθρώπου για συνεχή άνοδο του βιοτικού του επιπέδου σε συνδυασμό με την ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γης, δημιούργησε ένα μεγάλο ενεργειακό πρόβλημα, το οποίο σήμερα καλείται να αντιμετωπίσει.

## 1.2 Το ενεργειακό πρόβλημα

Σε όλες τις χώρες, οι ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται από αναλώσιμες πηγές ενέργειας, όπως είναι ο άνθρακας, το πετρέλαιο, η βενζίνη. Ωστόσο, η κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται από τις συγκεκριμένες πηγές ενέργειας και η συνεχόμενη αύξηση της ζήτησης, προκαλούν δύο σημαντικά προβλήματα:

- Ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτων.
- Μείωση των αποθεμάτων των αναλώσιμων πηγών ενέργειας.

Τις τελευταίες δεκαετίες συντελείται μια αλόγιστη σπατάλη και κακή χρήση των ενεργειακών αποθεμάτων του πλανήτη, η οποία εν τέλει οδήγησε στα δύο σημαντικά

προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι κυριότερες αιτίες κατασπατάλησης της ενέργειας είναι οι εξής:

- Συνεχής αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης ενέργειας.
- Ανομοιομορφία στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας.
- Αύξηση του πληθυσμού της γης.
- Απώλειες συστημάτων παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας.
- Μη ορθολογική χρήση ενέργειας.
- Αδιαφορία και σπατάλη ενέργειας.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω και με μια σειρά σημαντικών γεγονότων που συντελέστηκαν προ δεκαετιών, τα οποία αναφέρονται παρακάτω, η ανθρωπότητα οδηγήθηκε στην συνειδητοποίηση της ύπαρξης του ενεργειακού προβλήματος.

Το ενεργειακό πρόβλημα πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1950 με την μορφή φιλοσοφικού στοχασμού. Το 1950 τα εκτιμώμενα τότε εκμεταλλεύσιμα ενεργειακά αποθέματα είχαν επάρκεια 20 χρόνων, ωστόσο τα πράγματα όσον αφορά το μέλλον της ενέργειας ήταν ήρεμα. Με την εμφάνιση όμως της ενεργειακής κρίσης το 1973 άρχισε και η πραγματική συνειδητοποίηση του ενεργειακού προβλήματος. Η πραγματική συνειδητοποίηση του ενεργειακού προβλήματος ήταν αποτέλεσμα:

- Του περιορισμού άντλησης και συνεπώς των ποσοτήτων διάθεσης αργού πετρελαίου.
- Του μονομερή καθορισμού τιμών από τον Οργανισμό Εξαγωγών Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών (ΟΠΕΚ).
- Της επακόλουθης αύξησης των τιμών.
- Της απόφασης του ΟΠΕΚ για εθνικοποιήσεις κοιτασμάτων αργού πετρελαίου.

Κάποια χρόνια αργότερα, μετά την ενεργειακή κρίση, ένα ακόμη συνταραχτικό γεγονός συνέβη με αποτέλεσμα την περαιτέρω όξυνση του ενεργειακού προβλήματος. Πιο συγκεκριμένα στα μέσα του 1989, πρόσκρουση βυτιοφόρου σε ύφαλο στην περιοχή της Αλάσκας είχε σαν αποτέλεσμα την διαρροή χιλιάδων τόνων αργού πετρελαίου σε μια περιοχή με έντονη βιοποικιλότητα. Το γεγονός αυτό προκάλεσε

τεράστια ρύπανση και θανάτωση πολλών ζωντανών οργανισμών, αλλά και έντονο προβληματισμό για το περιβάλλον. Οι παράγοντες όμως που τροφοδοτούν το ενεργειακό πρόβλημα μέχρι και σήμερα είναι:

- Η ποσότητα των αναλώσιμων ενεργειακών πηγών που με την πάροδο των χρόνων θα εξαντληθούν.
- Η συνεχής αύξηση των απαιτήσεων για κατανάλωση ενέργειας.
- Η αβεβαιότητα επάρκειας και σταθερότητας της ενεργειακής τροφοδοσίας.
- Η αυξομείωση των τιμών του αργού πετρελαίου.
- Η ρύπανση της ατμόσφαιρας και των θαλάσσιων υδάτων.

### 1.3 Επιπτώσεις στο περιβάλλον →

Την σημερινή εποχή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών (μεταφορές, θέρμανση, ηλεκτρικό ρεύμα) παρέχεται από τις αναλώσιμες πηγές ενέργειας και πιο συγκεκριμένα από την χρήση καύσιμων υλών προερχόμενων από τη γη, των λεγόμενων “Ορυκτών Καυσίμων”. Τα πιο διαδεδομένα ορυκτά καύσιμα είναι ο άνθρακας, το αργό πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Ωστόσο, με την εκτεταμένη χρήση των ορυκτών καυσίμων προκαλούνται σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Σοβαρές επιπτώσεις προκαλούν σε όλα τα στάδια, από την εξόρυξή τους μέχρι και τελικώς την κάυση τους.

Για την εξόρυξη του άνθρακα συνήθως δεσμεύεται μια τεράστια έκταση για την δημιουργία ενός ορυχείου. Η έκταση αυτή υπόκειται σε εντατική και συστηματική εκμετάλλευση με τελικό αποτέλεσμα την υποβάθμισή της. Αντίστοιχα, για την εξόρυξη του αργού πετρελαίου ή φυσικού αερίου συνήθως πραγματοποιείται μια γεώτρηση όπου τελικώς αντλείται στην επιφάνεια με αντίστοιχα αποτελέσματα όπως προηγουμένως. Μετά την εξόρυξη ακολουθεί η μεταφορά τους είτε σε μονάδες επεξεργασίας, είτε προς κατανάλωση.

Η μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις συνήθως γίνεται μέσω θαλάσσης με χρήση δεξαμενόπλοιων ή οδικώς με χρήση φορτηγών. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει μεγάλος κίνδυνος διαρροής ή ατυχήματος, με δυσμενείς επιπτώσεις κυρίως στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Η επεξεργασία του άνθρακα, του αργού πετρελαίου και του φυσικού αερίου με σκοπό την μετατροπή τους σε καύσιμο (πετρέλαιο, βενζίνη, κηροζίνη, κ.α.), ονομάζεται εκχύλιση. Κατά την εκχύλιση, το νερό μολύνεται από απόβλητα χημικών ουσιών, ο αέρας ρυπαίνεται από ρύπους που εκλύονται και η έκταση γύρω από την μονάδα εκχύλισης υποβαθμίζεται λόγω των επικίνδυνων αποβλήτων που απορρίπτονται.

Η καύση των ορυκτών καυσίμων επιδρά αρνητικά κυρίως στην ατμόσφαιρα απελευθερώνοντας διάφορων ειδών ρύπους (CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, HC<sub>s</sub>), οι οποίοι συντελούν:

- Στο Φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Στην όξινη βροχή.
- Στη μείωση της στιβάδας του όζοντος.
- Στο φωτοχημικό νέφος.
- Στην θερμική ρύπανση.

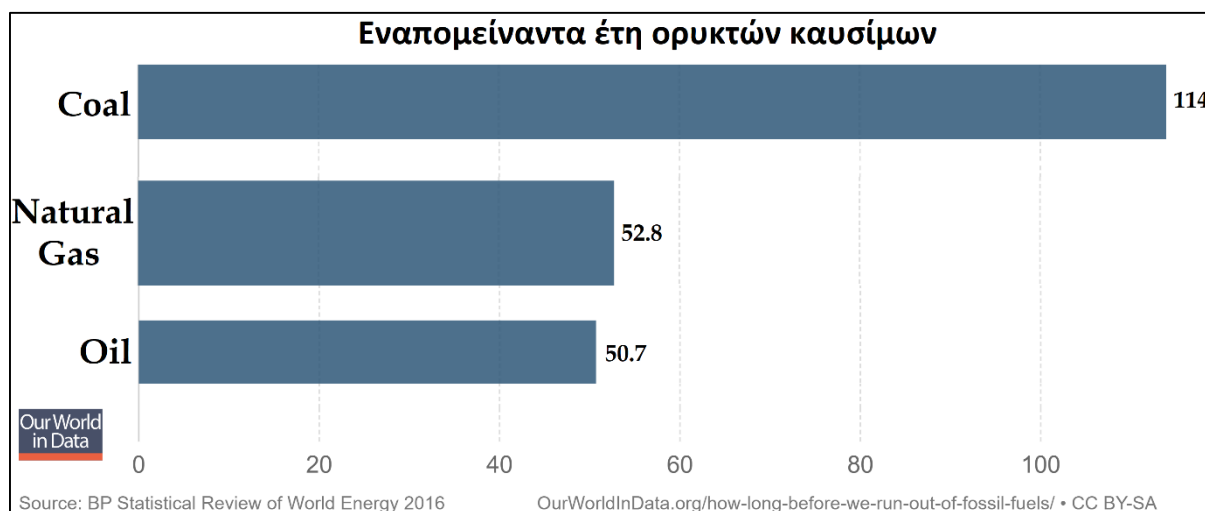
Εξ αυτών την μεγαλύτερη επικινδυνότητα εμφανίζει το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης και την κλιματική αλλαγή. Συγκεκριμένα, οι ρύποι που παράγονται από την καύση ορυκτών καυσίμων απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την γη, η οποία θα κατευθυνόταν προς το διάστημα, και την επανεκπέμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις με αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης, των λιώσιμο των πάγων κ.ο.κ..

#### 1.4 Επάρκεια των αποθεμάτων

Τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, αργό πετρέλαιο και φυσικό αέριο) είναι αναλώσιμοι ενεργειακοί πόροι ή αλλιώς μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που σημαίνει ότι καταναλώνοντάς τα για πολύ καιρό ακόμα θα έχει ως αποτέλεσμα εν τέλει να εξαντληθούν. Ανησυχίες γύρω από αυτό το θέμα υπάρχουν εδώ και δεκαετίες σε μορφή ερωτήματος, “Πότε θα ξερμείνουμε από ορυκτά καύσιμα ;”. Η εύρεση της απάντησης στο προηγούμενο ερώτημα είναι αρκετά πολύπλοκη έως και ακατόρθωτη, έτσι το μόνο που μπορεί να γίνει είναι μια πρόβλεψη, η οποία και αυτή θα αποκλίνει

από την πραγματικότητα. Η πολυπλοκότητα έγκειται στον υπολογισμό του ποσού των αποθεμάτων που θα ανακαλυφθεί στο μέλλον και της τεχνολογίας που θα υπάρχει στο μέλλον για να εξορύξει αυτά τα αποθέματα.

Στο γράφημα 1.1, παρουσιάζονται τα προβλεπόμενα εναπομείναντα έτη ως ότου ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και το αργό πετρέλαιο εξαντληθούν.



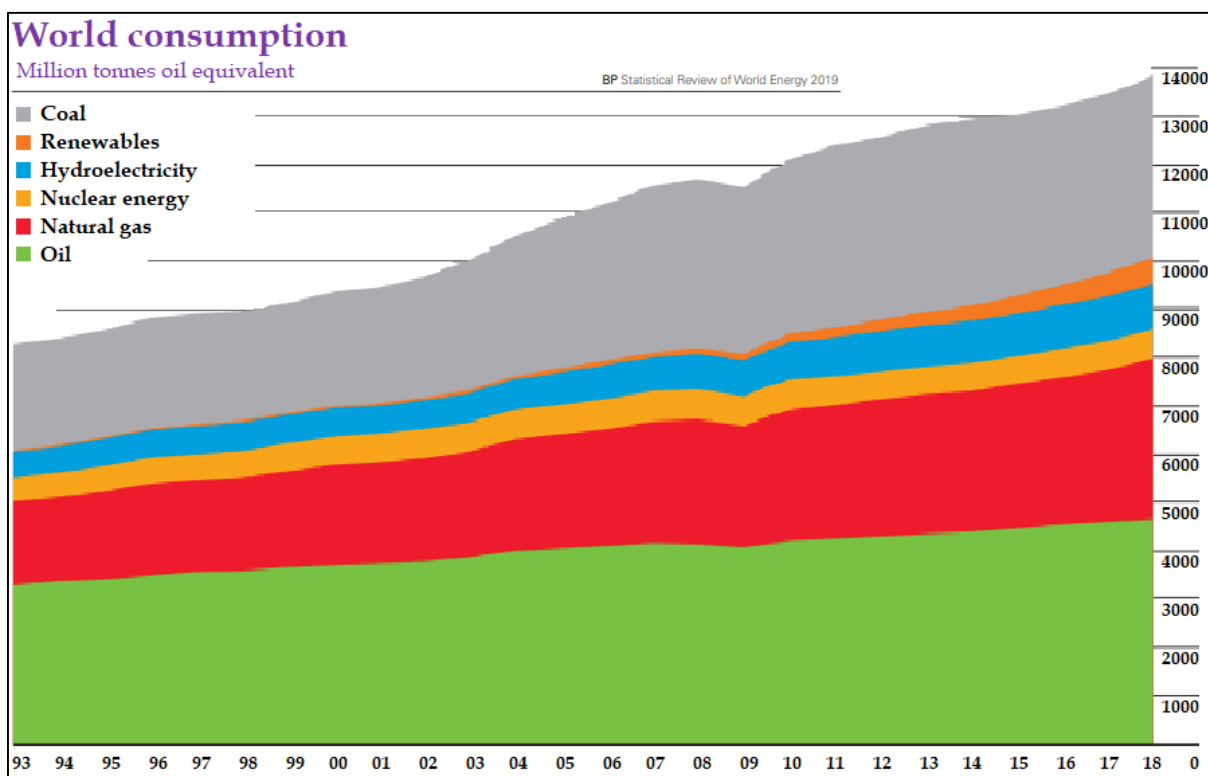
↑↑ Γράφημα 1.1: Εναπομείναντα έτη ανά καύσιμο. ↑↑

Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με την χρήση δεδομένων από ήδη γνωστά αποθέματα ορυκτών καυσίμων και επίπεδα ετήσιας παραγωγής που δημοσίευσε ο ΟΠΕΚ (ΟΡΕΚ) τον Ιούνιο του 2016. Με βάση το γράφημα παρατηρείται ότι ο άνθρακας θα εξαντληθεί σε 114 έτη, ενώ το φυσικό αέριο και το αργό πετρέλαιο σε περίπου 50 έτη από τώρα. Ωστόσο, οι τιμές αυτές μπορούν να μεταβληθούν, ανάλογα με την εύρεση νέων άγνωστων για την ώρα αποθεμάτων και με τις αλλαγές της ετήσιας παραγωγής.

## 1.5 Τωρινή ενεργειακή κατάσταση ↗

Κάθε μέρα, το ανθρώπινο είδος καταναλώνει περίπου 38 Εκατομμύρια Τόνους Ισοδύναμου Πετρελαίου (ΕΤΠ). Με τον παγκόσμιο πληθυσμό και την αστικοποίηση συνεχώς να αυξάνονται, η δίψα της ανθρωπότητας για ενέργεια έφτασε σε άνευ προηγουμένου επίπεδα. Παραπάνω από το μισό της ενέργειας που καταναλώνεται προέρχεται από ορυκτά καύσιμα που εξάγονται από τον φλοιό της γης.

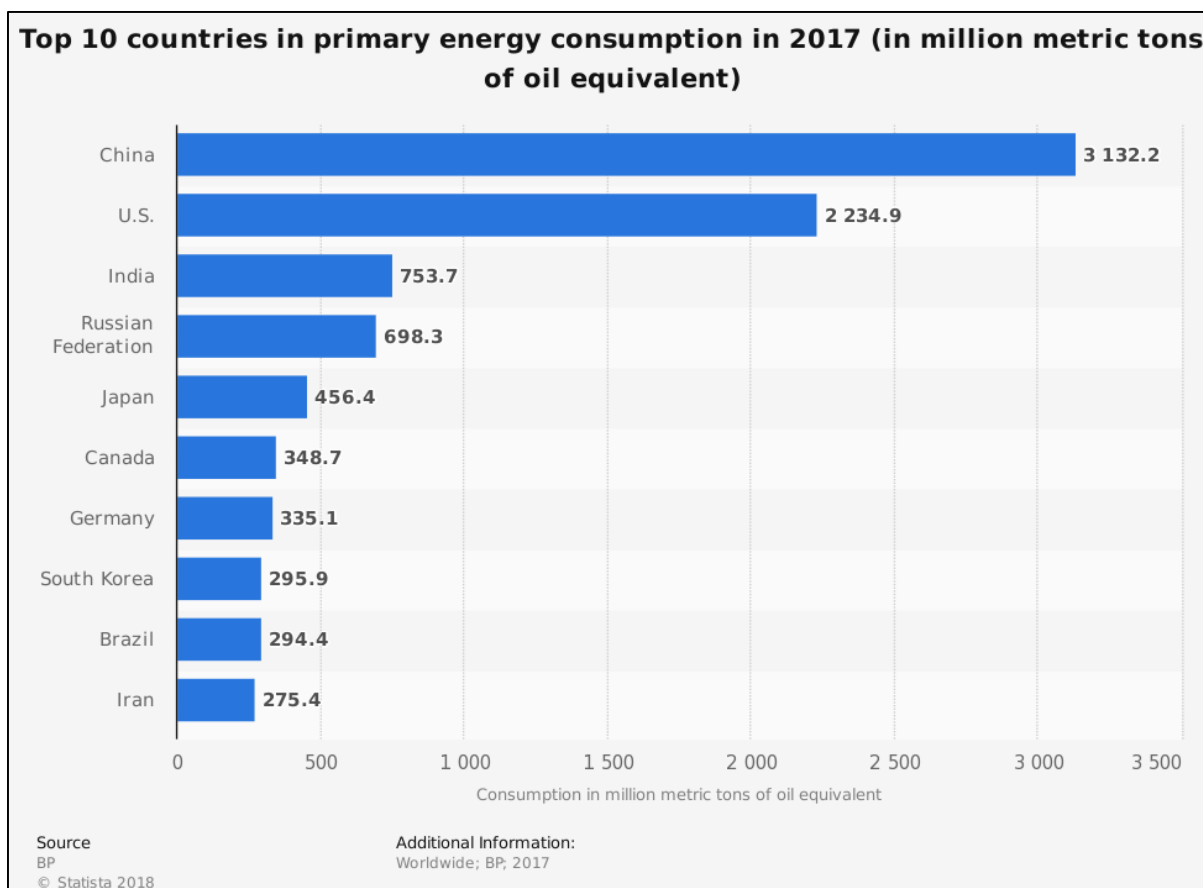
Στο γράφημα 1.2, παρουσιάζεται η εξέλιξη της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης ανά πηγή ενέργειας από το 1993 μέχρι και το 2018. Οι πηγές ενέργειας που περιλαμβάνονται στο γράφημα είναι ο άνθρακας, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), η υδροηλεκτρική ενέργειας (ΥΗΕ), η πυρηνική ενέργεια, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο.



↑↑ Γράφημα 1.2: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση ανά τύπο καυσίμου. ↑↑

Με βάση τα δεδομένα του γραφήματος η συνολική ενεργειακή κατανάλωση για το έτος 2018 ανέρχεται σε 13865 ΕΤΙΠ, αυξημένο κατά 2,9% σε σχέση με το έτος 2017. Αυτή η αύξηση οφείλεται κυρίως λόγω της Κίνας, των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (ΗΠΑ) και της Ινδίας, οι οποίες ισοδυναμούν με τα 2/3 της συνολικής αύξησης που συντελέστηκε το 2018 (Spencer Dale, 2018).

Στο γράφημα 1.3, απεικονίζονται οι πρώτες 10 χώρες όσον αφορά την ενεργειακή τους κατανάλωση, σε ΕΤΙΠ ανά χώρα.



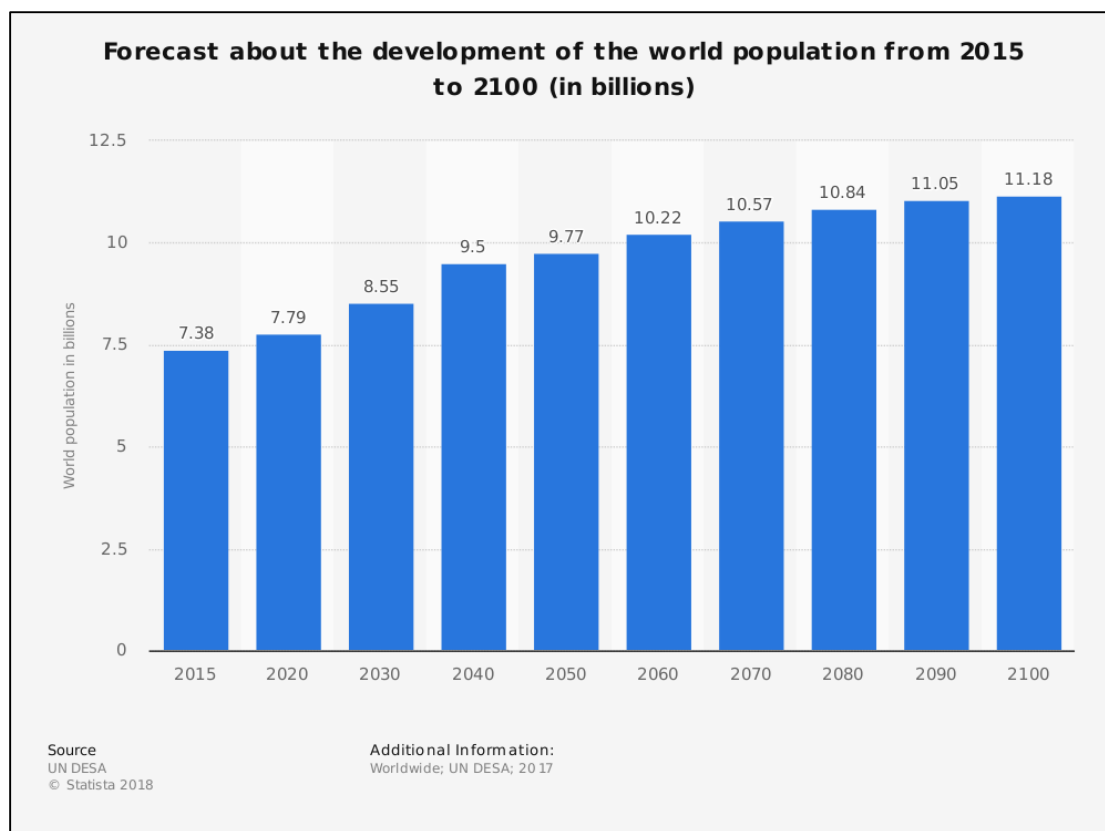
↑↑ **Γράφημα 1.3:** Ενεργειακή κατανάλωση σε ΕΤΙΠ ανά χώρα. ↑↑

Παρατηρείται ότι, οι μεγαλύτεροι καταναλωτές είναι η Κίνα στην 1η θέση και ακολουθούν οι Ηνωμένες Πολιτείες στην 2<sup>η</sup> και η Ινδία στην 3<sup>η</sup> θέση. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συνολική ενέργεια που καταναλώνουν οι δύο πρώτες χώρες, ισοδυναμεί με την συνολική ενέργεια που καταναλώνουν οι επόμενες 18 κατά σειρά χώρες. Το γεγονός αυτό καθιστά αυτές τις δύο χώρες, από την μια υπεύθυνες κατά ένα μεγάλο ποσοστό για την περιβαλλοντική κατάσταση που επικρατεί, αλλά από την άλλη χώρες κλειδιά για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών κινδύνων και την διατήρηση του περιβάλλοντος καθαρού.

## 1.6 Μελλοντική ενεργειακή κατάσταση →

Η αύξηση του πληθυσμού της γης, η αύξηση του βιοτικού επιπέδου και η αύξηση των ηλεκτρικών συσκευών, έχουν άμεση σύνδεση με την ενεργειακή ζήτηση. Όσο αυξάνεται ο αριθμός του πληθυσμού της γης τόσο αυξάνεται και η ενεργειακή

ζήτηση. Στο γράφημα 1.4, παρουσιάζεται μια πρόβλεψη σχετικά με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μεταξύ 2015 και 2100, σε δισεκατομμύρια ανά έτος.



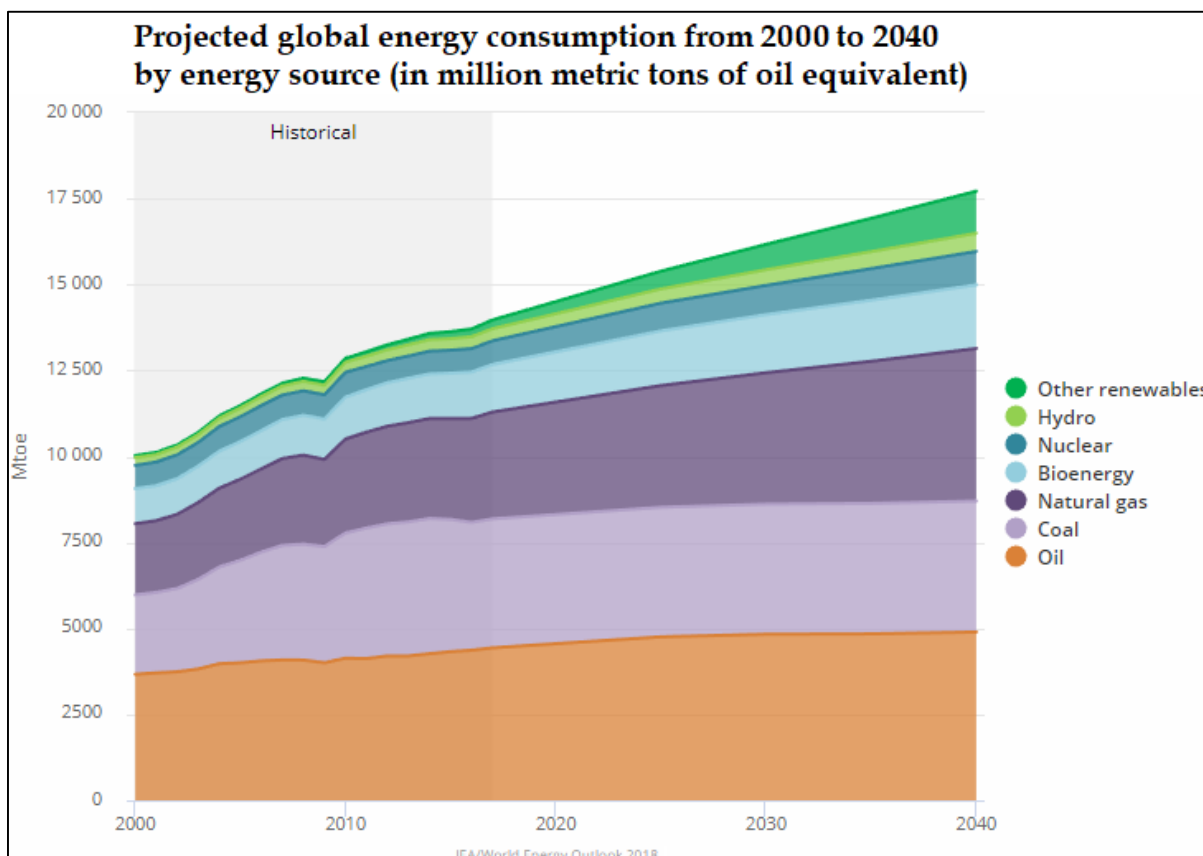
↑↑ **Γράφημα 1.4:** Παγκόσμιος πληθυσμός σε δισεκατομμύρια. ↑↑

Με βάση το γράφημα παρατηρείται ότι πρόκειται να υπάρξει μια αύξηση στον παγκόσμιο πληθυσμό της τάξης του 50% (3,5 δισεκατομμύρια) μέχρι το 2100. Προβλέπεται ότι η κατανάλωση ενέργειας θα αυξηθεί δραματικά μέσα στις επόμενες δεκαετίες σε ολόκληρο τον κόσμο, με ραγδαίους ρυθμούς στις χώρες κυρίως της Ασίας, λόγω των ολοένα αυξανόμενων ρυθμών αύξησης του πληθυσμού της γης. Μια πρόβλεψη για την ενεργειακή κατάσταση στο μέλλον είναι πολύ σημαντική, διότι μέσω αυτής εξάγονται απαραίτητες πληροφορίες που χρησιμοποιούνται για την πρόληψη και αποφυγή επικίνδυνων γεγονότων και τον σχεδιασμό νέων τεχνολογιών, με απώτερο σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος και του ανθρώπου.

Στο γράφημα 1.5, παρουσιάζεται η ιστορική (μέχρι το 2017) και η προβλεπόμενη παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας μεταξύ 2017 και 2040, σε ΕΤΙΠ ανά πηγή ενέργειας. Στις πηγές ενέργειας περιλαμβάνονται, η ΥΗΕ, η πυρηνική ενέργεια,



οι ΑΠΕ (ηλιακή, αιολική, γεωθερμική κ.α.), το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο με τα παράγωγά του, ο άνθρακας και η βιομάζα. Οι στήλες από το 2017 και μετά αποτελούν προβλέψεις, ενώ μέχρι και το 2017 είναι πραγματικά και ιστορικά δεδομένα.



↑↑ Γράφημα 1.5: Ιστορική και προβλεπόμενη κατανάλωση ενέργειας σε ΕΤΙΠ ανά πηγή. ↑↑

Με βάση τα δεδομένα του γραφήματος παρατηρείται ότι πρόκειται να υπάρξει μια αύξηση στην παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση της τάξης του 25% από το 2017 μέχρι το 2040. Επίσης, όσον αφορά τα ορυκτά καύσιμα, η κατανάλωση πετρελαίου και άνθρακα θα παραμείνει σχετικά σταθερή σε αντίθεση με του φυσικού αερίου που θα γνωρίσει αύξηση μέχρι το 2040.

## 1.7 Τρόποι αντιμετώπισης ↗

Το ενεργειακό πρόβλημα οφείλεται στην αποκλειστική εξάρτηση του ενεργειακού συστήματος από τα ορυκτά καύσιμα, έτσι είναι φανερό και έχει γίνει ευρύτερα αποδεκτό ότι για την επίλυσή του είναι απαραίτητη η υλοποίηση δύο στρατηγικών:

- Στρατηγική ορθολογικής διαχείρισης γνωστής και ως στρατηγική εξοικονόμησης ενέργειας.
- Στρατηγική υποκατάστασης των αναλώσιμων ενεργειακών πηγών με ΑΠΕ.

Η στρατηγική ορθολογικής διαχείρισης ή στρατηγική εξοικονόμησης ενέργειας που διασφαλίζει χαμηλή κατανάλωση ενεργειακών πόρων, δεν δημιουργεί συνθήκες ενεργειακής στέρησης στην κοινωνία, αφού βασίζεται απλά στην αποδοτικότερη χρήση της. Η αύξηση της αποδοτικότητας σε όλες τις φάσεις της ενεργειακής ροής έχει ως συνέπεια την μείωση της αλόγιστης σπατάλης των ενεργειακών πόρων.

Η στρατηγική υποκατάστασης των αναλώσιμων ενεργειακών πηγών με ΑΠΕ δεν διαφέρει από την προηγούμενη στρατηγική, αφού και σε αυτή την περίπτωση επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της αισθητής μείωσης της κατανάλωσης των μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων. Όσον αφορά τις επιπτώσεις των ΑΠΕ στο περιβάλλον, αυτές είναι ελάχιστες και θεωρούνται αμελητέες. Το επόμενο κεφάλαιο θα αφιερωθεί στις ΑΠΕ, όπου και θα περιγραφούν τα σημαντικότερα σημεία αυτών.

## Κεφάλαιο 2

### *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας* ↗

---

Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά γίνεται μια περιγραφή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), στις μορφές τις οποίες συναντιόνται στη φύση, καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τα οποία αυτές παρουσιάζουν. Στην συνέχεια, προτού αναλυθεί η πορεία που ακολούθησαν οι ΑΠΕ παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια, γίνεται μια σύντομη περιγραφή για τις δράσεις που έχουν ληφθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.) και την Ελλάδα. Τέλος, γίνεται μια εκτενής αναφορά για την τωρινή αλλά και μελλοντική κατάσταση των ΑΠΕ.

### **2.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας** ↗

Τα ολοένα αυξανόμενα περιβαλλοντικά προβλήματα και η μείωση των αποθεμάτων των φυσικών πόρων, που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης και μεταφοράς, οδήγησαν στην διερεύνηση νέων εναλλακτικών τρόπων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, φιλικότερων προς το περιβάλλον και με μεγαλύτερα αποθέματα. Πλέον πολλές είναι οι χώρες που έχουν συνειδητοποιήσει την επείγουσα ανάγκη για παραγωγή ενέργειας με καθαρό τρόπο, χωρίς την επιβάρυνση του περιβάλλοντος αλλά και την επιτακτική ανάγκη για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος, και έχουν στραφεί στις λεγόμενες ΑΠΕ. Με τον όρο Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ή Ήπιες ή Εναλλακτικές Πηγές Ενέργειας, εννοούνται οι μορφές εκείνες της ενέργειας οι οποίες θεωρούνται ανεξάντλητες ή μη επιβαρυντικές προς το περιβάλλον ή διαφορετικές από τις συμβατικές (αναλώσιμες) πηγές ενέργειας. Προέρχονται από φυσικές διαδικασίες όπως η γεωθερμία, η θέρμανση του πλανήτη από τον ήλιο, η κίνηση των υδάτων και των ανέμων κλπ. και επηρεάζονται μόνο από τις εκάστοτε καιρικές και κλιματολογικές συνθήκες. Και για πολλούς πλέον θεωρούνται κλειδί για την επιβίωση του ανθρώπινου είδους τα επόμενα χρόνια.

## 2.2 Μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Οι ΑΠΕ συναντιούνται στην φύση σε μορφή:

- **Αιολικής ενέργειας.** Η αιολική ενέργεια αποτελεί πηγή ενέργειας η οποία προέρχεται από την κίνηση των ανέμων και αξιοποιείται, κυρίως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με την χρήση ανεμογεννητριών.
- **Ηλιακής ενέργειας.** Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί πηγή ενέργειας η οποία προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία και αξιοποιείται, κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με την χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ.
- **Γεωθερμικής ενέργειας.** Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί πηγή ενέργειας η οποία προέρχεται από τα θερμά νερά ή ατμούς που αναβλύζουν μέσα από ηφαιστειακές διόδους ή ρήγματα του υπεδάφους. Αξιοποιείται, κυρίως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με χρήση διάταξης στροβίλου-γεννήτριας και λοιπών εξαρτημάτων.
- **Ενέργειας κυμάτων.** Η ενέργεια κυμάτων αποτελεί πηγή ενέργειας η οποία προέρχεται από τα κύματα ή τις παλιρροϊκές κινήσεις και αξιοποιείται, κυρίως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με χρήση διάταξης υδροστροβίλου-γεννήτριας η οποία επιπλέει.
- **Υδραυλικής ενέργειας.** Η υδραυλική ενέργεια αποτελεί πηγή ενέργειας η οποία προέρχεται από τις υδατοπτώσεις και αξιοποιείται, κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με χρήση διάταξης υδροστροβίλου-γεννήτριας.
- **Βιομάζας.** Η βιομάζα περιλαμβάνει κυρίως τα φυτικά υπολείμματα, αλλά και τα ζωικά, τα οποία χρησιμοποιούνται ως καύσιμο για θέρμανση αλλά και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

### 2.3 Πλεονεκτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των ΑΠΕ είναι τα εξής ακόλουθα:

- Συντελούν καθοριστικά στην μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη, διότι εκπέμπουν μηδενικές έως ελάχιστες επιβλαβείς ουσίες, όπως διοξείδιο του άνθρακα κλπ..
- Διαθέτουν ανεξάντλητη παροχή ενέργειας, λόγω του ότι βρίσκονται σε αφθονία στην φύση και είναι πρακτικά ανεξάντλητες.
- Ανανεώνονται ταχέως επιτρέποντας έτσι την σταθερή και αξιόπιστη χρήση τους.
- Αποτελούν εναλλακτικό τρόπο παραγωγής ενέργειας.
- Βελτιώνουν σε μεγάλο βαθμό την δημόσια υγεία, διότι δεν μολύνουν τα ύδατα ούτε ρυπαίνουν τον αέρα.
- Δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας, διότι για την εκμετάλλευσή τους απαιτούνται ειδικές διατάξεις και χρειάζεται εργατικό δυναμικό για την κατασκευή και εγκατάστασή τους.
- Συμβάλουν στην μείωση της εξάρτησης του ανθρώπου από τις συμβατικές (αναλώσιμες) πηγές ενέργειας.
- Βοηθούν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών.
- Είναι ευέλικτες εφαρμογές, οι οποίες μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες της περιοχής/χώρας.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος.

## 2.4 Μειονεκτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Τα μειονεκτήματα της χρήσης των ΑΠΕ είναι τα εξής ακόλουθα:

- Απαιτούν μεγάλες εκτάσεις για τις εγκαταστάσεις εκμετάλλευσής τους.
- Απαιτούν υψηλό κόστος εγκατάστασης των διατάξεών τους, διότι θεωρούνται νέα τεχνολογία και δεν υπάρχουν πολλές υποδομές.
- Παρουσιάζουν διακυμάνσεις στην διαθεσιμότητά τους, λόγω του ότι εξαρτώνται αρκετά από τον καιρό και τις κλιματικές αλλαγές.
- Παράγουν λιγότερη ενέργεια σε βάθος χρόνου, λόγω των διακυμάνσεων που παρουσιάζουν στην διαθεσιμότητά τους.
- Απαιτούν κατασκευή υποδομών για την μεταφορά και αποθήκευση της ενέργειας που παράγουν, διότι το δυναμικό τους είναι διεσπαρμένο και όχι συγκεντρωμένο σε ένα μέρος.
- Παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεών εκμετάλλευσής τους, λόγω των διακυμάνσεων στην διαθεσιμότητά τους.

## 2.5 Δράσεις για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε Ελλάδα

Στις 27/10/2001 το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο εξέδωσε την οδηγία 2001/77/ΕΚ “για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας”, με την οποία προβλέπεται για την Ελλάδα ενδεικτικός στόχος συμμετοχής των ΑΠΕ, περιλαμβανομένης της υδραυλικής ενέργειας των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων, σε ποσοστό 20,1% της εγχώριας ακαθάριστης κατανάλωσης ενέργειας κατά το έτος 2010. Η συμμετοχή των ΑΠΕ το έτος 2010, σύμφωνα με τα στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ) ανερχόταν στο 12,38%, δηλαδή απόκλιση κατά 7,72% από τον προβλεπόμενο στόχο που είχε οριστεί για την χρονιά εκείνη. Ο στόχος εν τέλει επιτεύχθηκε μεταξύ του 2012-2013.

Στις 23/4/2009 το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο εξέδωσε την οδηγία 2009/28/ΕΚ “σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ”, με την οποία προβλέπεται για την Ελλάδα ενδεικτικός στόχος σε ποσοστό 18% όσον αφορά το μερίδιο ενέργειας από ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική

κατανάλωση ενέργειας κατά το έτος 2020. Η συμμετοχή των ΑΠΕ το έτος 2016, σύμφωνα με στοιχεία του ΥΠΕΚΑ ανερχόταν στο 15,23%. Επίσης, από το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο ορίστηκαν επιπλέον και οι ακόλουθοι στόχοι:

- Διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ηλεκτρισμού σε ποσοστό τουλάχιστον 40% μέχρι το 2020.
- Διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση Θέρμανσης & Ψύξης σε ποσοστό τουλάχιστον 20% μέχρι το 2020.
- Διείσδυση των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών σε ποσοστό τουλάχιστον 10% μέχρι το 2020.

Στις 14/10/2014 το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο συμφώνησε σε μια νέα στρατηγική για το κλίμα και την ενέργεια, για την περίοδο 2020-2030, με ενδεικτικό στόχο για όλη την Ευρώπη 27% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας προερχόμενη από ΑΠΕ. Έπειτα από 2 χρόνια, το 2016, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε μια αναθεώρηση της οδηγίας που αφορά την περίοδο 2020-2030, όπου και το 2018 συμφωνήθηκε η αύξηση του στόχου για όλη την Ευρώπη σε 32%. Όπως και με την οδηγία 2009/28/ΕΚ, θα πρέπει να συνταχθούν εθνικά σχέδια δράσης, από τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για την επίτευξη των στόχων, όπως επίσης, ανά 2 χρόνια θα πρέπει να συντάσσονται εκθέσεις προόδου. Τον Ιανουάριο του 2019 εκδόθηκε από το ΥΠΕΚΑ το εθνικό σχέδιο δράσης για την ενέργεια και το κλίμα, όπου παρουσιάζονται οι εθνικοί στόχοι για την Ελλάδα, όπως ορίστηκαν από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Οι στόχοι αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

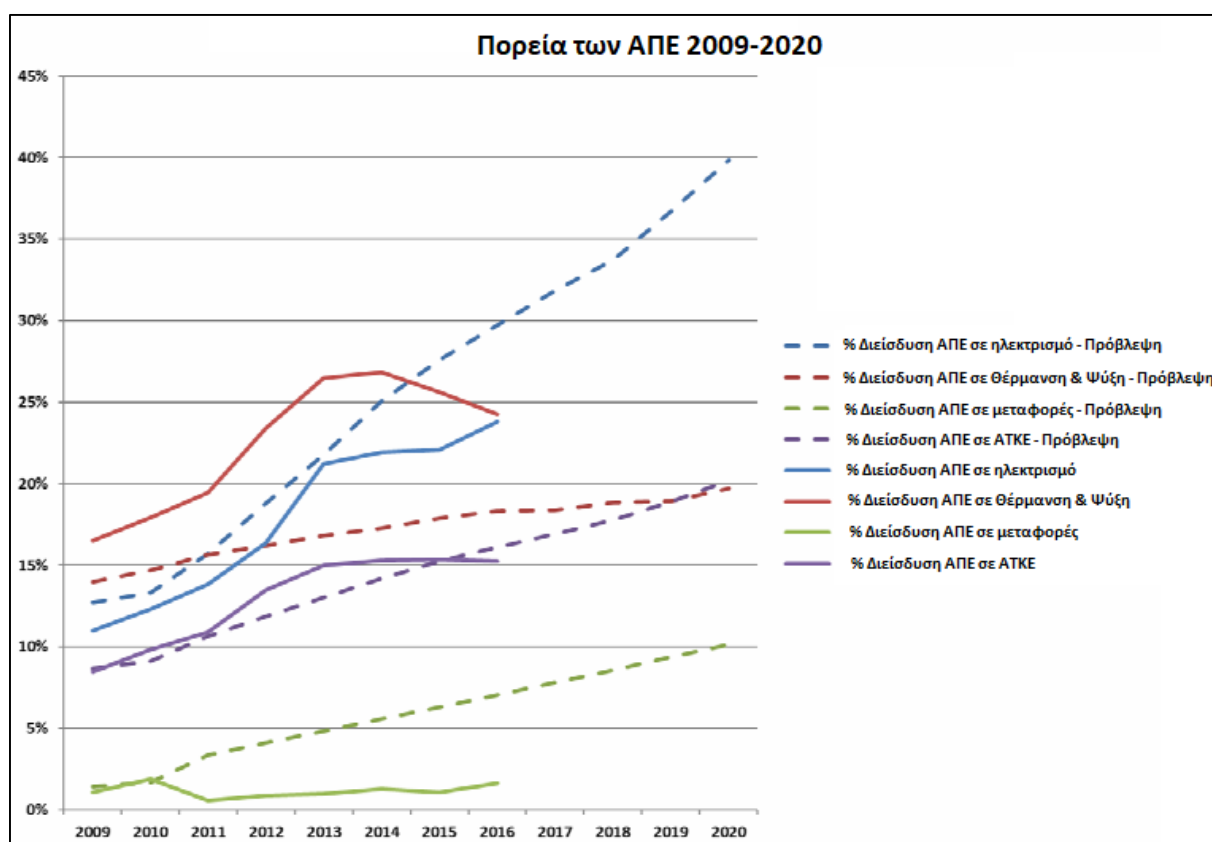
- Διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 31% μέχρι το 2030.
- Διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ηλεκτρισμού σε ποσοστό τουλάχιστον 55% μέχρι το 2030.
- Διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση Θέρμανσης & Ψύξης σε ποσοστό τουλάχιστον 30% μέχρι το 2030.
- Διείσδυση των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών σε ποσοστό τουλάχιστον 14% μέχρι το 2030.

## 2.6 Τρέχουσα κατάσταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Στην ενότητα αυτή θα περιγραφεί, με γραφήματα και επίσημα στοιχεία, η τρέχουσα κατάσταση των ΑΠΕ, αρχικά στην Ελλάδα και έπειτα στην Ευρώπη.

### 2.6.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα

Η διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας (ΑΤΚΕ) από το 2009 μέχρι το 2016 έχει περίπου διπλασιαστεί, ενώ προβλέπεται να ανέλθει στο 20% το 2020, όπως παρουσιάζεται στο γράφημα 2.1.



↑↑ **Γράφημα 2.1:** Συνολική διείσδυση των ΑΠΕ ανά τομέα τελικής κατανάλωσης. ↑↑

Με βάση το γράφημα η διείσδυση των ΑΠΕ στην ΑΤΚΕ το 2016 ανέρχεται στο 15,23%, ενώ συγκριτικά με το 2014 έχει παραμείνει σχετικά σταθερή, με αποτέλεσμα να παρεκκλίνει ελαφρώς από την αντίστοιχη καμπύλη πρόβλεψης. Ο εθνικός στόχος που έχει οριστεί από την Ε.Ε. και πρέπει να επιτευχθεί μέχρι το 2020 είναι 18%.



Η διείσδυση των ΑΠΕ σε ηλεκτρισμό αυξήθηκε αρκετά συγκριτικά με το 2014, ωστόσο εξακολουθεί να παρεκκλίνει αρκετά από την αντίστοιχη καμπύλη πρόβλεψης. Το νέο σχέδιο υποστήριξης (Ν. 4414/2016) αναμένεται να ωθήσει την εγκατάσταση σταθμών ΑΠΕ προς μια ανοδική πορεία, έως ότου επιτευχθεί ο εθνικός στόχος του 40% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ηλεκτρισμού , που έχει οριστεί από την Ε.Ε..

Η διείσδυση των ΑΠΕ σε θέρμανση και ψύξη ανέρχεται στο 24,2% το 2016 ξεπερνώντας ήδη τον εθνικό στόχο του 20% που έχει ορίσει η Ε.Ε. και προφανώς βρίσκεται εντός και παραπάνω από την καμπύλη πρόβλεψης. Ωστόσο, παρατηρείται μια πτώση της τάξεως του 10% το 2016 σε σύγκριση με το 2014, αυτό κυρίως οφείλεται στην μείωση της βιομάζας, η οποία μειώθηκε κατά 8% το 2016 σε σχέση με το 2014. Τέλος, όσον αφορά την διείσδυση των ΑΠΕ σε μεταφορές, παρατηρούμε μια τεράστια απόκλιση από την αντίστοιχη καμπύλη πρόβλεψης και τον εθνικό στόχο του 10%.

### 2.6.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ευρώπη

Όσον αφορά τις ΑΠΕ στην Ευρώπη, τα πιο πρόσφατα στοιχεία δείχνουν τα εξής για το 2016:

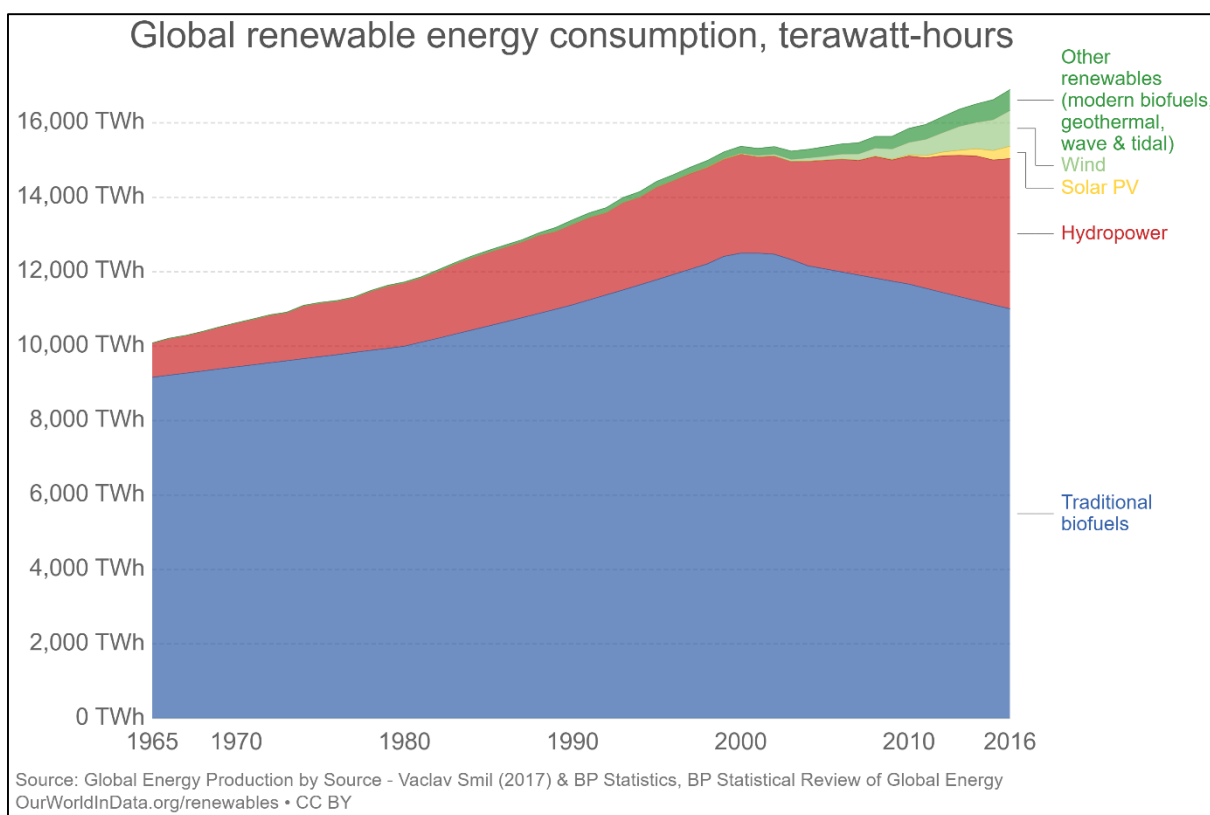
- Η διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται στο 17%.
- Η διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ηλεκτρισμού ανέρχεται στο 42%.
- Η διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση Θέρμανσης & Ψύξης ανέρχεται στο 51%.
- Η διείσδυση των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών ανέρχεται στο 7%.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, η διείσδυση των ΑΠΕ στον τομέα της Θέρμανσης & Ψύξης κυριαρχεί έναντι των υπολοίπων. Ακολουθούν οι ΑΠΕ στον τομέα του ηλεκτρικού ρεύματος και οι ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών. Αξίζει να σημειωθεί ότι στον τομέα των μεταφορών το μεγαλύτερο μέρος την ενέργειας προέρχεται από

βιοκαύσιμα, τα οποία γνώρισαν μεγάλη αύξηση, από το 2005 έως το 2016, κατά μέσο όρο 14% ανά χρόνο.

## 2.7 Εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παγκοσμίως ↗

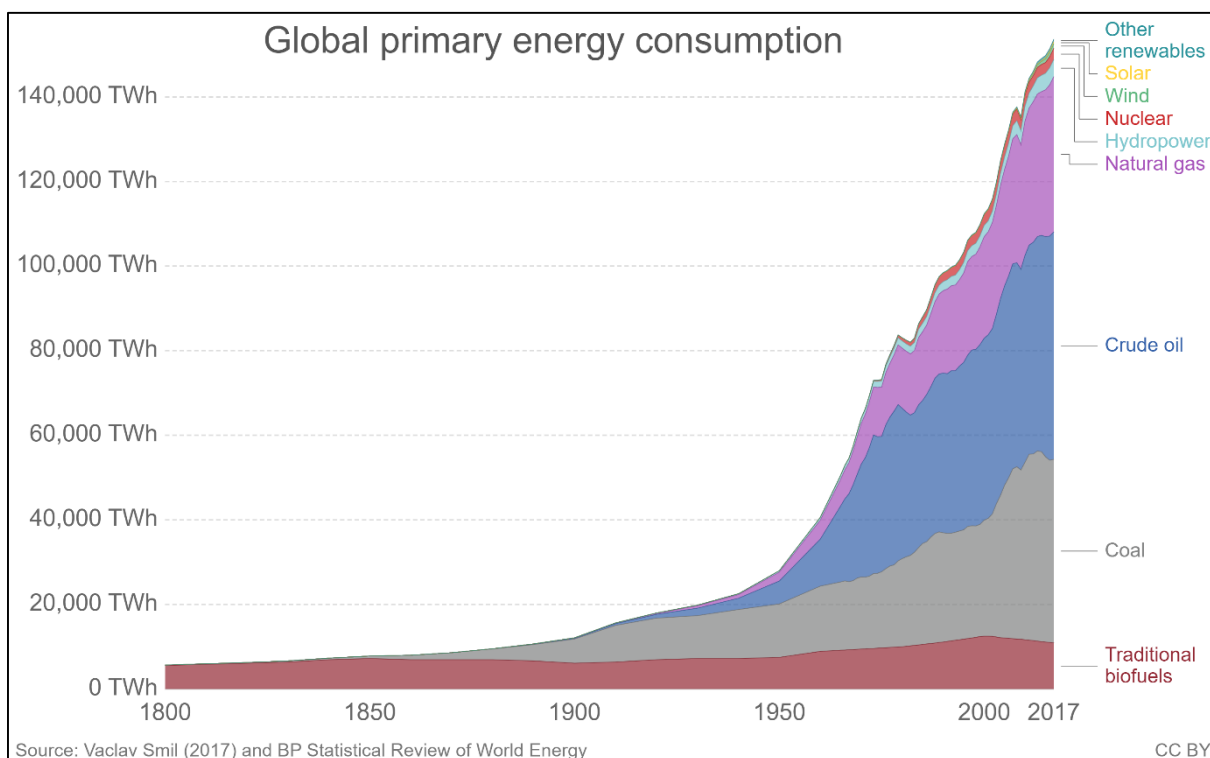
Στο γράφημα 2.2 παρουσιάζεται η πορεία που ακολούθησαν οι ΑΠΕ από το 1965 μέχρι και το 2016 όσον αφορά την κατανάλωσή τους παγκοσμίως σε TWh. Στο γράφημα περιλαμβάνονται, τα βιοκαύσιμα, η ΥΗΕ, η ηλιακή και αιολική ενέργεια, γεωθερμικά κ.α. σύγχρονα βιοκαύσιμα.



↑↑ Γράφημα 2.2: Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας από ΑΠΕ. ↑↑

Από το γράφημα παραπάνω παρατηρείται ότι οι ΑΠΕ διατηρούν μια αυξητική πορεία τα τελευταία χρόνια φτάνοντας στο σήμερα όπου η συνολική κατανάλωσή τους ανέρχεται σε 16893 TWh. Επίσης, παρατηρείται ότι η βιομάζα από παλιά κυριαρχεί έναντι των υπολοίπων ΑΠΕ, ενώ τα τελευταία 20 χρόνια ακολουθεί μια μειωτική πορεία. Επίσης, η αιολική ενέργεια από το 2000 περίπου που πρωτοεμφανίστηκε ακολουθεί αυξητική πορεία, όπως και η ηλιακή ενέργεια από το 2010 περίπου.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η συμβολή των ΑΠΕ παγκοσμίως σε σχέση με τις υπόλοιπες συμβατικές πηγές ενέργειας. Στο γράφημα 2.3, απεικονίζεται η συνολική κατανάλωση των ΑΠΕ συγκριτικά με τις συμβατικές πηγές ενέργειας, σε TWh ανά έτος, από το 1800 έως το 2017.



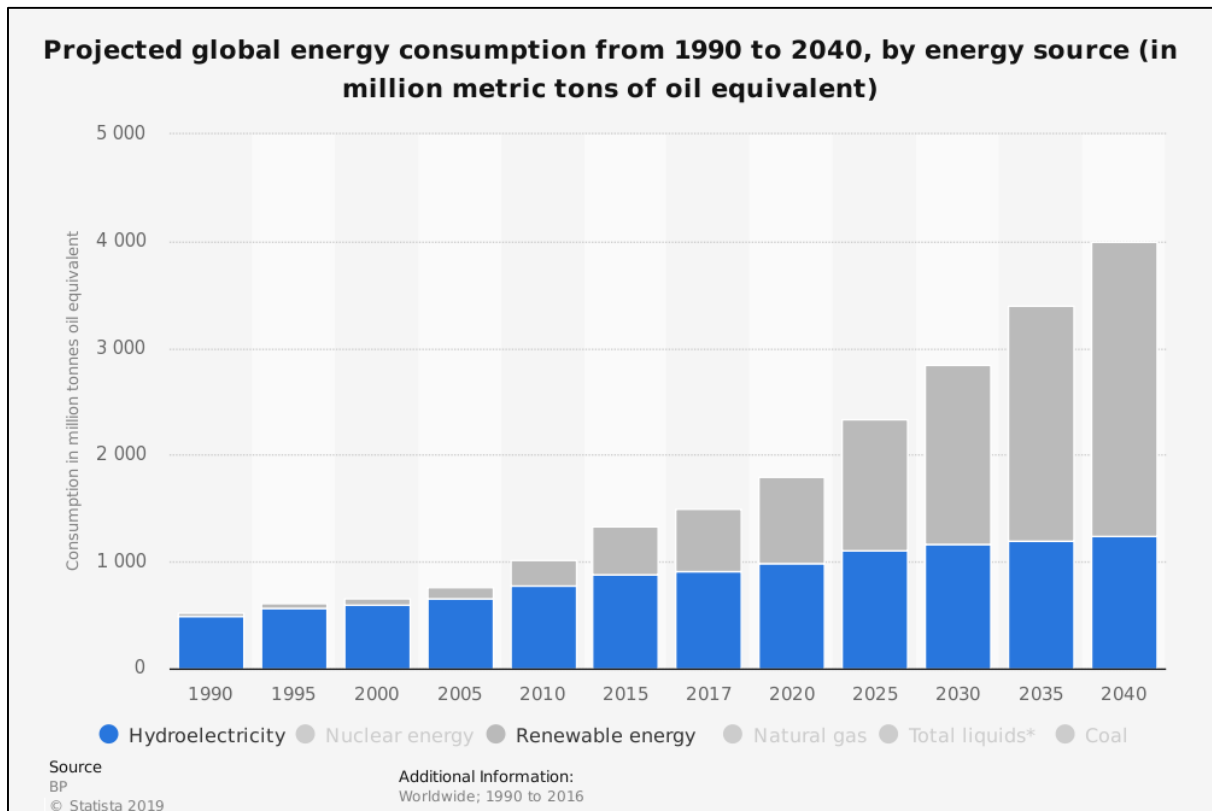
↑↑ Γράφημα 2.3: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. ↑↑

Με βάση το γράφημα εξάγετε το συμπέρασμα ότι για το 2017 το 11% περίπου της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης προέρχεται από τις ΑΠΕ.

## 2.8 Μελλοντική κατάσταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας →

Οι ΑΠΕ θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στο μέλλον όσον αφορά την ενέργεια, το περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία. Το μέλλον για τις ΑΠΕ προβλέπεται αισιόδοξο, καθώς χρόνο με τον χρόνο όλο και περισσότερος κόσμος συνειδητοποιεί την αναγκαιότητα και την χρησιμότητα των ΑΠΕ. Χρόνο με το χρόνο όλο και περισσότερες τεχνολογίες ΑΠΕ εγκαθίστανται αντικαθιστώντας τα ορυκτά καύσιμα, κάνοντας έτσι τον πλανήτη καθαρότερο.

Στο γράφημα 2.4 παρουσιάζεται μια πρόβλεψη σχετικά με την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης που προέρχονται από της ΑΠΕ, σε ΕΤΠΠ ανά έτος, μεταξύ 1990 και 2040. Οι μπλε στήλες αντιπροσωπεύουν την ΥΗΕ, ενώ οι γκρι στήλες αντιπροσωπεύουν την αιολική, ηλιακή, γεωθερμική ενέργεια, την ενέργεια κυμάτων και βιομάζας.



↑↑ **Γράφημα 2.4:** Προβλεπόμενη ενεργειακή κατανάλωση. ↑↑

Με βάση το γράφημα εξαγάγετε το συμπέρασμα ότι μέχρι το 2040 οι ΑΠΕ, εκτός της υδροηλεκτρικής ενέργειας, θα πενταπλασιαστούν σε σχέση με το 2017 και θα συνεισφέρουν πολύ περισσότερο στο ενεργειακό ισοζύγιο.

## Κεφάλαιο 3

### Η αιολική ενέργεια →

Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στην αιολική ενέργεια και στον άνεμο, αναφέροντας τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας, καθώς και μια εκτενέστερη περιγραφή όσον αφορά την φύση του ανέμου, τα βασικά του χαρακτηριστικά, καθώς και τον τρόπο μέτρησής του. Στην συνέχεια, γίνεται μια αναφορά στις ανεμογεννήτριες, στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν, καθώς και στον τρόπο συντήρησης και τοποθέτησής τους. Τέλος, παρουσιάζεται η τρέχουσα κατάσταση των αιολικών σε Ελλάδα, Ευρώπη και παγκοσμίως, καθώς και η μελλοντική κατάσταση των αιολικών παγκοσμίως.

### 3.1 Αιολική Ενέργεια →

Ο κινούμενος αέρας (άνεμος) φέρει κινητική ενέργεια μαζί του, η οποία ονομάζεται αιολική ενέργεια. Προέρχεται από την μετατροπή μικρού ποσοστού της ηλιακής ακτινοβολίας σε κινητική ενέργεια του ανέμου. Η αιολική ενέργεια κατατάσσεται στις ΑΠΕ, γιατί αφενός δεν ρυπαίνει το περιβάλλον και αφετέρου είναι θεωρητικά ανεξάντλητη. Αξίζει να σημειωθεί ότι, τεχνικοοικονομικά η αιολική ενέργεια σήμερα αποτελεί την πιο συμφέρουσα ΑΠΕ, αλλά δεν μπορεί να προβλεφθεί επακριβώς και ούτε είναι συνεχόμενη, δηλαδή δεν μπορεί να εκτιμηθεί το πότε, το που και για πόση ώρα θα πνέει άνεμος.

### 3.2 Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας →

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης αιολικής ενέργειας είναι τα εξής:

Γενικά:

- **Ανήκει στην κατηγορία των ΑΠΕ.** Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορεί να εξαντληθεί, σε αντίθεση με μια συμβατική πηγή ενέργειας (καύσιμα), όπου η ποσότητα που υπάρχει στον πλανήτη είναι συγκεκριμένη και εξαντλείται.

- **Αποτελεί μια καθαρή μορφή ενέργειας.** Αυτό σημαίνει ότι η χρήση της δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με ρύπους, σε αντίθεση με μια ρυπογόνα μορφή ενέργειας (πετρέλαιο, λιγνίτης κ.α.).
- **Συντελεί στην μείωση των ρύπων.** Αυτό συμβαίνει διότι αντικαθίσταται η ενέργεια που θα παραγόταν με χρήση συμβατικού καυσίμου, με την ενέργεια που παράγεται με χρήση της αιολικής ενέργειας, η οποία δεν είναι επιβαρυντική για το περιβάλλον.
- **Είναι διάσπαρτη γεωγραφικά.** Αυτό οδηγεί στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας την δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- **Παρέχει οικονομική τόνωση.** Αυτό σημαίνει ότι η αξιοποίησή της, με χρήση κατάλληλης τεχνολογίας, προσελκύει επενδύσεις, παρέχει θέσεις εργασίας κ.α..

Ειδικά για την Ελλάδα:

- Στα νησιά αλλά και όχι μόνο, παρουσιάζεται υψηλό αιολικό δυναμικό, υψηλής ταχύτητας και μεγάλης διάρκειας τις περισσότερες μέρες του έτους, άξιο προς εκμετάλλευση.
- Αποτελεί αναξιποίητη πηγή ενέργειας, όπου υπάρχουν πολλές δυνατότητες εκμετάλλευσής της προς όφελος της Ελλάδας.
- Αποτελεί μέσο απεξάρτησης από τα συμβατικά καύσιμα που εισάγει η Ελλάδα, τα οποία αποτελούν πλήγμα για την οικονομία της.
- Παρέχει αυτονομία αποκεντρωμένων περιοχών, όπως απομακρυσμένα νησιά σε όλη την Ελλάδα.

### 3.3 Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

Τα μειονεκτήματα της χρήσης αιολικής ενέργειας είναι τα εξής:

- **Χαμηλή ροή.** Η χαμηλή ροή αξιοποιήσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου ( $\text{Watt/m}^2$ ), κατατάσσει την αιολική ενέργεια στις “αραιές” μορφές ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη χρήση μηχανών μεγάλων διαστάσεων.

- **Αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης.** Η αδυναμία εύρεσης της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου έχει ως αποτέλεσμα την περιορισμένη και όχι την πλήρη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας.
- **Περιορισμένη δυνατότητα αξιοποίησης.** Η τεχνολογία αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας δεν είναι σε θέση να αξιοποιήσει πλήρως την κινητική ενέργεια του ανέμου, παρά μόνο ένα ποσοστό αυτής.

### 3.4 Άνεμος

Ο άνεμος είναι η οριζόντια κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα ή αλλιώς αποτελεί ένα ρεύμα αέρος. Η κατεύθυνσή του μπορεί να είναι ανοδική (από κάτω προς τα επάνω) ή καθοδική (από πάνω προς τα κάτω). Τον σημαντικότερο ρόλο στην κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα, ή στην δημιουργία ενός ρεύματος αέρος, τον έχει η πίεση, πιο συγκεκριμένα η διαφορά στην πίεση μεταξύ διαφόρων περιοχών. Η Διαφορά πίεσης προκαλείται από την διαφορά στην θερμοκρασία μεταξύ αυτών των περιοχών. Η θερμοκρασία και κατ' επέκταση η κινητικότητα του αέρα εξαρτάται από τρεις παράγοντες, την ηλιακή ακτινοβολία, την ανομοιογένεια της επιφάνειας του εδάφους και την περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της. Η ηλιακή ακτινοβολία επιδρά τόσο σε πλανητικό επίπεδο, όσο και σε τοπικό.

Όσον αφορά το πλανητικό επίπεδο, η διαφορετική γωνία που προσπίπτουν οι ακτίνες του ηλίου πάνω στη γη, έχει ως αποτέλεσμα την άνιση θέρμανση του πλανήτη. Μεγαλύτερη θέρμανση και κατ' επέκταση υψηλότερες θερμοκρασίες εμφανίζονται σε μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης (πάνω και κάτω από τον ισημερινό), ενώ λιγότερη θέρμανση και κατ' επέκταση χαμηλότερες θερμοκρασίες εμφανίζονται σε μικρές γωνίες πρόσπτωσης (πάνω και κάτω από τους πόλους). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ο θερμός αέρας από τις τροπικές περιοχές (κοντά στον ισημερινό) να ανυψώνεται και να κινείται προς τις πολικές περιοχές και ο ψυχρός αέρας από τις πολικές περιοχές να κινείται κάτω από τον θερμό αέρα προς τις τροπικές περιοχές. Οι θερμοκρασίες των τροπικών περιοχών κυμαίνονται άνω των 38 °C, ενώ αυτών των πολικών κάτω των 0 °C.

Όσον αφορά το τοπικό επίπεδο, σε παραθαλάσσιες περιοχές κατά την διάρκεια της ημέρας η στεριά θερμαίνεται από τον ήλιο περισσότερο απ' ότι η θάλασσα (λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας, η θερμοκρασία της θάλασσας δεν μεταβάλλεται

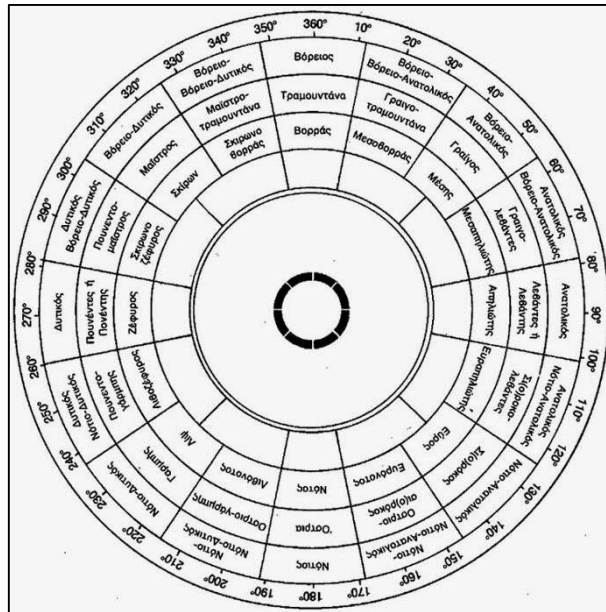
σημαντικά), ενώ κατά την διάρκεια της νύχτας η στεριά ψύχεται περισσότερο απ' ότι η θάλασσα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την ημέρα να σχηματίζεται ένας ψυχρός άνεμος από την θάλασσα προς την στεριά (θαλάσσια αύρα) και την νύχτα από την στεριά προς την θάλασσα (απόγεια αύρα).

Σε περιοχές όπου υπάρχει ανομοιογένεια του εδάφους, δηλαδή με βουνά και κοιλάδες, εμφανίζεται ανομοιόμορφη θέρμανση μεταξύ των πλαγιών και των κοιλάδων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την πρόκληση ανέμων λόγω των διαφορετικών θερμοκρασιών. Κατά την διάρκεια της ημέρας θερμοί άνεμοι κινούνται προς τα κάτω, ενώ κατά την διάρκεια της νύχτας ψυχροί άνεμοι κινούνται προς τα επάνω.

Ο τρόπος με τον οποίο η περιστροφή της γης επιδρά στην πρόκληση των ανέμων είναι διότι, καθώς η γη περιστρέφεται από την Δύση προς την Ανατολή παρασύρει τα σώματα που κινούνται στην ατμόσφαιρα προς τα δεξιά όσον αφορά το βόρειο ημισφαίριο και προς τα αριστερά όσον αφορά το νότιο ημισφαίριο. Το πόσο δυνατά τα παρασύρει εξαρτάται καθαρά από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ανέμου είναι η διεύθυνση, δηλαδή το σημείο όπου κινείται ο άνεμος και η ένταση, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία κινείται ο άνεμος. Ανάλογα με την διεύθυνσή που πνέει ο άνεμος έχουν οριστεί και οι αντίστοιχες ονομασίες, οι οποίες προκύπτουν με βάση το ανεμολόγιο. Το ανεμολόγιο είναι μια πλάκα χάρτινη (εικόνα 3.1). Η περιφέρεια του ανεμολογίου αποτελεί κύκλο και είναι μοιρασμένη σε 360°. Οι 360° διαιρούνται σε 4 ίσα μέρη και το κάθε ένα περιλαμβάνει 90°. Το μηδέν (0°) του ανεμολογίου, που συμπίπτει με τις 360°, λέγεται Βορράς. Το σημείο του ανεμολογίου που βρίσκεται αντίθετα του Βορρά, λέγεται Νότος (180°). Το σημείο του ανεμολογίου που βρίσκεται στα δεξιά, λέγεται Απηλιώτης (90°). Απέναντι του Απηλιώτη είναι ένα άλλο σημείο που ονομάζεται Ζέφυρος (270°). Αυτές οι 4 ονομασίες είναι οι κυριότερες ονομασίες ανέμων.





↑↑ Εικόνα 3.1: Ανεμολόγιο. ↑↑

Αντίστοιχες ονομασίες έχουν δοθεί και ανάλογα με την ένταση του ανέμου, οι οποίες προκύπτουν από την συμπεριφορά του ανέμου ως προς τον χρόνο. Έτσι, οι 3 κυριότερες κατηγορίες είναι ο Λειός, Ρυπιαίος και Μεταβλητός. Λειός χαρακτηρίζεται ο άνεμος που δεν παρουσιάζει αυξομειώσεις στην έντασή του. Ρυπιαίος χαρακτηρίζεται ο άνεμος του οποίου η ένταση μεταβάλλεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Μεταβλητός χαρακτηρίζεται ο άνεμος του οποίου η ένταση μεταβάλλεται συνεχώς.

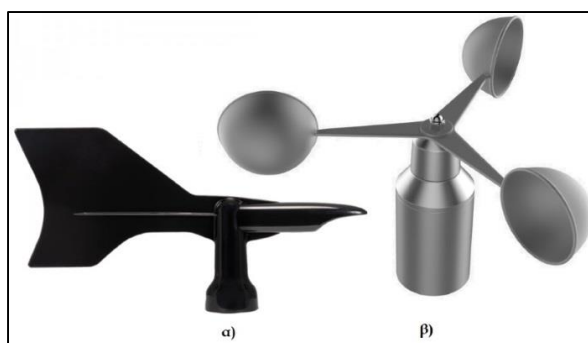
Για την εύρεση της έντασης του ανέμου, έχει καθιερωθεί μια κλίμακα γνωστή και ως “κλίμακα Beaufort”. Η κλίμακα Beaufort (Πίνακας 3.1) είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα μέτρησης της εντάσεως του ανέμου που υπάρχει αυτή τη στιγμή. Κατατάσσει τους ανέμους σε 13 κατηγορίες βάσει της έντασής τους. Βασίζεται κυρίως στην παρατήρηση, παρά σε ακριβείς μετρήσεις, έτσι ανάλογα με τους βαθμούς Beaufort υπάρχουν και πιθανά αποτελέσματα σε θάλασσα και στεριά αντίστοιχα που έχουν παρατηρηθεί.

↑↑ Πίνακας 3.1: Κλίμακα Beaufort. ↑↑

Κλίμακα Beaufort		
Βαθμοί Beaufort	Περιγραφή	Ταχύτητα ανέμου (km/h)
0	Νηνεμία	0
1	Υποπνέων	3
2	Ασθενής	9
3	Λεπτός	15
4	Μέτριος	25
5	Λαμπρός	35
6	Ισχυρός	45
7	Σφοδρός	56
8	Ορμητικός	68
9	Θύελλα	81
10	Ισχυρή θύελλα	94
11	Σφοδρή θύελλα	110
12	Τυφώνας	118

Ο προσδιορισμός και η καταγραφή της διεύθυνσης και της έντασης του ανέμου γίνεται με την χρήση ανεμομετρικών οργάνων. Υπάρχουν δύο είδη ανεμομετρικών οργάνων, οι ανεμοδείκτες και τα ανεμόμετρα. Συνήθως, τα δύο αυτά είδη οργάνων συνδυάζονται σε μια κατασκευή.

Ο ανεμοδείκτης (Εικόνα 3.2α) είναι ένα όργανο με το οποίο μπορεί να προσδιοριστεί η διεύθυνση του ανέμου. Αποτελείται από ένα κατακόρυφο άξονα, στο πάνω άκρο του οποίου, περιστρέφεται ένας οριζόντιος με ένα ή δύο ελάσματα στο ένα άκρο του και ένα δείκτη στο άλλο άκρο. Όταν η πίεση που ασκεί ο άνεμος εξισορροπηθεί και από τις δύο πλευρές του ελάσματος του ανεμοδείκτη, τότε αυτός έχει στραφεί έτσι ώστε ο δείκτης του να διευθύνεται προς την μεριά από την οποία φυσά ο άνεμος.



↑↑ Εικόνα 3.2: α) Ανεμοδείκτης. β) Ανεμόμετρο. ↑↑

Το ανεμόμετρο (Εικόνα 3.2β) είναι ένα όργανο με το οποίο μπορεί να προσδιοριστεί η ένταση του ανέμου. Αποτελείται από ένα κατακόρυφο άξονα, στην κορυφή του οποίου υπάρχουν 3 ή 4 οριζόντιοι βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι και στα άκρα αυτών των βραχιόνων, είναι στερεωμένα 3 ή 4 αντίστοιχα ημισφαιρικά ή κωνικά κύπελλα. Η ένταση του ανέμου προσδιορίζεται κατά την περιστροφή του συστήματος (κυπέλλων), λόγω της επίδρασης του ανέμου και ο αριθμός των περιστροφών καταγράφεται, μέσω του κατακόρυφου άξονα, σε ένα καταγραφικό σύστημα. Συνήθως, ο ανεμοδείκτης και το ανεμόμετρο συνδυάζονται σε ένα ενιαίο σύστημα (Εικόνα 3.3).



↑↑ Εικόνα 3.3: Ανεμοδείκτης και ανεμόμετρο σε συνδυασμό. ↑↑

### 3.5 Ανεμογεννήτριες →

Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων αιολικών μηχανών, οι οποίες είναι κατάλληλα σχεδιασμένες, ώστε να επιτυγχάνουν την δέσμευσή του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού της κινητικής ενέργειας του ανέμου, με σκοπό την μετατροπή της στην επιθυμητή μορφή ενέργειας. Λέγεται ότι έχουν επινοηθεί και εφαρμοσθεί περισσότεροι τύποι ανεμοκινητήρων από οποιονδήποτε άλλο τύπο εφεύρεσης, χωρίς όμως να έχει επιτευχθεί μέχρι σήμερα ο επιθυμητός βαθμός εκμετάλλευσης της ενέργειας του ανέμου.

Μια ευρέως γνωστή αιολική μηχανή, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η ανεμογεννήτρια (Α/Γ). Οι Α/Γ κατασκευάστηκαν με σκοπό την εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου με σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Η ανεμογεννήτρια μετατρέπει την ενέργεια αρχικά

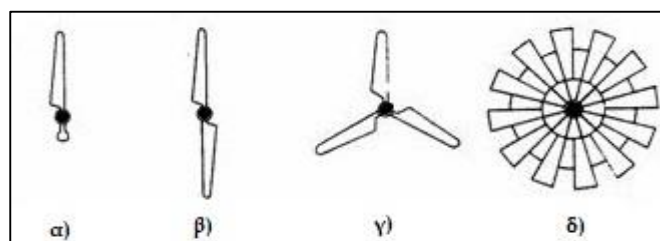
σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών είναι συνεχώς εξελισσόμενη με αποτέλεσμα τη δημιουργία συνεχώς μεγαλύτερων ανεμογεννητριών όσον αφορά στην ισχύ και το μέγεθος. Η μορφή των Α/Γ έχει περάσει από πολλά στάδια στην πάροδο των χρόνων. Πριν φτάσουμε στην κλασική μορφή των Α/Γ έχουν δοκιμαστεί πολλές διαφορετικές λύσεις και όσον αφορά στον αριθμό των πτερυγίων αλλά και τον προσανατολισμό του άξονα. Οι Α/Γ διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, οι κυριότερες αυτών είναι ανάλογα με:

1. τον προσανατολισμό του άξονα τους σε σχέση με την ροή του ανέμου.
2. την ταχύτητα περιστροφής τους και
3. ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων που διαθέτει η πτερωτή τους.

Όσον αφορά την πρώτη κατηγορία, διακρίνονται σε οριζόντιου άξονα (εικόνα 3.4) και κατακόρυφου άξονα (εικόνα 3.5). Περισσότερες πληροφορίες για αυτές υπάρχουν στις υποενότητες 3.5.1 και 3.5.2 αντίστοιχα.

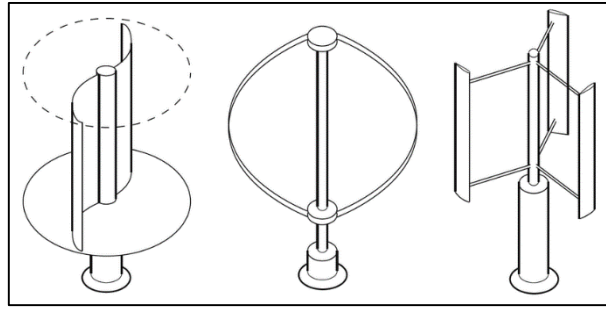
Όσον αφορά την δεύτερη κατηγορία, διακρίνονται και σε ταχείας και βραδείας περιστροφής. Η ταχύτητα περιστροφής μιας Α/Γ εξαρτάται κυρίως από τις αεροδυναμικές παραμέτρους και από το μέγεθος των πτερυγίων της μηχανής. Όμως, υπόψιν πρέπει να ληφθούν και άλλοι λόγοι όπως φυγόκεντρες δυνάμεις, στατικής αντοχής κλπ.

Όσον αφορά την τρίτη και τελευταία κατηγορία, διακρίνονται σε πολυπτέρυγες (εικόνα 3.4δ), όπως οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής, και σε ολιγοπτέρυγες (εικόνα 3.4αβγ), οι οποίες αποτελούν την πλειοψηφία των σύγχρονων Α/Γ οριζόντιου και κάθετου άξονα, με αριθμό πτερυγίων που κυμαίνεται από ένα έως τρία πτερόγια σε κάθε πτερωτή.



**Εικόνα 3.4:** Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα. α) Μονοπτέρυγη. β) Διπτέρυγη.

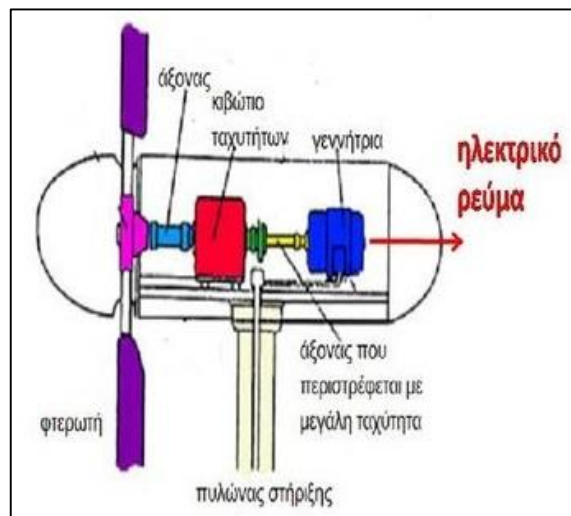
↑↑ γ) Τριπτέρυγη. δ) Πολυπτέρυγη. ↑↑



↑↑ **Εικόνα 3.5:** Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα. ↑↑

### 3.5.1 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα →

Οι Α/Γ οριζόντιου άξονα έχουν τον άξονα περιστροφής τους οριζόντιο ως προς το έδαφος και σχεδόν παράλληλο στην ροή του ανέμου. Επιπλέον, η πτερωτή τους μπορεί να διαθέτει ένα, δύο, τρία ή ακόμα και πενήντα πτερύγια. Στην κατηγορία των αιολικών μηχανών οριζόντιου άξονα περιλαμβάνονται και οι Α/Γ, που χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλο ποσοστό του συνόλου των εγκατεστημένων μηχανών παγκοσμίως, του τύπου “έλικας”. Η διάταξη και τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια από τις πιο διαδεδομένες Α/Γ οριζόντιου άξονα παγκοσμίως, είναι ο πυλώνας στήριξης, η πτερωτή, ο άξονας περιστροφής χαμηλής ταχύτητας, το κιβώτιο ταχυτήτων, ο άξονας περιστροφής υψηλής ταχύτητας, η ηλεκτρική γεννήτρια, καθώς και άλλα βοηθητικά εξαρτήματα όπως, το σύστημα ελέγχου της διεύθυνσης και έντασης του ανέμου, τον μηχανισμό αεροδυναμικής πέδησης, τον μηχανισμό περιστροφής της ατράκτου κ.α. (εικόνα 3.6).



↑↑ **Εικόνα 3.6** Διάταξη και βασικά μέρη μια Α/Γ τύπου «Ελικας». ↑↑

Όταν φυσάει άνεμος, το ρεύμα ανέμου περιστρέφει την πτερωτή και εν συνεχεία τον άξονα περιστροφής χαμηλής ταχύτητας που είναι συνδεδεμένος μαζί της. Ο άξονας χαμηλής περιστροφής μεταφέρει την κίνηση στο κιβώτιο ταχυτήτων, όπου ένας δεύτερος άξονας περιστροφής υψηλής ταχύτητας, συνδέεται με την γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Ο λόγος που αυτού του τύπου Α/Γ είναι τόσο διαδεδομένες είναι διότι παρουσιάζουν πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως το ότι:

- Δεν χρειάζονται πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου για να ξεκινήσουν να περιστρέφονται.
- Εμφανίζουν υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή.
- Η συναρμολόγησή τους είναι ιδιαίτερα εύκολη.

Παρουσιάζουν όμως και κάποια μειονεκτήματα, όπως το ότι:

- Η γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων πρέπει να τοποθετηθούν πάνω στον πύργο, γεγονός που κάνει την κατασκευή του ακριβή και πιο δύσκολη.
- Χρειάζεται ενεργός μηχανισμός περιστροφής ή συνηθέστερα ένα ουραίο πτερύγιο για τον προσανατολισμό στην κατεύθυνση του ανέμου.

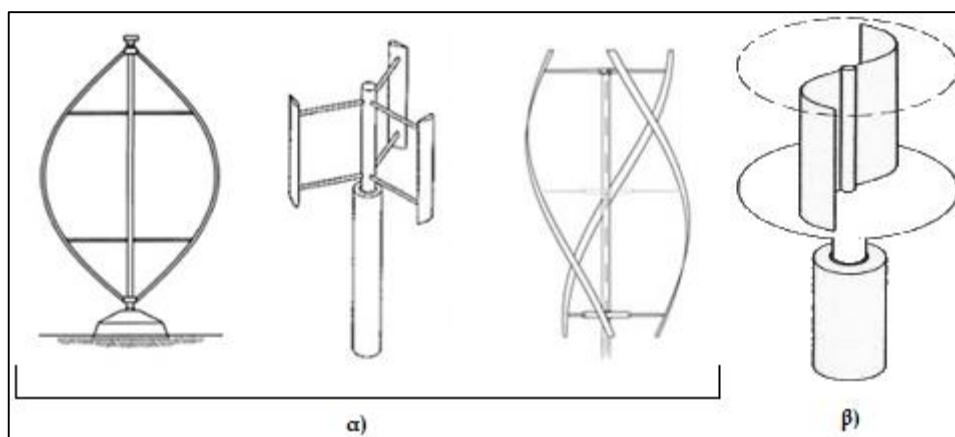
Οι Α/Γ οριζόντιου άξονα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και με βάση το μέγεθός τους. Οπότε ταξινομούνται σε micro, μικρές, μεσαίες και μεγάλες. Τα χαρακτηριστικά που εμφανίζουν η κάθε μια κατηγορία βρίσκονται στον πίνακα 3.2.

↑↑ Πίνακας 3.2: Ταξινόμηση μεγεθών ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα. ↑↑

Μεγέθη Α/Γ οριζόντιου άξονα				
Μέγεθος Α/Γ	Ισχύς εξόδου (kW)	Ύψος πύργου (m)	Διάμετρο ρότορα (m)	Επιφάνεια σάρωσης (m <sup>2</sup> )
Micro	<1	-	<1	<1
Μικρό	1αν-50	5-30	1-16	1-200
Μεσαίο	50-1000	30-70	16-55	200-2400
Μεγάλο	1000<	50<	55<	2400<

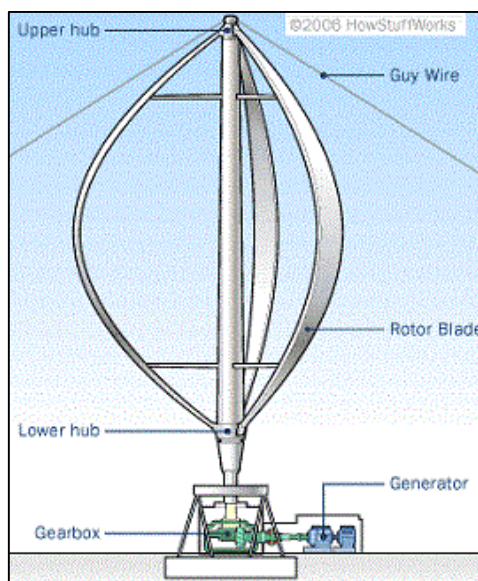
### 3.5.2 Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα

Οι Α/Γ κατακόρυφου άξονα έχουν τον άξονα περιστροφής τους κάθετο ως προς το έδαφος και ως προς την ροή του ανέμου. Στην κατηγορία των αιολικών μηχανών κατακόρυφου άξονα περιλαμβάνονται κυρίως δύο κατηγορίες Α/Γ, οι τύπου “Darrieus” (εικόνα 3.7α) και οι τύπου “Savonius” (εικόνα 3.7β), οι οποίοι αποτελούν και τα πλέον διαδεδομένα μοντέλα αυτής της κατηγορίας, με την «Darrieus» να αποτελεί την πιο διαδεδομένη Α/Γ κατακόρυφου άξονα στην αγορά.



↑↑ **Εικόνα 3.7:** Ανεμογεννήτριες τύπου: α) Darrieus. β) Savonius. ↑↑

Η διάταξη και τα βασικότερα μέρη της Α/Γ κατακόρυφου άξονα τύπου Darrieus (εικόνα 3.8) δεν διαφέρουν σημαντικά από μια Α/Γ οριζόντιου άξονα. Οπότε, υπάρχει μια βάση στήριξης, καμπτόμενα πτερύγια, το άνω και κάτω έδρανο, ένας άξονας περιστροφής (ή πύργος) μικρής ταχύτητας, ένα κιβώτιο ταχυτήτων, ένας άξονας περιστροφής μεγάλης ταχύτητας και μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ και εδώ υπάρχουν και κάποια βοηθητικά συστήματα όπως, το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας καθώς και το μηχανισμό αεροδυναμικής πέδησης. Ο κύριος λόγος που τα πτερύγια είναι καμπτόμενα, είναι για να μειώσουν τις καμπτικές τάσεις προς αυτά, που δημιουργούνται λόγω της περιστροφής τους, ενώ τα έδρανα χρησιμοποιούνται για την στήριξη και για την απόσβεση δυνάμεων. Επιπλέον, η Α/Γ διατηρείται σε κατακόρυφη θέση με την βοήθεια συρματόσχοινων, τα οποία συνδέουν την κορυφή του άξονά της με το έδαφος.



↑↑ **Εικόνα 3.8:** Ανεμογεννήτρια «Darrieus», κατακόρυφου άξονα. ↑↑

Όταν φυσάει άνεμος, το ρεύμα ανέμου περιστρέφει τα καμπύμενα περύγια και εν συνεχεία τον άξονα περιστροφής χαμηλής ταχύτητας που είναι συνδεδεμένος μαζί τους. Ο άξονας χαμηλής περιστροφής μεταφέρει την κίνηση στο κιβώτιο ταχυτήτων, όπου ένας δεύτερος άξονας περιστροφής υψηλής ταχύτητας, συνδέεται με την γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Τα πλεονεκτήματα των Α/Γ κατακόρυφου άξονα είναι τα εξής:

- Έχουν καλή αεροδυναμική απόδοση ανεξάρτητα προς την διεύθυνση του ανέμου.
- Χαμηλό κόστος κατασκευής.
- Σχετικά απλά συστήματα ελέγχου.
- Οι μηχανισμοί και η γεννήτρια βρίσκονται κατά κανόνα στο έδαφος, με αποτέλεσμα να απαιτείται ελαφρότερος πύλωνας και να διευκολύνεται η λειτουργία και η συντήρηση του όλου συστήματος, γεγονός που έχει οικονομικό αντίκτυπο.
- Έχουν αυτόματη προσαρμογή στην διεύθυνση του ανέμου, έτσι μπορούν να εγκατασταθούν σε μέρη που υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα στην κατεύθυνση του ανέμου και δεν απαιτείται σύστημα προσανατολισμού.
- Είναι εφικτή η μεταφορά τους από ένα σημείο σε άλλο σημείο.



Τα μειονεκτήματα που εμφανίζουν οι Α/Γ κατακόρυφου άξονα είναι τα εξής:

- Δεν αναπτύσσουν ικανοποιητική ροπή κατά την εκκίνηση, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η ύπαρξη βοηθητικής πηγής ενέργειας για την εκκίνησή τους.
- Έχουν μικρή σχετικά απόδοση, λόγω του ότι εγκαθίστανται σε χαμηλά ύψη, με αποτέλεσμα η ταχύτητα του ανέμου να είναι χαμηλή.
- Μερικές φορές σε υπάρχει τυρβώδης ροή του ανέμου, με αποτέλεσμα να προκαλεί δονήσεις, που με την σειρά του να παράγουν θόρυβο ή ακόμα και να αυξάνουν το κόστος συντήρησής τους.

### 3.5.3 Συντήρηση ανεμογεννήτριας

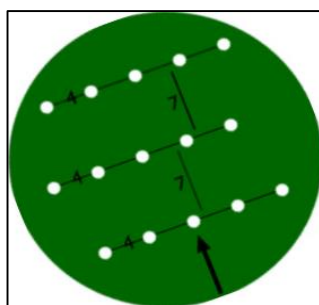
Η σωστή λειτουργία μιας Α/Γ επηρεάζεται σημαντικά από τις καιρικές συνθήκες, την ταχύτητα του ανέμου, τις δονήσεις των πτερυγίων κ.α. καθώς αποτελούν αρκετά πολύπλοκες μηχανές. Έτσι για την ορθή λειτουργία τους απαιτείται τακτική και προσεκτική συντήρηση προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν αστοχίες, τεχνικά προβλήματα και ατυχήματα που μπορούν να προκαλέσουν ανεπανόρθωτες ζημιές. Ο άνεμος προκαλεί δονήσεις κυρίως στα πτερύγια αλλά και σε άλλα μέρη μιας ανεμογεννήτριας και αποτελεί ένα από τους παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν σε πιθανότητα λειτουργικής αστοχίας ή ατυχήματος. Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε μια πιθανή βλάβη στη Α/Γ είναι η σκόνη. Η σκόνη (με την μορφή γύρης, χνουδιών, σπόρων, εντόμων κλπ) παρεμποδίζει την ροή του αέρα και μειώνει την ψύξη και κατά συνέπεια αυξάνεται η θερμοκρασία των διαφόρων μηχανικών και ηλεκτρικών εξαρτημάτων, όπως είναι η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, το κιβώτιο ταχυτήτων, κλπ. Με σκοπό να αποφευχθεί όσο το δυνατό μια λειτουργική αστοχία είναι απαραίτητη η προληπτική συντήρηση. Κάθε κατασκευαστής Α/Γ παρέχει το δικό του εγχειρίδια και πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης. Η λίπανση των κινούμενων μερών είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει η προληπτική συντήρηση η οποία αν δεν εκτελεστεί θα επιφέρει λειτουργική αστοχία. Η έγκαιρη συντήρηση περιλαμβάνει παρακολούθηση συγκεκριμένων στοιχείων για μια έγκαιρη ανίχνευση των μεταβολών στις συνθήκες λειτουργίας καθώς εκτελείται τακτικά, αναλύοντας ορισμένα δεδομένα, τα οποία οι τεχνικοί καταχωρούν και προσφέρουν τη δυνατότητα ανάλυση και σύγκρισής τους. Με τον προγραμματισμό διορθωτικών εργασιών θα επιτευχθεί η ελάχιστη

παραγωγική επίδραση κάθε Α/Γ. Σε οποιαδήποτε φάση συντήρησης η πρώτη εργασία που εκτελείται αμέσως μετά την άφιξη στο αιολικό πάρκο είναι ο έλεγχος της κατάστασης κάθε Α/Γ. Εάν μια Α/Γ δεν λειτουργεί εξαιτίας βλάβης, τότε απαιτείται διορθωτική ενέργεια (διορθωτική συντήρηση). Η διορθωτική συντήρηση είναι η εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών συντήρησης με στόχο την διόρθωση πιθανών σφαλμάτων, την αντικατάσταση εξαρτημάτων.

### 3.5.4 Αιολικό πάρκο

Τα αιολικά πάρκα είναι μεγάλες περιοχές με εγκατεστημένες πολλές Α/Γ που παράγουν ρεύμα περιστρεφόμενες από την ενέργεια του ανέμου, προκειμένου να τροφοδοτήσουν μια κατοικημένη περιοχή, είτε είναι μια πόλη, είτε ένα χωριό. Έτσι γίνεται η εκμετάλλευση του τοπικού δυναμικού που αποτελείται από μια ανεξάντλητη πηγή, τον άνεμο. Η λειτουργία των Α/Γ δεν απαιτεί πρώτες ύλες, εκτός από την αιολική ενέργεια, και δεν εκπέμπει καμία μορφή ρύπου ή αποβλήτων. Το αιολικό πάρκο δεν μολύνει την ατμόσφαιρα με διοξείδιο του άνθρακα ή άλλα αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το παραγόμενο προϊόν μεταφέρεται απευθείας στο δίκτυο της ΔΕΗ προς κατανάλωση και επομένως, δεν απαιτείται κανενός είδους μετατροπή πρώτης ύλης ή προϊόντος. Η θέση εγκατάστασης αιολικών μηχανών, η διάταξη μεταξύ τους και σε σχέση με την επικρατούσα διεύθυνση ανέμου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αντικείμενα μελέτης.

Στην εικόνα 3.9 παρουσιάζεται μια σωστή διάταξη ενός αιολικού πάρκου, όπου ο κενός χώρος σε μια συστοιχία δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 2-4 διαμέτρους σαρωτής και ο κενός χώρος μεταξύ των συστοιχιών δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 7-10 διαμέτρους σαρωτής.



↑↑ **Εικόνα 3.9:** Διάταξη Α/Γ σε αιολικό πάρκο. ↑↑

### 3.5.5 Κριτήρια επιλογής θέσης εγκατάστασης αιολικού πάρκου

Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή θέσης εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου είναι τα εξής:

- Διαθεσιμότητα καλού αιολικού δυναμικού με υψηλή μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου.
- Οικονομικά συμφέρουσα παραγωγή ενέργειας.
- Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την αιολική εγκατάσταση.
- Κανονισμοί και περιορισμοί στη χρήση γης.
- Ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες.
- Αποδοχή από το κοινό.

### 3.5.6 Κριτήρια επιλογής ανεμογεννήτριας

Για την επιλογή του τύπου και μοντέλου Α/Γ για την εγκατάστασή τους στο υπό μελέτη αιολικό πάρκο λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράγοντες:

- Η καμπύλη ισχύος της εκάστοτε ανεμογεννήτριας.
- Οι διαστάσεις τη Α/Γ σε συνάρτηση με το διαθέσιμο οικόπεδο .εγκατάστασης και την επιθυμητή ονομαστική ισχύ του αιολικού πάρκου.
- Περιορισμοί χωροταξικής φύσεως.
- Κατασκευαστικά θέματα (π.χ. μεταφορά ανεμογεννητριών).
- Η οικονομική προσφορά αγοράς και συντήρησης των ανεμογεννητριών από τον προμηθευτή.

### 3.6 Τρέχουσα κατάσταση αιολικών σε Ελλάδα, Ευρώπη και παγκόσμια

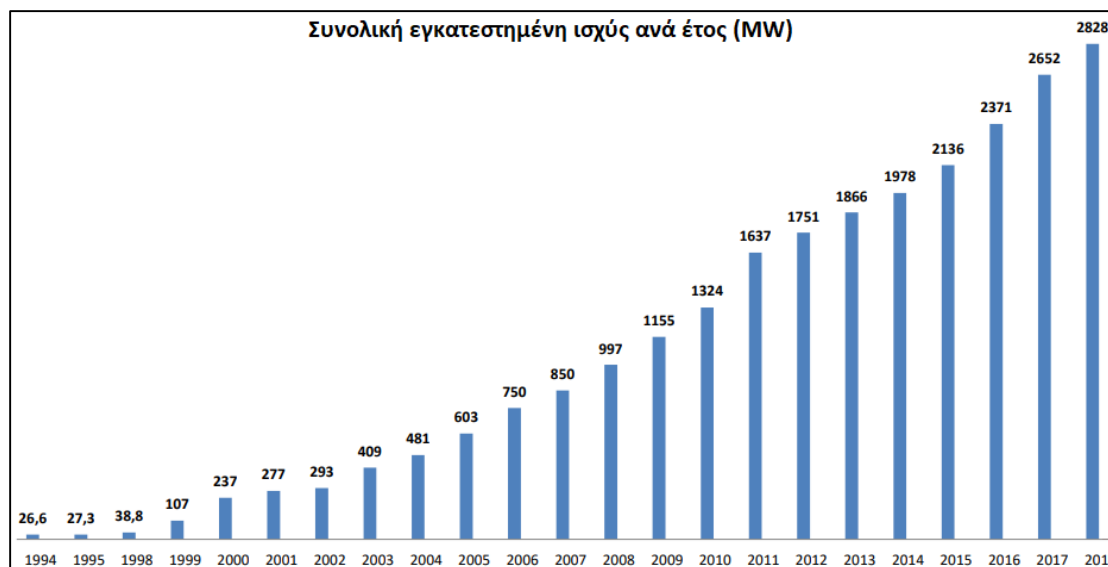
Σύμφωνα με την Στατιστική της Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα για το 2018 που ανακοίνωσε η Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ), κατά την χρονιά που πέρασε (2018) συνδέθηκαν στο δίκτυο 103 νέες Α/Γ συνολικής ισχύος 191,6 MW. Αυτό αντιστοιχεί σε ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 7,2% το 2018 σε σχέση με το τέλος του 2017.

Την ίδια περίοδο απεγκαταστήθηκαν παλαιές ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 15,43 MW οι οποίες ήδη αντικαθίστανται με νεότερες (repowering). Έτσι, το σύνολο

της αιολικής ισχύος που στα τέλη του 2018 βρισκόταν πραγματικά σε εμπορική ή δοκιμαστική λειτουργία είναι 2828,5 MW. Η ισχύς κατανέμεται ως εξής:

- Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά: 310 MW
- Στο διασυνδεδεμένο Σύστημα: 2518,5 MW

Στο γράφημα 3.1 παρουσιάζεται η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιολικών για κάθε έτος από το 1994 έως το 2018.



↑↑ Γράφημα 3.1: Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών. ↑↑

Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.10, σε επίπεδο περιφερειών, η στερεά Ελλάδα παραμένει στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων αφού φιλοξενεί 907 MW (32%) και ακολουθεί η Πελοπόννησος με 550 MW (19%) και η Ανατολική Μακεδονία - Θράκη όπου βρίσκονται 375 MW (13%).



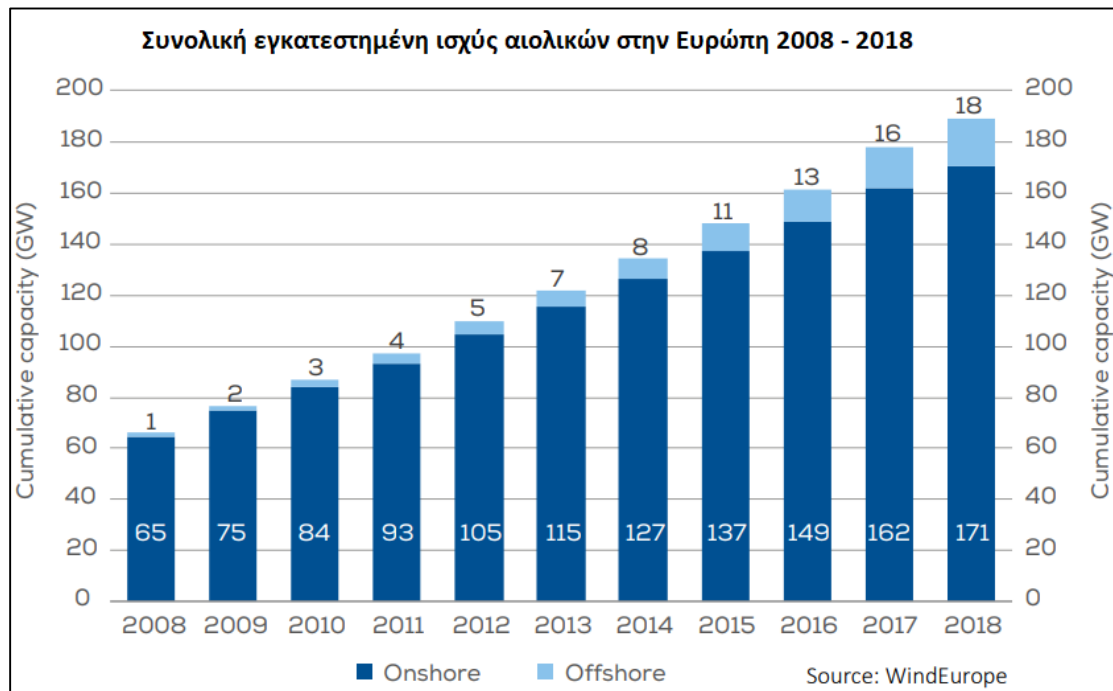
↑↑ **Εικόνα 3.10:** Χωρική κατανομή εγκατεστημένης ισχύος αιολικών στην Ελλάδα. ↑↑

Όσον αφορά τους επιχειρηματικούς ομίλους, στο Top - 5 κατατάσσονται:

- Η ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή με 536,1 MW (19%)
- Η ΕΛ.ΤΕΧ. ΑΝΕΜΟΣ με 285,6 MW (10,1%)
- Η Iberdrola Rokas με 250,7 MW (8,9%)
- Η EDF EN Hellas με 238,2 MW (8,4%)
- Η EREN με 210,9 MW (7,5%)

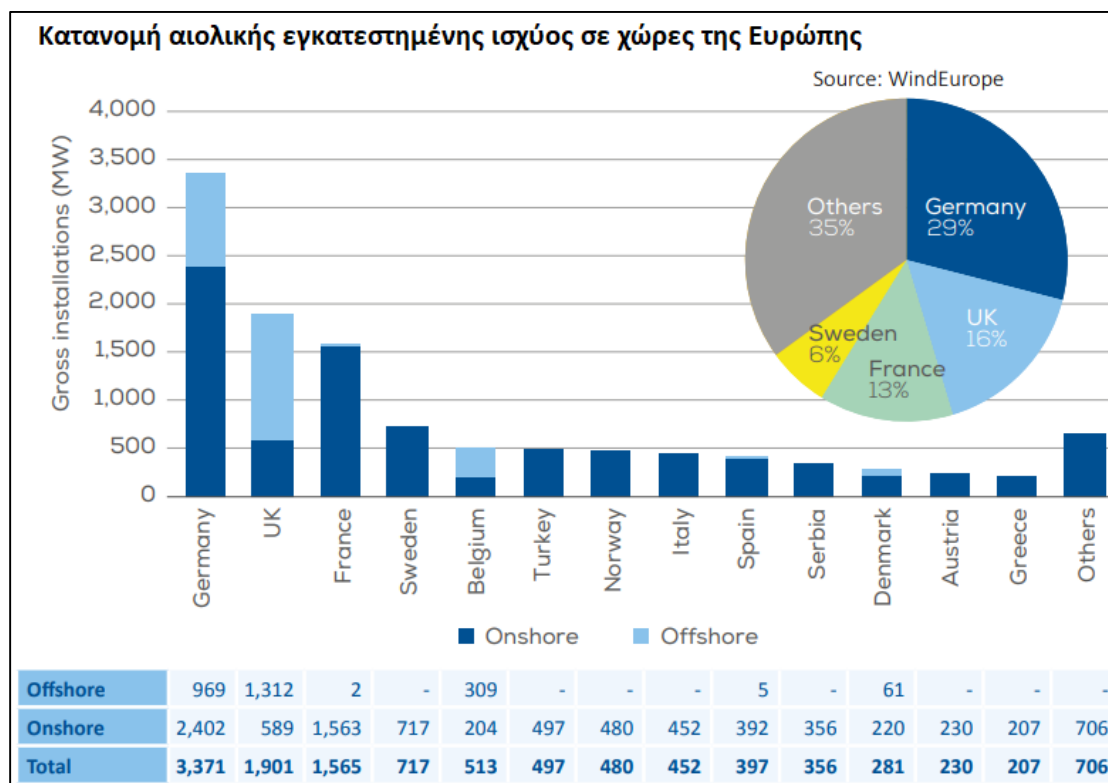
Παράλληλα, στο τέλος του 2018 κατασκευάζονταν πρόσθετες αιολικές επενδύσεις συνολικής ισχύος άνω των 500 MW που αναμένεται να τεθούν σε λειτουργία εντός των επόμενων 18 μηνών. Όσον αφορά την Ευρώπη, η τρέχουσα εγκατεστημένη ισχύς αιολικών ανέρχεται στα 189 GW, εκ των οποίων τα 170 GW είναι στην ξηρά και τα 19 GW εκτός ξηράς. Την περασμένη χρονιά (2018) εγκαταστάθηκαν αιολικά συνολικής ισχύος 11,7 GW. Αυτό αποτελεί μια μείωση κατά 32% σε σχέση με τα συνολικά εγκατεστημένα αιολικά του 2017.

Στο γράφημα 3.2 παρουσιάζεται η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιολικών για κάθε έτος από το 2008 έως το 2018 στην Ευρώπη.



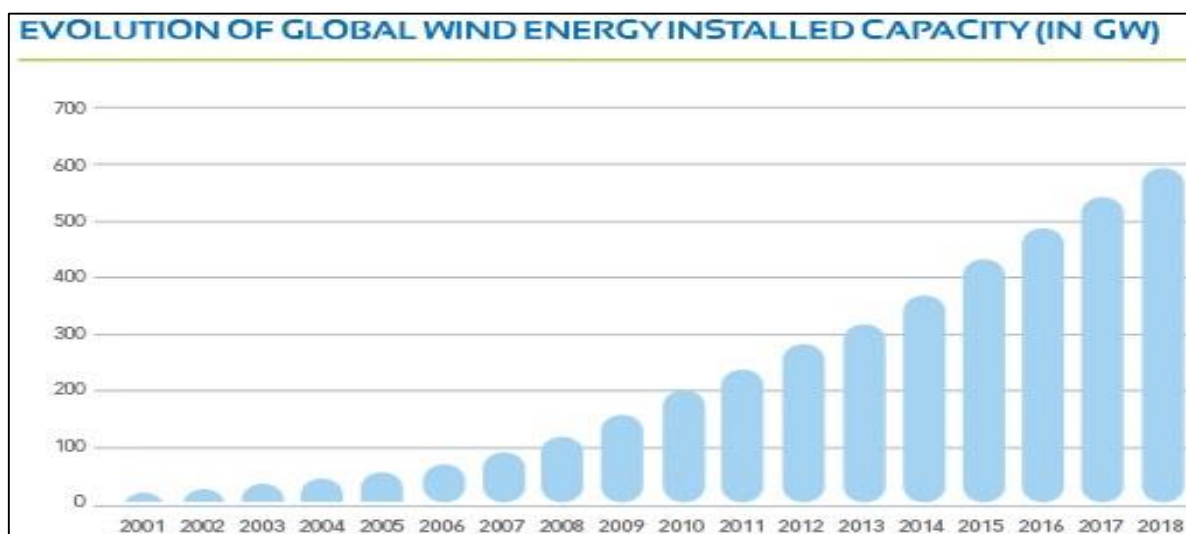
↑↑ **Γράφημα 3.2:** Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών στην Ευρώπη. ↑↑

Όπως φαίνεται στο γράφημα 3.3, από τις χώρες της Ευρώπης, η Γερμανία βρίσκεται στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων αφού φιλοξενεί συνολικά 3371 MW (29%) και ακολουθεί το Ηνωμένο Βασίλειο με συνολικά 1901 MW (16%) και η Γαλλία με συνολικά 1565 MW (13%).



↑↑ **Γράφημα 3.3:** Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών σε χώρες της Ευρώπης. ↑↑

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιολικών παγκοσμίως για το 2018 είναι 591 GW και γνώρισε αύξηση κατά 9.5% περίπου σε σχέση με το 2017, όπως παρουσιάζεται και στο γράφημα 3.4.

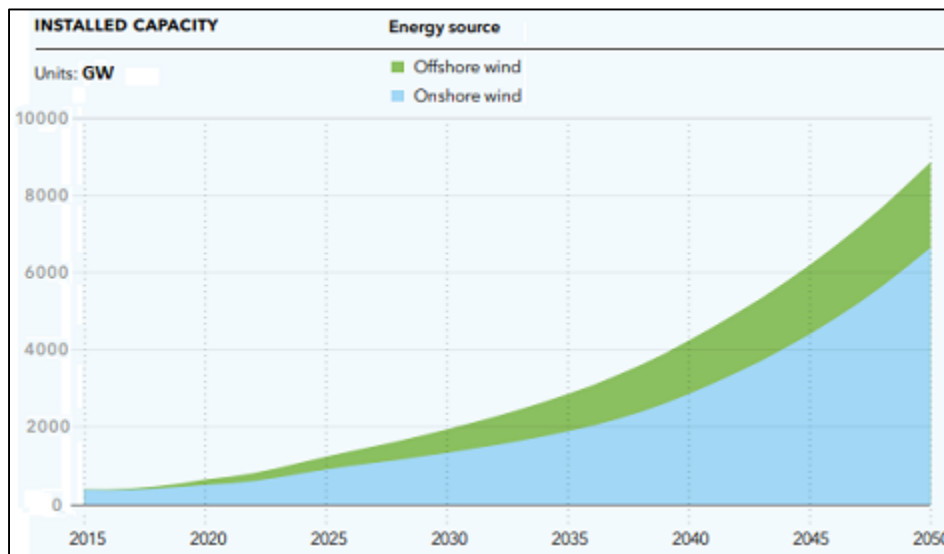


↑↑ **Γράφημα 3.4:** Εξέλιξη της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος παγκοσμίως. ↑↑

Οι χώρες που έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο είναι η Κίνα (35,8%), οι Ηνωμένες Πολιτείες (16,4%), η Γερμανία (10%), η Ινδία (5,9%) και η Ισπανία (4%).

### 3.7 Μελλοντική εγκατεστημένη ισχύς αιολικών παγκοσμίως

Το γράφημα 3.5 παρουσιάζει το μέλλον των αιολικών παγκοσμίως με χρονικό ορίζοντα το 2050.



↑↑ Γράφημα 3.5: Προβλεπόμενη εγκατεστημένη ισχύς αιολικών παγκοσμίως. ↑↑

Το μέλλον προβλέπεται αισιόδοξο για την βιομηχανία με συνεχή και επιταχυνόμενη ανάπτυξη όσον αφορά την εγκατεστημένη ισχύς φτάνοντας τα 2000 GW το 2030 και τα 9000 GW το 2050.



## Κεφάλαιο 4

### Η υδραυλική ενέργεια ↗

Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά γίνεται μια περιγραφή της υδραυλικής ενέργειας και προτού παρουσιαστούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτής, γίνεται μια αναφορά στον υδρολογικό κύκλο. Στην συνέχεια, αναφέρονται οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, οι κατηγορίες αυτών, καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν. Έπειτα, αναλύονται κάποια σημαντικά στοιχεία που αφορούν τον υδροστρόβιλο. Τέλος, αναλύεται η τρέχουσα κατάσταση στην Ελλάδα, Ευρώπη και παγκοσμίως, όσον αφορά την υδραυλική ενέργεια.

#### 4.1 Υδραυλική ενέργεια ↗

Η υδραυλική ή αλλιώς υδροηλεκτρική ενέργεια (ΥΗΕ) είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού που προέρχεται από την πτώση του από κάποιο ύψος. Καθώς πέφτει το νερό από ύψος  $H$ , η δυναμική του ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική και με τις κατάλληλες διατάξεις μπορεί να μετατραπεί σε άλλες μορφές, όπως μηχανική ή ηλεκτρική κλπ. Η ενέργεια αυτή δημιουργείται φυσικά από δίνες και ρεύματα, καθώς το νερό ρέει καταφορικά σε ρυάκια, χείμαρρους και ποτάμια μέχρι να καταλήξει στην θάλασσα. Μπορεί όμως να δημιουργηθεί και τεχνικά μέσω της δέσμευσης - αποθήκευσης ποσοτήτων ύδατος σε φυσικές ή τεχνικές λίμνες, η οποία ισοδυναμεί πρακτικά με αποταμίευση υδροηλεκτρικής ενέργειας. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αποθηκευμένου νερού και όσο υψηλότερα βρίσκεται, τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που περιέχει η υδατόπτωση. Η βασική αρχή της υδραυλικής ενέργειας είναι η εξής:

Έστω υδατόπτωση παροχής  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Αν η πυκνότητα του νερού είναι  $\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), τότε η κατερχόμενη μάζα έχει ρυθμό ροής  $\rho \times Q$  και ο ρυθμός απώλειας της δυναμικής ενέργειας  $P_o$  του ρευστού που κατέρχεται είναι (σε W):

$$P_o = \rho \times Q \times g \times H \quad (1)$$

Όπου  $g$  ( $m/s^2$ ) είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και  $H$  (m) το ύψος της υδατόπτωσης. Ο κύριος στόχος είναι ακριβώς η χρήση αυτής της ισχύος για περιστροφική κίνηση άξονα. Εμφανίζονται όμως απώλειες ισχύος κατά τη ροή των ρευστών προς τον στρόβιλο λόγω τριβών  $H_{tr}$ , που συνήθως δεν ξεπερνούν το 30% του μανομετρικού  $H$ . Το αποτέλεσμα είναι η αντίστοιχη μείωση του τελικά διαθέσιμου μανομετρικού  $H_\delta$  (m):

$$H_\delta = H - H_{tr} \text{ και της ισχύος } P = \rho \times Q \times g \times H_\delta \quad (2)$$

Από την σχέση (1) παραπάνω, προκύπτει ότι με σταθερό το  $H$  και με σταθερό και το  $Q$  (διατηρώντας πλήρη τον αγωγό τροφοδοσίας του ύδατος προς τον στρόβιλο) η λαμβανόμενη ισχύς είναι σταθερή και ίση προς την ονομαστική.

Για να έχει ενδιαφέρον μια υδατόπτωση θα πρέπει να έχει σημαντικά  $Q$  και  $H$ . Συγκεκριμένα θα πρέπει η περιοχή να έχει βροχόπτωση μεγάλη, να κατανέμεται ομαλά στην διάρκεια του χρόνου, να υπάρχει κατάλληλη συγκράτηση της και μια περιοχή αποθήκευσης του ύδατος. Όπου προσφέρονται οι παραπάνω συγκυρίες, η ΥΗΕ εμφανίζεται ως η πιο ανταγωνιστική.

## 4.2 Υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος (εικόνα 4.1) περιλαμβάνει μια σειρά διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί μεταξύ υδρόσφαιρας, ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας. Σε αυτή την αλυσίδα το νερό εμφανίζεται με όλες τις μορφές: υγρό, αέριο (υδρατμοί), στερεό (χιόνι, χαλάζι). Το σύνολο της ενέργειας που κατευθύνει τον κύκλο του νερού προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από τον ήλιο. Το συνολικό φαινόμενο της κυκλοφορίας και κατανομής του νερού στην ατμόσφαιρα και τη γη μπορεί να εκφρασθεί από τη σχέση:  $P=R+E+I$ , όπου:

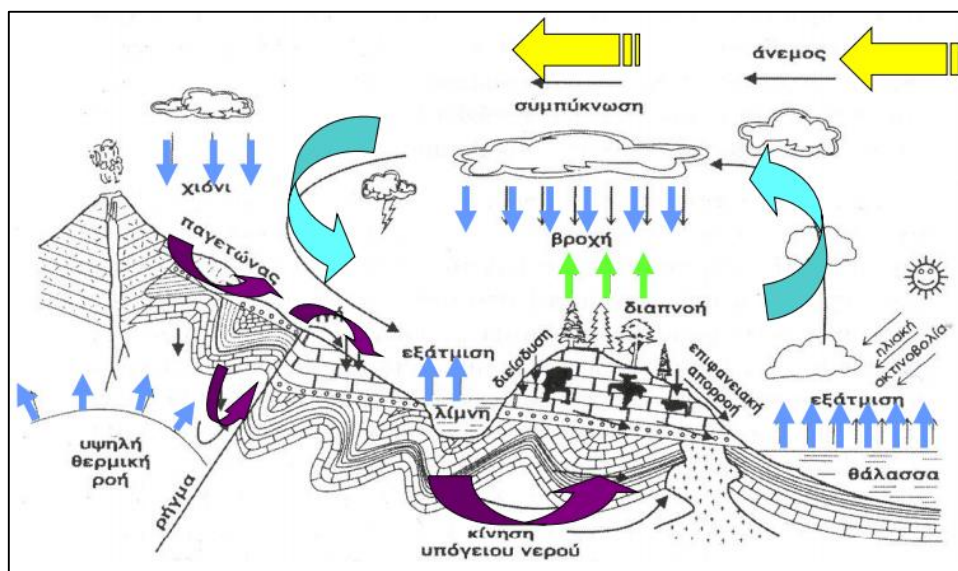
$P$  = Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

$R$  = Η επιφανειακή απορροή.

$E$  = Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή.

$I$  = Η κατείσδυση.

Τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να εκφραστούν σε ύψος νερού (mm) ή σε όγκο νερού (m<sup>3</sup>) ή σε ποσοστό επί τοις εκατό (%). Το νερό στην ατμόσφαιρα βρίσκεται με τη μορφή υδρατμών και αφού υποστεί συμπύκνωση πέφτει στην επιφάνεια της γης σε υγρή (βροχή) ή στερεή μορφή (χαλάζι, χιόνι).



↑↑ Εικόνα 4.1: Υδρολογικός κύκλος. ↑↑

Με τον όρο ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα περιλαμβάνονται όλες οι μορφές με τις οποίες το νερό φθάνει στη γη (βροχή, χιόνι, χαλάζι κλπ). Όλες οι μορφές κατακρημνισμάτων ανάγονται σε ισοδύναμο ύψος βροχής. Όσον αφορά τη χιονόπτωση, όταν δεν υπάρχουν ακριβή στοιχεία (πυκνότητα χιονιού), θεωρείται ότι 10 mm ύψος χιονιού ισοδυναμούν με 1 mm ύψος βροχής.

Η απορροή αντιπροσωπεύει το μέρος των κατακρημνισμάτων το οποίο, αφού πέσει στην επιφάνεια της γης και ένα μέρος του κατακρατηθεί για τη συμπλήρωση των αναγκών του εδάφους, παραλαμβάνεται από τους χειμάρρους και οδηγείται με τη βαρύτητα σε λίμνες ή σε θάλασσες. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή είναι:

- Κλιματικοί (ένταση βροχοπτώσεων, άνεμοι, εξάτμιση).
- Γεωμορφολογικοί (κλίση λεκάνης απορροής).
- Λιθολογικοί (είδος πετρωμάτων, περατότητα).
- Είδος της φυτοκάλυψης.

Η εξατμισοδιαπνοή αντιπροσωπεύει τις ποσότητες του νερού, που επανέρχονται στην ατμόσφαιρα με τη συνδυασμένη δράση της εξάτμισης και της διαπνοής. Εξάτμιση είναι η διαδικασία μεταφοράς, με τη μορφή υδρατμών, του νερού από την επιφάνεια της γης στην ατμόσφαιρα με σύγχρονη κατανάλωση ηλιακής ενέργειας, απαραίτητης για την αλλαγή της φάσης του νερού από υγρή σε αέρια. Διαπνοή εννοούνται οι διαδικασίες εκείνες με τις οποίες το νερό μεταβαίνει από την υγρή στην αέρια φάση διαμέσου του σώματος των φυτών. Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από:

- Θερμοκρασία του αέρα.
- Θερμοκρασία του εδάφους.
- Υγρασία του αέρα.
- Υγρασία του εδάφους.
- Ταχύτητα ανέμου.
- Βαρομετρική πίεση.
- Ηλιακή ακτινοβολία.
- Είδος χλωρίδας.
- Πορώδες εδάφους.

Η κατείσδυση αποτελεί τη σημαντικότερη διεργασία για τον καθορισμό της υδροοικονομίας μιας περιοχής γιατί συμβάλλει στην ανανέωση των αποθεμάτων των υπόγειων υδροφορέων. Αντιπροσωπεύει το μέρος εκείνο των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους και φθάνει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες προστιθέμενο στα αποθέματα των υπογείων νερών και μετέχει στις κινήσεις του υπογείου νερού. Η ικανότητα κατείσδυσης εξαρτάται από:

- Την υγρασία του εδάφους.
- Τη λιθολογία.
- Την κλίση και τον τύπο του εδάφους.
- Τη βλάστηση.
- Την ένταση και την κατανομή των βροχοπτώσεων.

Αξιζει να σημειωθεί ότι η ένταση και η συχνότητα του κύκλου εξαρτώνται από το κλίμα και τη γεωγραφική θέση της περιοχής. Ο χρόνος πραγματοποίησης του κύκλου δεν είναι σταθερός, για παράδειγμα στη διάρκεια μιας παρατεταμένης ξηρασίας ο κύκλος φαίνεται ότι έχει διακοπεί. Ο κύκλος μπορεί να συντομευθεί όταν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα πέφτουν απευθείας στη θάλασσα / λίμνες, οπότε δεν υπάρχει επιφανειακή απορροή.

### 4.3 Πλεονεκτήματα υδραυλικής ενέργειας

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης υδραυλικής ενέργειας είναι τα εξής:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Είναι διάσπαρτη γεωγραφικά και οδηγεί στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος αλλά και δίνει τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης τοπικών ενεργειακών πόρων.
- Είναι εγχώρια πηγή ενέργειας και συνεισφέρει στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Μέσω των υδατοταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού.
- Μπορεί να αποτελέσει πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών καθώς και να συμβάλλει στην τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση σχετικών επενδύσεων.
- Δεν παράγει ατμοσφαιρικούς ρύπους και θόρυβο.
- Σε αντιδιαστολή με άλλες πηγές ενέργειας, δεν υπάρχουν θερμοδυναμικοί ή άλλοι περιορισμοί στην αξιοποιήσιμη ισχύ, που μπορεί να υπολείπεται λόγω της ενέργειας που απαιτείται για την απομάκρυνση του ύδατος από τον υδροστρόβιλο.

#### 4.4 Μειονεκτήματα υδραυλικής ενέργειας ↗

Τα μειονεκτήματα της χρήσης υδραυλικής ενέργειας είναι τα εξής:

- Μεγάλο κόστος κατασκευής των απαραίτητων υποδομών για την εκμετάλλευση της.
- Προκαλεί έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση (σε περίπτωση μεγάλης κλίμακας εκμετάλλευση).
- Προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων υδατοπτώσεων και μεγάλων παροχών.
- Η ετήσια παραγωγή ενέργειας υφίσταται διακυμάνσεις, λόγω βροχοπτώσεων.
- Εμφανίζει απώλειες ισχύος κατά τη ροή των ρευστών προς τον στρόβιλο λόγω τριβών, που συνήθως δεν ξεπερνούν το 30%.

#### 4.5 Υδροηλεκτρικός σταθμός ↗

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την εκμετάλλευση της υδραυλικής ενέργειας και αποσκοπεί κυρίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο υδροηλεκτρικός σταθμός (ΥΗΣ). Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στην μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Η κινητική ενέργεια προέρχεται από την κίνηση του νερού στους ποταμούς και όχι μόνο. Παρακάτω θα περιγραφούν οι κατηγορίες των ΥΗΣ, ο τρόπος λειτουργίας τους, καθώς και κάποια από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά και μειονεκτήματά του.

##### 4.5.1 Κατηγορίες Υδροηλεκτρικών Σταθμών ↗

- Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας.
  1. **Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί φράγματος.** Η αρχή λειτουργίας των ΥΗΣ φράγματος βασίζεται στην χρήση ενός φράγματος, το οποίο κατακρατεί το νερό σε μεγάλο ύψος, όπου όταν απελευθερωθεί περιστρέφει έναν υδροστρόβιλο, ο οποίος θέτει σε λειτουργία μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος.
  2. **Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί ποτάμιας στάθμης.** Η αρχή λειτουργίας των ΥΗΣ ποτάμιας στάθμης βασίζεται στη φυσική ροή του ποταμού, όπου καθώς κινείται το νερό συναντά έναν υδροστρόβιλο, ο οποίος περιστρέφεται και θέτει σε λειτουργία μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος.

3. **Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί αντλησιοταμίευσης.** Η αρχή λειτουργίας των υδροηλεκτρικών σταθμών αντλησιοταμίευσης βασίζεται στην άντληση νερού από τον κάτω ταμιευτήρα στο άνω ταμιευτήρα, ο οποίος έχει μεγάλη υψομετρική διαφορά από τον κάτω, και την απελευθέρωση του νερού από τον άνω ταμιευτήρα προς έναν υδροστρόβιλο, ο οποίος περιστρέφεται και θέτει σε λειτουργία μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος, και εν τέλει στον κάτω ταμιευτήρα.
  4. **Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί παλίρροιας.** Η αρχή λειτουργίας των υδροηλεκτρικών σταθμών παλίρροιας βασίζεται στην πλημμυρίδα και στην άμπωτη, όπου κατά την πλημμυρίδα με την χρήση φράγματος κατακρατείται το νερό, και κατά την άμπωτη το νερό απελευθερώνεται και περιστρέφει έναν υδροστρόβιλο, ο οποίος θέτει σε λειτουργία μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος.
- Ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ.
    1. Στον πίνακα 4.1 αναφέρονται οι κατηγορίες των ΥΒΣ, με βάση την εγκατεστημένη τους ισχύς.

↑↑ Πίνακας 4.1: Κατηγορίες ΥΒΣ ανάλογα με την εγκατεστημένη του ισχύ. ↑↑

Ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ	
Τύπος Σταθμού	Εγκατεστημένης Ισχύος (kW)
micro	≤100
Μικρός	100-1000
Μεσαίος	1000-10000
Μεγάλος	>10000

- Ανάλογα με το ύψος πτώσεως του νερού.
  1. Στον πίνακα 4.2, αναφέρονται οι κατηγορίες των ΥΒΣ, με βάση το ύψος πτώσεως του νερού που διαθέτουν.

↑↑ Πίνακας 4.2: Κατηγορίες ΥΒΣ ανάλογα με το ύψος πτώσεως του νερού. ↑↑

Ανάλογα με το ύψος πτώσης	
Τύπος Σταθμού	Εύρος Ύψους (m)
Μικρός	$H < 15$
Μεσαίος	$15 < H < 50$
Μεγάλος	$H > 50$

#### 4.5.2 Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί →

Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (ΜΥΗΣ) σύμφωνα με την νομοθεσία (Ν.1559/1985 και Ν.2244/1994) ορίζονται ως οι σταθμοί με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη των 10 MW, ενώ με τον καινούριο νόμο 3851/2010 το πλέον ορίζονται ως μικρότεροι των 15 MW. Ένας ΜΥΗΣ (εικόνα 4.2) είναι επί της ουσίας ένας ΥΗΣ φράγματος, όπως περιγράφηκε συνοπτικά παραπάνω, και αποτελείται από:

##### 1. Δομικά Έργα:

2. **Φράγμα (Dam).** Το φράγμα παρεμβάλλεται στην φυσική ροή ενός υδατορεύματος, με σκοπό τη συγκράτηση του νερού και τη δημιουργία ταμιευτήρα που θα παράσχει την απαιτούμενη παροχή νερού στους αγωγούς προσαγωγής.
3. **Εκχειλιστής.** Ο εκχειλιστής διατηρεί την στάθμη του νερού σε χαμηλότερο επίπεδο από την στέψη του φράγματος.
4. **Αγωγοί προσαγωγής (Penstock).** Είναι σωλήνες που μεταφέρουν το νερό από τον ταμιευτήρα στον υδροστρόβιλο.
5. **Σταθμός παραγωγής (Power house).** Εντός του εγκαθίστανται και λειτουργεί ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός.
6. **Αγωγός φυγής εκτόνωσης (Downstream outlet).** Σε αυτόν το αγωγό κινείται το νερό, το οποίο προηγουμένως είχε διέλθει από τον υδροστρόβιλο, έως ότου καταλήξει στην φυσική του ροή.

##### 2. Μηχανολογικός εξοπλισμός:

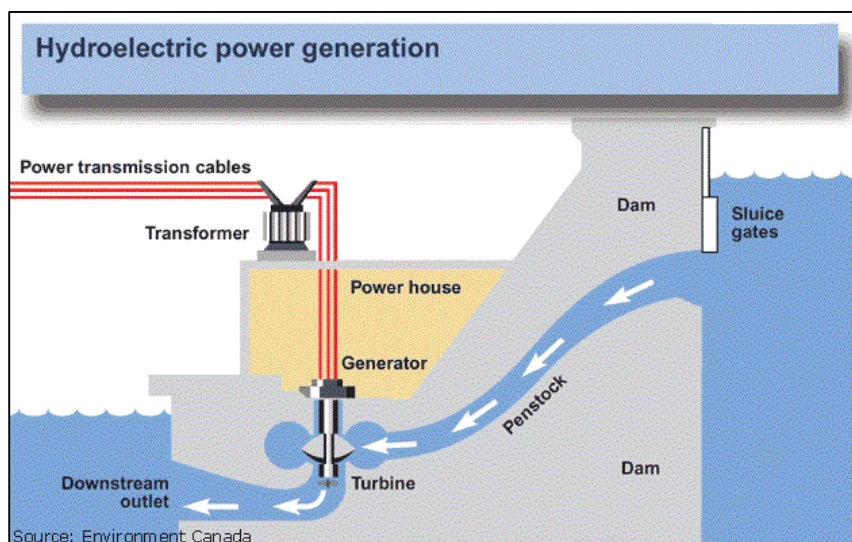
- **Εσχάρα εισαγωγής ύδατος (Sluice gates).** Αποτελεί κατασκευή που αποσκοπεί στην κατακράτηση φερτών υλικών, που παρασύρονται από το κινούμενο νερό, έτσι ώστε να μην καταλήξουν στα περιστρεφόμενα συστήματα του σταθμού και προκληθεί βλάβη.



- **Θυροφράγματα.** Τα θυροφράγματα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του της στάθμης και της ροής του νερού.
- **Υδροστρόβιλος (Water turbine).** Ο υδροστρόβιλος είναι μια περιστρεφόμενη μηχανή που μετατρέπει την δυναμική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια.
- **Ρυθμιστής στροφών.** Εξασφαλίζει την σταθερή ταχύτητα περιστροφής του άξονα του υδροστροβίλου.
- **Πολλαπλασιαστής στροφών.** Προσαρμόζει τις στροφές του άξονα του υδροστροβίλου έτσι ώστε να συμπίπτει με τις στροφές της ηλεκτρογεννήτριας.

### 3. Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός:

- **Ηλεκτρογεννήτρια (Generator).** Είναι μια μηχανή η οποία είναι συνδεδεμένη με τον υδροστροβίλο και μετατρέπει την παραγόμενη μηχανική του ενέργεια σε ηλεκτρική.
- **Μετασχηματιστής (Transformer).** Διάταξη η οποία χρησιμοποιείται για την ανύψωση της παραγόμενης ηλεκτρικής τάσης, από την ηλεκτρογεννήτρια, σε τέτοιο επίπεδο ίσο με αυτό του ηλεκτρικού δικτύου.
- **Όργανα ελέγχου.** Όργανα που ελέγχουν καίρια σημεία της εγκατάστασης, με σκοπό την ομαλή λειτουργία και την αποφυγή ατυχημάτων.
- **Γραμμές μεταφοράς (Power transmission cables).** Γραμμές οι οποίες μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια από τον σταθμό παραγωγής στο σημείο κατανάλωσής της.



↑↑ **Εικόνα 4.2:** Γενική διάταξη υδροηλεκτρικού σταθμού φράγματος. ↑↑

Η λειτουργία ενός ΥΗΣ για την μετατροπή της υδροηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι σχετικά απλή. Στην φυσική ροή ενός ποταμού ή ενός χειμάρρου παρεμβάλλεται ένα φράγμα το οποίο συγκρατεί μεγάλη ποσότητα ύδατος. Όταν είναι απαραίτητο ανοίγουν τα θυροφράγματα ώστε να επιτρέψουν την ροή του ύδατος, όπου οι σωλήνες προσαγωγής το κατευθύνουν με υψηλή πίεση προς τον υδροστροβίλο. Καθώς το νερό προσκρούει πάνω στα πτερύγια του υδροστροβίλου τον περιστρέφει και μαζί με αυτόν περιστρέφεται και η ηλεκτρογεννήτρια που παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα. Το νερό έπειτα μέσω αγωγών καταλήγει και πάλι στην φυσική του ροή, ενώ το ρεύμα που παράγεται καταλήγει στον μετασχηματιστή και εν τέλει στο ηλεκτρικό δίκτυο προς κατανάλωσή του.

#### 4.5.3 Πλεονεκτήματα Μικρών Υδροηλεκτρικών Σταθμών

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα ΜΥΗΣ είναι τα ακόλουθα:

- Διαθέτουν τεχνολογία επαρκώς ανεπτυγμένη, με τις αποδόσεις των υδροστροβίλων να αγγίζουν τιμές της τάξης του 90%, σε σύγκριση με άλλες ΑΠΕ που παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές.
- Έχουν υψηλό συντελεστή δυναμικού (περίπου 50%) σε σύγκριση με τα ηλιακά (10%) και αιολικά (30%).
- Η εκτίμηση της παραγόμενης ικανότητας είναι ευκολότερη διότι είναι ανάλογη με τον ετήσιο ρυθμό βροχόπτωσης.

- Αποτελεί μεγάλης διάρκειας και ώριμη τεχνολογία, καθώς τα συστήματα μπορούν να έχουν διάρκεια ζωής για 50 χρόνια ή και περισσότερο.
- Είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία σε λειτουργία αμέσως μόλις απαιτηθεί.
- Μέσω των υδατοταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγρατόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού.
- Αποτελούν μη καταναλωτικούς παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας, με την αξιοποίηση ανανεώσιμης πηγής, η οποία καθίστανται διαρκώς διαθέσιμη μέσω του υδρολογικού κύκλου από την ενέργεια του ήλιου.
- Δεν συμμετέχουν στην μόλυνση του περιβάλλοντος και δεν απελευθερώνουν θερμότητα. Οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους κρίνονται αμελητέες και για μικρές εγκαταστάσεις είναι δυνατόν να παραλειφθούν πλήρως.
- Είναι δυνατό να σχεδιασθούν και να κατασκευαστούν εντός του χρονικού διαστήματος των δύο ετών. Οι απαιτήσεις έκδοσης αδειών είναι ελάχιστες, ο αντίστοιχος εξοπλισμός είναι άμεσα διαθέσιμος και οι διαδικασίες κατασκευής γνωστές σε βάθος.
- Απαιτούν περιορισμένο προσωπικό. Ορισμένοι μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί λειτουργούν αποκλειστικά με τηλεχειρισμό.

#### 4.5.4 Μειονεκτήματα Μικρών Υδροηλεκτρικών Σταθμών

Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα ΜΥΗΣ είναι τα ακόλουθα:

- Οι μελέτες για την συλλογή-επεξεργασία υδρολογικών και γεωλογικών στοιχείων είναι χρονοβόρες λαμβάνοντας υπόψιν ότι η κατασκευή των σταθμών διαρκεί 1-2 χρόνια.
- Η ετήσια παραγωγή υφίσταται μεταβολές που σχετίζονται με την υδραυλικότητα του έτους, δηλαδή τη ποσότητα των βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων κατά τη διάρκεια του έτους.
- Απαιτούν μεγάλα χρηματοδοτικά κεφάλαια, διότι το κόστος κατασκευής είναι πολύ υψηλό (της τάξεως 2000-4000 €/kW).

- Η κατασκευή του έργου γίνεται σε περιοχές όπου είναι ευνοϊκές και συνήθως αυτές οι περιοχές βρίσκονται μακριά από το δίκτυο, έτσι απαιτούνται επιπρόσθετα έργα για την μεταφορά του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος.

Επίσης, αξίζει να σημειωθούν κάποια διαφορές των ΜΥΗΣ έναντι των Μεγάλων ΥΗΣ:

- Οι ΜΥΗΣ εγκαθιστούν τυποποιημένο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό σε αντίθεση με τους μεγάλους ΥΗΣ.
- Το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ΜΥΗΣ είναι πολύ μικρότερο από αυτό των μεγάλων ΥΗΣ, όπου παρατηρούνται αλλαγές του μικροκλίματος, μέχρι και αύξηση της σεισμικής επικινδυνότητας τους.
- Κατά την δημιουργία ενός ΜΥΗΣ εφαρμόζεται κάτι που κρίνεται απαραίτητο, σε αντίθεση με τον μεγάλο ΥΗΣ όπου εφαρμόζεται κάτι που κρίνεται καλύτερο.

#### 4.6 Υδροστρόβιλος

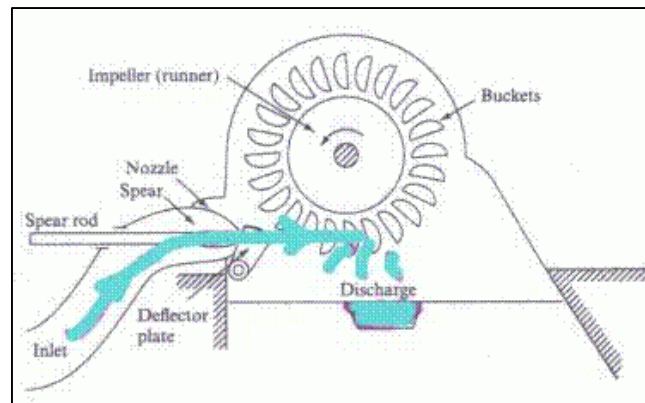
Ο υδροστρόβιλος είναι μια διάταξη που μετατρέπει την ενέργεια ροής του νερού σε μηχανική ενέργεια και συγκεκριμένα σε ροπή, η οποία ασκείται από το νερό στην άτρακτο του δρομέα. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, εκτός ειδικών περιπτώσεων, το διακινούμενο υγρό είναι το φυσικό νερό και η ενέργεια την οποία διαθέτει είναι η δυναμική ενέργεια που εκφράζεται από τη στάθμη του ως προς τη στάθμη της θάλασσας. Οι υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε δράσης και αντίδρασης.

Σε υδροστρόβιλους δράσης (εικόνα 4.3), ο σωλήνας που μεταφέρει το νερό στον στρόβιλο καταλήγει σε ακροφύσιο, που μετατρέπει τη δυναμική ενέργεια του νερού σε κινητική ενέργεια. Το νερό μετά το ακροφύσιο προσπίπτει με υψηλή κινητική ενέργεια στα σκαφίδια, που είναι τοποθετημένα στην περίμετρο του δρομέα και τον περιστρέφει. Μέσα στο στρόβιλο, η κινητική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε ροπή κατά την πρόσκρουση του νερού στα σκαφίδια. Ο κυρίαρχος τύπος υδροστροβίλου δράσης είναι ο Pelton.

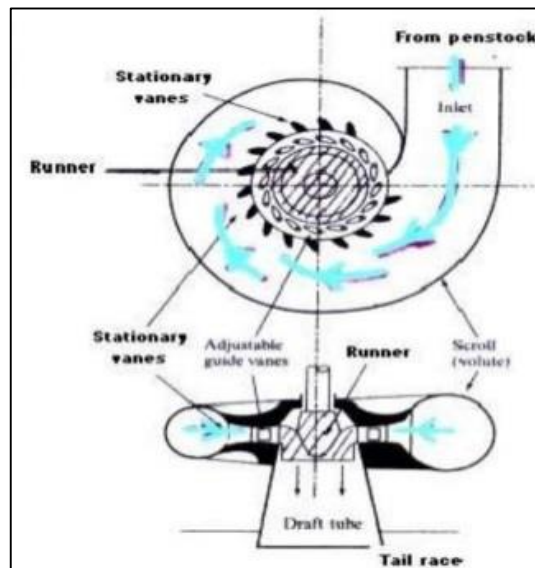
Σε υδροστρόβιλους αντίδρασης (εικόνα 4.4), ο υδροστρόβιλος αποτελεί την απόληξη του αγωγού απορροής και είναι διαρκώς πλημμυρισμένος από νερό. Δηλαδή μεταξύ του αγωγού απορροής και των πτερυγίων του δρομέα δεν παρεμβάλλεται ακροφύσιο που να μετατρέπει τη δυναμική ενέργεια σε κινητική. Η μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε ροπή του δρομέα συμβαίνει μέσω δύο φαινομένων:

1. Της πώσης της στατικής πίεσης του νερού μεταξύ εισόδου και της εξόδου του στροβίλου.
2. Την αλλαγή διεύθυνσης της ταχύτητας του νερού μεταξύ των περυγίων του δρομέα.

Κυρίαρχοι τύποι υδροστροβίλων αντιδράσεως είναι οι Francis και Kaplan.

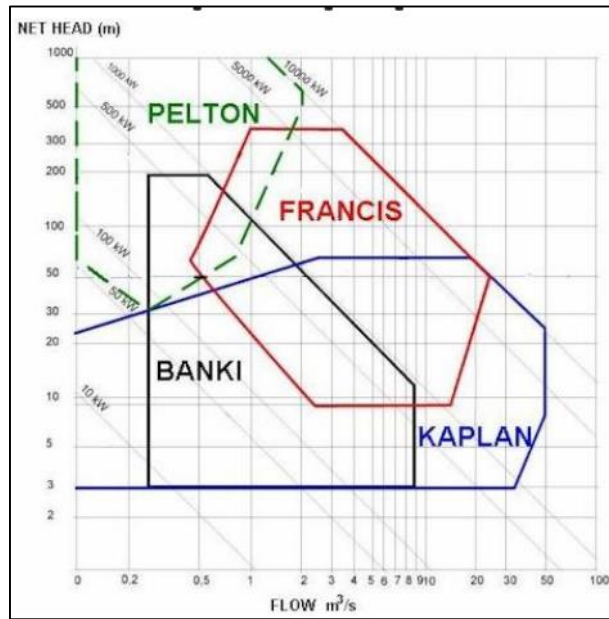


↑↑ Εικόνα 4.3: Υδροστρόβιλος δράσης (Pelton). ↑↑



↑↑ Εικόνα 4.4: Υδροστρόβιλος αντίδρασης (Francis). ↑↑

Η επιλογή του τύπου του υδροστροβίλου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα υδροηλεκτρικό έργο είναι ανάλογα με το ύψος (Net Head) και την παροχή (Flow) της υδατόπτωσης (γράφημα 4.1).



↑↑ Γράφημα 4.1: Διάγραμμα επιλογής υδροτροβίλου. ↑↑

#### 4.7 Υδροηλεκτρική ενέργεια στην Ελλάδα →

Η ανάπτυξη του υδροδυναμικού της Ελλάδας ουσιαστικά συμπίπτει με την ίδρυση της ΔΕΗ (Πρώην ΔΕΔΗΕ) το 1950. Πριν από την ίδρυση της ΔΕΗ, είχαν τεθεί σε λειτουργία πολύ μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια την περίοδο 1927 - 1931 (Γλαύκος, Βέρμιο, Αγιά Χανίων, Αγ. Ιωάννης Σερρών), συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περίπου 6 MW. Την περίοδο 1950 - 1975 κατασκευάστηκαν 8 μεγάλοι ΥΗΣ, συνολικής ισχύος 1410 MW. Την περίοδο 1976 - σήμερα κατασκευάστηκαν 9 μεγάλοι ΥΗΣ και περισσότεροι από 100 ΜΥΗΣ. Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία, στην Ελλάδα, βρίσκονται σε λειτουργία συνολικά 126 ΥΗΣ, συνολικής ισχύος 3398,4 MW, εκ των οποίων:

- Οι 16 είναι μεγάλοι ΥΗΣ, συνολικής ισχύος 3170,7 MW (2018) και ετήσιας παραγωγής 4514,1 GWh. Οι 16 αυτοί ΥΗΣ, με φθίνουσα σειρά όσον αφορά την ονομαστική τους ισχύ, είναι οι εξής:
  1. Κρεμαστά, 437,2 MW
  2. Θησαυρός, 384,0 MW
  3. Πολύφωτο, 375,0 MW
  4. Καστράκι, 320,0 MW
  5. Σφηκιά, 315,0 MW

6. Πουρνάρι I, 300,0 MW
  7. Αώος, 210,0 MW
  8. Παρίωνας, 153,0 MW
  9. Στράτος I, 150,0 MW
  10. Πλαστήρας, 129,9 MW
  11. Πλατανόβρυση, 116,0 MW
  12. Ασώματα, 108,0 MW
  13. Λάδωνας, 70,0 MW
  14. Άγρας, 50,0 MW
  15. Πουρνάρι II, 33,6 MW
  16. Εδεσσαίος, 19,0 MW
- Οι 110 είναι ΜΥΗΣ, συνολικής ισχύος 227,7 MW (2017). Οι 5 πρώτοι από αυτούς τους ΜΥΗΣ, με φθίνουσα σειρά όσον αφορά την ονομαστική τους ισχύ, είναι οι εξής:
    1. Μακροχώρι, 10,8 MW
    2. Σμόκοβο, 10,4 MW
    3. Λούρος, 10,3 MW
    4. Δαφνοζωνάκι, 8,5 MW
    5. Γκιώνα, 8,5 MW

Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία, όσον αφορά τους ΜΥΗΣ, η συνολική ισχύς τους ανέρχεται στα 240,82 MW (2019), εκ των οποίων:

- Τα 239 MW βρίσκονται στο Διασυνδεδεμένο σύστημα, ενώ
- Τα 1,35 MW βρίσκονται στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.

Και η ετήσια παραγωγή τους ανέρχεται στις 718,45 GWh (2018), εκ των οποίων:

- Οι 718 GWh βρίσκονται στο Διασυνδεδεμένο σύστημα, ενώ
- Οι 0,26 GWh βρίσκονται στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.

Στο μέλλον, όσον αφορά τους μεγάλους ΥΗΣ, αναμένεται να λειτουργήσουν 3 έργα:

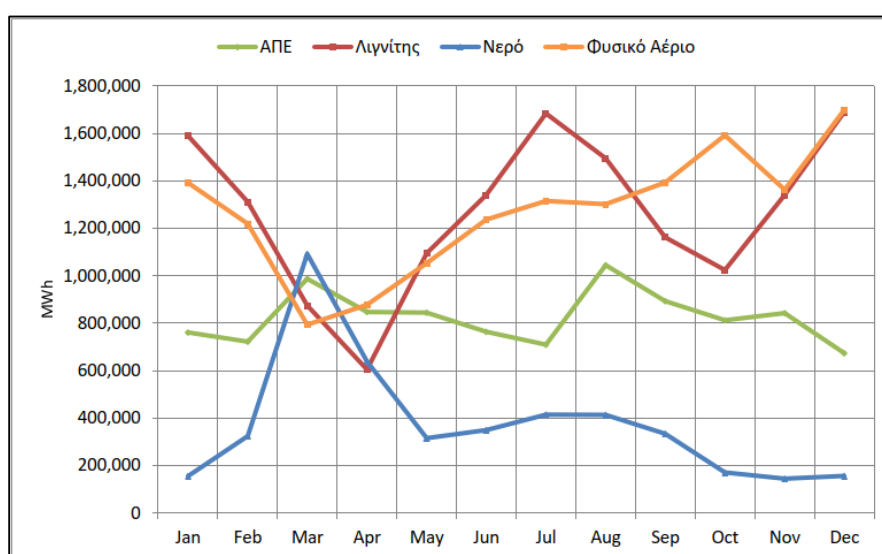
1. Ο ΥΗΣ Μετσοβίτικου με ισχύ 29 MW, ο οποίος βρίσκεται υπό κατασκευή.
2. Ο ΥΗΣ Μεσοχώρας με ισχύ 161,6 MW, ο οποίος είναι ανενεργός και
3. Ο ΥΗΣ Συκιάς με ισχύ 120 MW, ο οποίος είναι και αυτός ανενεργός.

Για τους ΜΥΗΣ, βρίσκονται εν αναμονή προς έγκριση 61 έργα συνολικής ισχύος 199 MW (2017) και ενισχύονται επενδυτικά στο πλαίσιο του “Εθνικού σχεδίου για την ενέργεια και το κλίμα 2019”. Αξίζουν να σημειωθούν κάποιες προβλέψεις όσον αφορά την ΥΗΕ στην Ελλάδα. Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζεται η μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για διάφορες χρονολογικές περιόδους μέχρι το 2040.

↑↑ Πίνακας 4.3: Εξέλιξη υδροηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το έτος 2040. ↑↑

Ηλεκτροπαραγωγή	2016	2020	2025	2030	2035	2040
<b>Εγκατεστημένη Ισχύς [GW]</b>						
Υ/Η	3.4	3.4	3.7	3.9	3.9	4.0
<b>Καθαρή Ηλεκτροπαραγωγή [GWh]</b>						
Υ/Η	5603	5152	5983	6269	6361	6453

Στο γράφημα 4.2, απεικονίζεται η μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά τύπο καυσίμου για το έτος 2018.

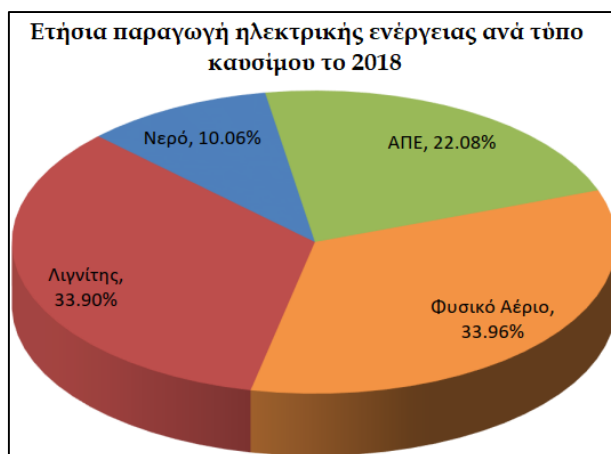


↑↑ Γράφημα 4.2: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά τύπο καυσίμου το 2018. ↑↑



Παρατηρείται ότι, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από τους ΥΗΣ (νερό), είναι μικρότερη από τις υπόλοιπες, με τις παραγωγές των φυσικού αερίου και λιγνίτη να είναι πρώτες και να ακολουθεί αυτή των ΑΠΕ.

Στο γράφημα 4.3, απεικονίζεται το ποσοστό (%) στο σύνολο της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά τύπο καυσίμου για το έτος 2018.



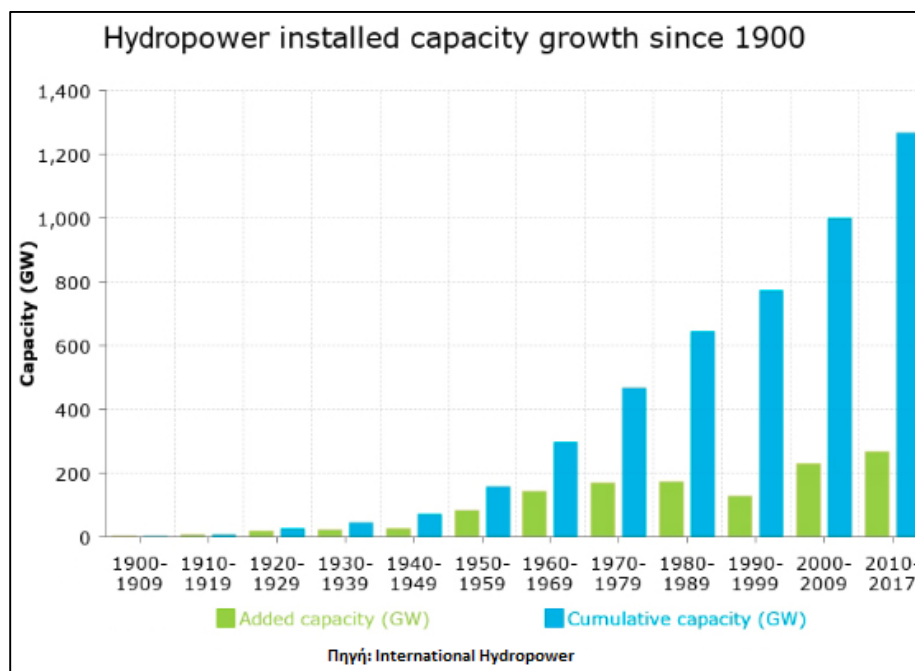
↑↑ **Γράφημα 4.3:** Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά τύπο καυσίμου το 2018. ↑↑

Όπως φαίνεται το 10,06% της ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από τους ΥΗΣ (νερό). Προηγούνται, το Φυσικό Αέριο (33,96%), ο Λιγνίτης (33,90%) και οι ΑΠΕ (22,08%).

#### 4.8 Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Ευρώπη →

Η ΥΗΕ στην Ευρώπη τα τελευταία 70 χρόνια έχει παρουσιάσει τρομερή αύξηση, φτάνοντας στο σημείο όπου το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις ΑΠΕ στην Ευρώπη, προέρχεται από την υδροηλεκτρική ενέργεια. Το 2018, από την ΥΗΕ παρήχθησαν περίπου 643 TWh (δίχως την παραγωγή από μονάδες αντλησιοταμίευσης), η οποία αντιστοιχεί περίπου στο 17% της συνολικής παραγωγής.

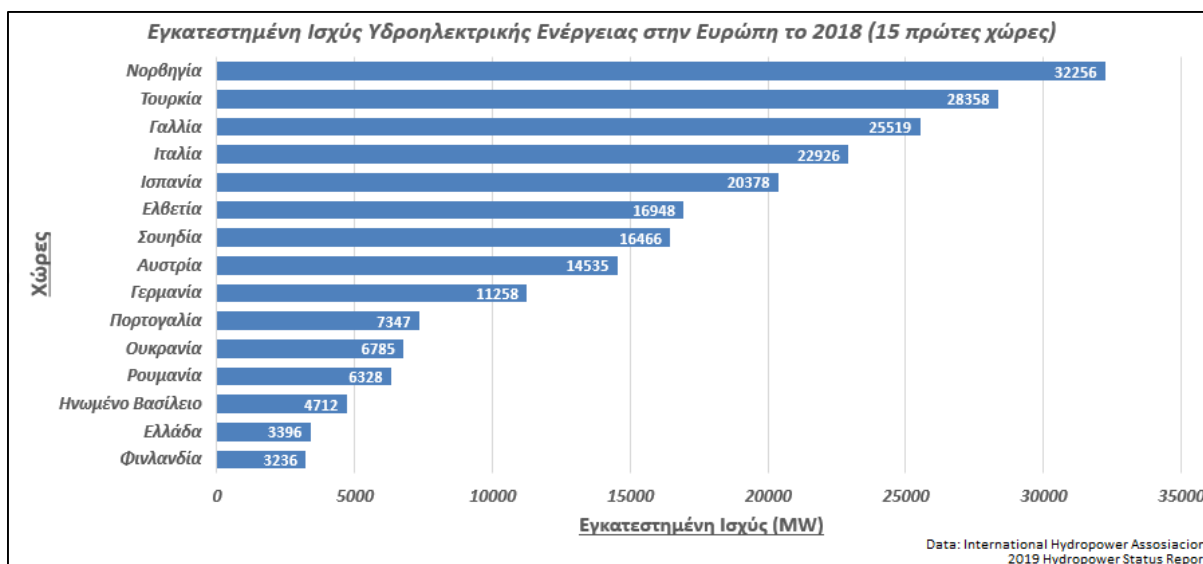
Στο γράφημα 4.4, εμφανίζεται η πορεία που ακολούθησε η ΥΗΕ από το 1900 έως το 2017, όσον αφορά την εγκατεστημένη της ισχύ.



↑↑ **Γράφημα 4.4:** Εγκατεστημένη Ισχύς Υδροηλεκτρικής Ενέργειας, 1900-2017. ↑↑

Η ΥΗΕ στην Ευρώπη συνέχισε την αυξητική της πορεία και το 2018, όπου εγκαταστάθηκαν ΥΒΣ συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των 2,2 GW. Η πλειοψηφία αυτών των ΥΒΣ εγκαταστάθηκαν εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης. Πιο συγκεκριμένα, 1,085 GW στην Τουρκία και 419 MW στην Νορβηγία. Εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 385 MW στην Αυστρία, 88 MW στην Ιταλία και τα υπόλοιπα 225 MW σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες. Η ουσιαστική ανάπτυξη των ΑΠΕ, σε συνδυασμό με τον παροπλισμό των μεγάλης κλίμακας συμβατικών σύγχρονων γεννητριών, ανέβασε τον πήχη της ικανότητας της υδροηλεκτρικής ενέργειας να παρέχει ευλυγισία, με σκοπό την διατήρηση ασφαλή, οικονομικά εφικτής και βιώσιμης παροχής, υπό το πλαίσιο ενεργειακής στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στα τέλη του 2018, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε την στρατηγική της για την ενέργεια και την κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη μέχρι το 2050.

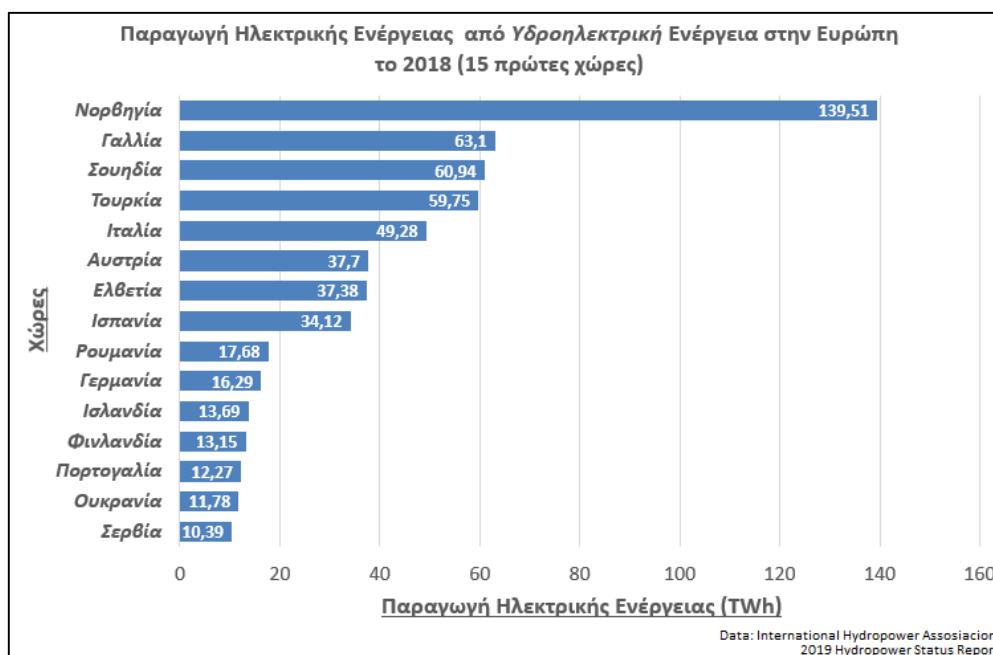
Στο γράφημα 4.5, εμφανίζονται οι πρώτες 15 χώρες της Ευρώπης με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ υδροηλεκτρικής ενέργειας για το 2018.



↑↑ **Γράφημα 4.5:** Εγκατεστημένη Ισχύς Υδροηλεκτρικής Ενέργειας στην Ευρώπη το 2018. ↑↑

Στις πρώτες τρεις θέσεις βρίσκονται, η Νορβηγία (32256 MW), η Τουρκία (28358 MW) και η Γαλλία (25519 MW). Ενώ, στην 14<sup>η</sup> θέση βρίσκεται η Ελλάδα (3396 MW).

Στο γράφημα 4.5, παρουσιάζονται οι πρώτες 15 χώρες της Ευρώπης με την μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΥΗΕ για το 2018.



↑ **Γράφημα 4.6:** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικά στην Ευρώπη. ↑

Στις πρώτες τρεις θέσεις βρίσκονται, η Νορβηγία (139,1 TWh), η Γαλλία (63,1 TWh) και η Σουηδία (60,94 TWh). Πιο αναλυτικά, στον πίνακα 4.4 απεικονίζονται όλα τα στοιχεία των παραπάνω σχημάτων, για όλες τις χώρες της Ευρώπης.

↑↑ Πίνακας 4.4: Υδροηλεκτρική ενέργεια στην Ευρώπη ανά χώρα. ↑↑

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ ΤΟ 2018							
Κατάταξη	Χώρα	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Συνολική Παραγωγή Ενέργειας (TWh)	Κατάταξη	Χώρα	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)	Συνολική Παραγωγή Ενέργειας (TWh)
1	Νορβηγία	32256	139,51	25	Λετονία	1576	2,81
2	Τουρκία	28358	59,75	26	Σλοβενία	1524	5,11
3	Γαλλία	25519	63,1	27	Βέλγιο	1427	0,22
4	Ιταλία	22926	49,28	28	Λουξεμβούργο	1330	0,07
5	Ισπανία	20378	34,12	29	Λιθουανία	1016	0,43
6	Ελβετία	16948	37,38	30	Βόρεια Μακεδονία	674	1,58
7	Σουηδία	16466	60,94	31	Μαυροβούνιο	658	2,04
8	Αυστρία	14535	37,7	32	Ιρλανδία	529	0,91
9	Γερμανία	11258	16,29	33	Λευκορωσία	97	0,41
10	Πορτογαλία	7347	12,27	34	Γροιλανδία	91	0,42
11	Ουκρανία	6785	11,78	35	Μολδαβία	76	0,35
12	Ρουμανία	6328	17,68	36	Κόσοβο	68	0,31
13	Ηνωμένο Βασίλειο	4712	7,83	37	Ουγγαρία	56	0,21
14	Ελλάδα	3396	5,84	38	Ανδόρρα	45	0,12
15	Φινλανδία	3236	13,15	39	Νησιά Φερόε	39	0,11
16	Βουλγαρία	3129	5	40	Ολλανδία	37	0,07
17	Σερβία	2932	10,39	41	Λίχτενσταϊν	35	0,13
18	Σλοβακία	2522	3,78	42	Δανία	9	0,01
19	Βοσνία και Ερζεγοβίνη	2513	6,15	43	Εστονία	8	0,02
20	Πολωνία	2353	2,64	44	Κύπρος	-	-
21	Τσεχία	2268	2,75	45	Γιβραλτάρ	-	-
22	Κροατία	2141	7,71	46	Μάλτα	-	-
23	Ισλανδία	2086	13,69	47	Μονακό	-	-
24	Αλβανία	2020	8,55	48	Άγιος Μαρίνος	-	-

Data: International Hydropower Association, 2019 Hydropower Status Report

Παρατηρείται ότι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για όλη την Ευρώπη το 2018 είναι 252 GW και ότι η συνολική παραγωγή ενέργειας είναι 643 TWh. Η Ευρώπη συγκριτικά με τον υπόλοιπο κόσμο, όσον αφορά την εγκατεστημένη ισχύ και την παραγωγή ενέργειας της υδροηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται κάπου στην μέση. Πιο συγκεκριμένα βρίσκεται στην 2<sup>η</sup> θέση, ως προς την συνολική εγκατεστημένη ισχύ και 4<sup>η</sup> ως προς την συνολική παραγωγή ενέργειας, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.3.

#### 4.9 Υδροηλεκτρική Ενέργεια παγκοσμίως

Η ΥΗΕ παγκοσμίως εν έτη 2018, σύμφωνα με επίσημα στοιχεία, παρουσιάζεται στον πίνακα 4.5.

↑↑ Πίνακας 4.5: Υδροηλεκτρική ενέργεια παγκοσμίως το 2018. ↑↑

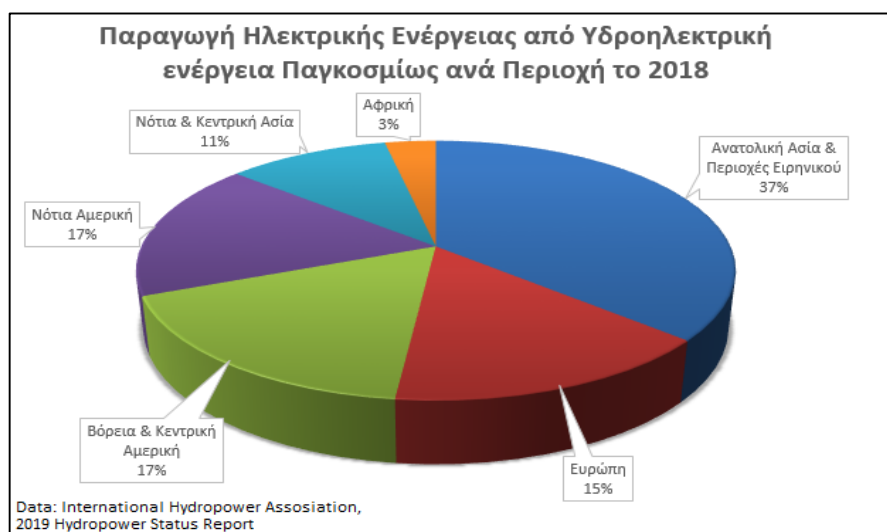
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ ΤΟ 2018		
Περιοχές	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς (GW)	Συνολική Παραγωγή Ενέργειας (TWh)
Ανατολική Ασία & Περιοχές Ειρηνικού	480	1532
Ευρώπη	252	643
Βόρεια & Κεντρική Αμερική	204	720
Νότια Αμερική	171	726
Νότια & Κεντρική Ασία	149	439
Αφρική	36	138

Data: International Hydropower Assosiation, 2019 Hydropower Status Report

Παρατηρείται ότι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς παγκοσμίως το 2018 είναι 1292 GW και ότι η συνολική παραγωγή ενέργειας είναι 4200 TWh. Ενώ, το ποσοστό κάθε περιοχής, επί της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος παγκοσμίως και επί της συνολικής παραγωγής ενέργειας παγκοσμίως, απεικονίζεται στο γράφημα 4.6 και 4.7 αντίστοιχα.



↑↑ Γράφημα 4.7: Ποσοστό κάθε περιοχής ως προς την εγκατεστημένη ισχύ παγκοσμίως. ↑↑



↑↑ **Γράφημα 4.8:** Ποσοστό κάθε περιοχής ως προς την παραγωγή ενέργειας παγκοσμίως. ↑↑

## Κεφάλαιο 5

### Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας

Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά γίνεται λόγος για την ανάγκη που υπάρχει για αποθήκευση ενέργειας, καθώς και τι πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα παρουσιάζει. Στην συνέχεια, αναφέρονται τα συστήματα που υπάρχουν για αποθήκευση ενέργειας. Τέλος, αναφέρονται τα κοινά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν τα συστήματα αυτά, τα οποία χρησιμοποιούνται ως κριτήρια επιλογής ενός συστήματος.

#### 5.1 Ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας

Στο κεφάλαιο 2 έγινε φανερό ότι ο ρόλος των ΑΠΕ είναι καθοριστικός για το παρόν αλλά και για το μέλλον όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η σκέψη αυτή ενισχύεται από τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της χώρας μας και ιδιαίτερα των νησιών μας, όπου οι ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή) είναι άφθονες και η εκμετάλλευσή τους είναι ιδιαίτερα επικερδής για πολλούς τομείς.

Ωστόσο, η ενέργεια που παράγεται από τις ΑΠΕ κυμαίνεται σημαντικά σε ημερήσια, ωριαία και εποχιακή βάση, λόγω της μεταβολής στη διαθεσιμότητα του ήλιου, του ανέμου και των άλλων ανανεώσιμων πηγών. Είναι προφανές λοιπόν ότι οι ΑΠΕ έχουν το μειονέκτημα της χρονικής αναντιστοιχίας της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία δεν μπορεί να ελεγχθεί από τον άνθρωπο, με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Δηλαδή η ενέργεια κάποιες φορές δεν θα είναι διαθέσιμη όταν θα ζητείται, ενώ άλλες θα υπάρχει σε περίσσεια. Επομένως, η ανάγκη της ενσωμάτωσης της ενεργειακής αποθήκευσης στα συστήματα παραγωγής των ΑΠΕ είναι απαραίτητη, είτε για αυτόνομες είτε για διασυνδεδεμένες εγκαταστάσεις στο δίκτυο.

Στα αυτόνομα συστήματα, όπως είναι αυτά πολλών ελληνικών νησιών, η αιολική ενέργεια είναι η πιο ελπιδοφόρα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγόμενη όμως ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες εμφανίζει έντονες διακυμάνσεις, έτσι μια μονάδα αποθήκευσης ενέργειας είναι σημαντική.

Στα διασυνδεδεμένα συστήματα, η ανάγκη για ενεργειακή αποθήκευση ανακόπτει από την ανάγκη κάλυψης των αιχμών ισχύος. Σε τέτοια συστήματα, η μονάδα αποθήκευσης προσθέτει αξία στις διακοπόμενες ανανεώσιμες πηγές, διευκολύνοντας τον καλύτερο συσχετισμό της τροφοδοσίας με τη ζήτηση.

## 5.2 Πλεονεκτήματα αποθήκευσης ενέργειας ↗

Τα σημαντικότερα οφέλη που εμφανίζει η ενεργειακή αποθήκευση είναι τα εξής:

- Αύξηση της αξίας του ηλεκτρισμού που παράγεται από αιολικά και φωτοβολταϊκά συστήματα.
- Άμεση απόκριση και κάλυψη της ηλεκτρικής ενέργειας όταν ζητείται από το δίκτυο.
- Ενίσχυση της ενσωμάτωσης των αιολικών και φωτοβολταϊκών συστημάτων στο ηλεκτρικό δίκτυο με αποτέλεσμα την μείωση των ρύπων και της περιβαλλοντικής αλλοίωσης.
- Εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων που προκύπτουν από τις λειτουργικές δαπάνες ή την επένδυση κεφαλαίων για το δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού.

## 5.3 Μειονεκτήματα αποθήκευσης ενέργειας ↗

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα που εμφανίζει η ενεργειακή αποθήκευση είναι:

- Απώλειες ενέργειας κατά την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε κάποια άλλη μορφή και στην συνέχεια ξανά σε ηλεκτρική.
- Επιπλέον κόστος και πολυπλοκότητα της γενικής διάταξης.
- Επιπλέον υποδομές και απαιτήσεις σε χώρο.

## 5.4 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας ↗

Το ενδιαφέρον για την ενεργειακή αποθήκευση εστιάζεται στην αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της εύκολης μεταφοράς της σε μεγάλες αποστάσεις. Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικά. Επειδή, όμως, δεν είναι εφικτή (οικονομικά) η απευθείας αποθήκευσή της, απαιτείται να μετατραπεί πρώτα σε άλλη μορφή και όταν χρειαστεί να μετατραπεί ξανά σε ηλεκτρική. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές ενεργειακής αποθήκευσης, βασισμένες σε σχεδόν όλες τις μορφές ενέργειας. Έτσι, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί στις ακόλουθες μορφές:



- Σε χημική μορφή (Μπαταρίες).
- Σε μηχανική μορφή υπό την μορφή κινητικής ενέργειας (σφόνδυλοι).
- Υπό την μορφή ηλεκτροστατικού πεδίου, λόγω διαφορετικού ηλεκτρικού φορτίου στους οπλισμούς (υπερπυκνωτές).
- Υπό την μορφή μαγνητικού πεδίου (υπεραγωγοί).
- Υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα (συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμπεσμένου αέρα).
- Σε υδραυλική μορφή (αντλησιοταμίευση).
- Υπό μορφή υδρογόνου (κυψέλες καυσίμου).
- Σε θερμική ενέργεια.

Όπως φαίνεται, τα συστήματα αποθήκευσης είναι διαφορετικών τύπων με συγκεκριμένα τεχνικά και οικονομικά κριτήρια, τα οποία ποικίλουν σημαντικά ανάλογα με τις εφαρμογές και τις ανάγκες. Επομένως, μια συγκριτική μελέτη των συστημάτων αυτών καθίσταται δύσκολη. Ωστόσο, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να διαιρεθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την κλίμακα αποθήκευσης και την εφαρμογή τους:

1. **Διατάξεις βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας.** Χρησιμοποιούνται σε κατανεμημένες εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής (όταν δηλαδή η παραγωγή λαμβάνει χώρα κοντά ή στην ίδια τη θέση της ζήτησης) και έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται στα αιτήματα για μικρά χρονικά διαστήματα.
2. **Διατάξεις μακροπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας.** Είναι κυρίως μεγάλες, κεντρικές εγκαταστάσεις και έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν και να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια για μεγάλες χρονικές περιόδους.

Η πρώτη κατηγορία χρησιμοποιείται σε μικρής κλίμακας συστήματα και είναι κατάλληλες για εφαρμογές ποιότητας ισχύος. Εφαρμόζονται για να βελτιώσουν την ποιότητα ισχύος στα ηλεκτρικά συστήματα και συγκεκριμένα για να διατηρήσουν σταθερή την τάση και την ενεργειακή συνεισφορά, σε περιπτώσεις βυθίσεων ή κυματισμών που διαρκούν για λίγα δευτερόλεπτα ή λεπτά. Στην κατηγορία αυτή

κατατάσσονται οι σφόνδυλοι, οι μπαταρίες, το σύστημα συμπιεσμένου αέρα, οι κυψέλες καυσίμου, οι υπερπυκνωτές και οι υπεραγωγοί.

Η δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιείται σε μεγάλης κλίμακας συστήματα και είναι κατάλληλες για εφαρμογές εξομάλυνσης φορτίων, καθώς και για αποθέματα αιολικής ενέργειας υψηλής χωρητικότητας. Οι διατάξεις αυτές μπορούν να αποθηκεύουν και να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια ωρών ή ημερών, και να συντελούν ειδικότερα στη διαχείριση της ενέργειας, τη ρύθμιση της συχνότητας και τη διαχείριση της συμφόρησης στο δίκτυο. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται η αντλησιοταμίευση, η θερμική ενέργεια, οι μπαταρίες και σύστημα συμπιεσμένου αέρα.

## 5.5 Χαρακτηριστικά συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας

Έγινε φανερό ότι η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε διάφορες μορφές ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενο κάθε φορά σύστημα. Οι διαφορετικές αυτές μορφές αποθήκευσης της ενέργειας έχουν ως αποτέλεσμα τα διάφορα συστήματα ενεργειακής αποθήκευσης να εμφανίζουν διαφορετικά τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά. Με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά πραγματοποιείται η σύγκριση των τεχνολογιών αποθήκευσης, ώστε να επιλεγεί, ανάλογα με την εφαρμογή, κάθε φορά η βέλτιστη τεχνολογία. Οι σημαντικότεροι όροι που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των χαρακτηριστικών των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας είναι:

- **Ενεργειακή πυκνότητα.** Ποσό ενέργειας που μπορεί να αποδοθεί από μια μονάδα ενεργειακής αποθήκευσης ανά μονάδα μάζας ή όγκου της.
- **Αποθηκευτική ικανότητα.** Ποσότητα της διαθέσιμης ενέργειας στο σύστημα αποθήκευσης μετά τη φόρτιση.
- **Εκτιμώμενη ενέργεια.** Χρονικό διάστημα όπου το σύστημα αποθήκευσης μπορεί να παρέχει ενέργεια.
- **Ενεργειακή απόδοση.** Ο λόγος την ενέργειας που αποδίδεται προς την ενέργεια που αποθηκεύεται από το σύστημα.
- **Χρόνος εκφόρτισης.** Χρονική περίοδος κατά την διάρκεια της οποίας ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας αποδεσμεύει την ενέργεια που έχει αποθηκεύσει.

- **Αυτοεκφόρτιση.** Ποσοστό της ενέργειας που αποθηκεύτηκε αρχικά στο σύστημα και παρέμεινε τελείως αναξιοποίητο.
- **Διάρκεια ζωής.** Χρόνος λειτουργίας του συστήματος και εκφράζεται σε έτη ή κύκλους.
- **Κόστος.**
- **Περιβαλλοντικές επιδράσεις.**

## Κεφάλαιο 6

### *Συμβατικά και υβριδικά ενεργειακά συστήματα*

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δοθεί το κριτήριο διάκρισης ανάμεσα σε ένα συμβατικό ενεργειακό σύστημα ή σταθμό παραγωγής και σε ένα υβριδικό ενεργειακό σύστημα. Αρχικά, θα γίνει αναφορά στα συμβατικά και υβριδικά συστήματα, την δομή και τις κατηγορίες τους. Στην συνέχεια, περιγράφεται μια σύγκριση ενός υβριδικού σταθμού (ΥΒΣ) μεγάλης κλίμακας με έναν μικρής κλίμακας, ως προς τις τεχνολογίες που απαρτίζουν τον εκάστοτε σταθμό. Τέλος, αναλύεται η λειτουργία και η δομή ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού συστήματος.

#### 6.1 Συμβατικό ενεργειακό σύστημα

Ένα συμβατικό ενεργειακό σύστημα είναι το σύστημα το οποίο βασίζει την παραγωγή ενέργειας σε μονάδες εγγυημένης και ελεγχόμενης παραγωγής. Τέτοιες μονάδες είναι εκείνες στις οποίες η τροφοδοσία της αρχικής μορφής ενέργειας μπορεί να ελεγχθεί και να προβλεφθεί. Η δυνατότητα ρύθμισης και ελέγχου της τροφοδοσίας της αρχικής μορφής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την δυνατότητα παραγωγής τελικής μορφής ενέργειας όποτε υπάρχει ζήτηση αυτής. Συνήθως μονάδες εγγυημένης παραγωγής είναι εκείνες στις οποίες η αρχική μορφή ενέργειας προέρχεται από μη ΑΠΕ, κυρίως ορυκτά καύσιμα. Η κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης παγκοσμίως μέχρι σήμερα στηρίζεται κυρίως σε συμβατικά ενεργειακά συστήματα, δηλαδή σε μονάδες εγγυημένης παραγωγής. Ένα συμβατικό ενεργειακό σύστημα αποτελείται από τα εξής:

- Τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΠΗΕ), όπου εκεί γίνεται η μετατροπή της αρχικής μορφής ενέργειας σε τελική ηλεκτρική ενέργεια.
- Τις γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες είναι αγωγοί από χαλκό και αλουμίνιο και στηρίζονται πάνω σε πυλώνες.
- Τους μετασχηματιστές, οι οποίοι ρίχνουν την τάση σε συγκεκριμένα επίπεδα ανάλογα τη χρήση που απαιτείται.
- Τους καταναλωτές, οι οποίοι είναι οι τελικοί χρήστες που καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια.

Οι μονάδες παραγωγής σε ένα ΣΠΗΕ, είναι οι μονάδες οι οποίες λειτουργούν με χρήση καυσίμων και παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τέτοιες μονάδες μπορεί να είναι:

1. Θερμοηλεκτρικές μονάδες.
  - Ατμοστρόβιλοι.
  - Ντιζελογεννήτριες.
  - Αεριοστρόβιλοι.
  - Συνδυασμένοι κύκλοι των παραπάνω τύπων.
2. Υδροστρόβιλοι.
3. Ανεμογεννήτριες.
4. Φωτοβολταϊκά.

Τα συμβατικά ενεργειακά συστήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με το αν συνδέονται με άλλα συμβατικά ενεργειακά συστήματα σε:

- Διασυνδεδεμένα, όπου ορίζονται αυτά που είναι διασυνδεδεμένα με γειτονικά συστήματα.
- Μη διασυνδεδεμένα ή απομονωμένα, όπου ορίζονται αυτά που δεν είναι διασυνδεδεμένα με γειτονικά συστήματα και όλες οι ανάγκες της περιοχής αυτής καλύπτονται αποκλειστικά από συστήματα που είναι εγκατεστημένα σε αυτήν την περιοχή.

Τα μη διασυνδεδεμένα ενεργειακά συστήματα χρήζουν μεγαλύτερης ανάγκης για εγκατάσταση υβριδικού ενεργειακού συστήματος, το οποίο παρέχει πολλά πλεονεκτήματα. Πιο αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

## 6.2 Υβριδικό ενεργειακό σύστημα

Ένα υβριδικό ενεργειακό σύστημα είναι το σύστημα το οποίο βασίζει την παραγωγή ενέργειας σε μονάδες μη εγγυημένης και ελεγχόμενης παραγωγής. Τέτοιες μονάδες είναι εκείνες στις οποίες η τροφοδοσία της αρχικής μορφής ενέργειας δεν μπορεί να ελεγχθεί ούτε και να προβλεφθεί. Συνήθως μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής είναι εκείνες στις οποίες η αρχική μορφή ενέργειας προέρχεται από ΑΠΕ,

κυρίως αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση για να επιτευχθεί ο τελικός στόχος της αδιάλειπτης και ασφαλούς παραγωγής ενέργειας, όπως επιτυγχάνουν οι μονάδες εγγυημένης παραγωγής, από τις μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής απαιτούνται επιπλέον, μονάδες αποθήκευσης ενέργειας και μονάδες εγγυημένης παραγωγής. Γενικά, ένα υβριδικό ενεργειακό σύστημα αποτελείται από τα εξής:

- Τις μονάδες βάσης, οι οποίες είναι μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής και αποτελούν τις κύριες μονάδες παραγωγής του εκάστοτε συστήματος.
- Τις μονάδες αποθήκευσης, που αποσκοπούν στην αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας, που προκύπτει όταν η παραγωγή των μονάδων βάσης είναι μεγαλύτερη από την εκάστοτε ζήτηση.
- Τις μονάδες εφεδρείας, που αποσκοπούν στην κάλυψη του ελλείμματος, που προκύπτει όταν η παραγωγή των μονάδων βάσης αλλά και η αποθηκευμένη ενέργεια των μονάδων αποθήκευσης είναι μικρότερη από την εκάστοτε ζήτηση.

### 6.2.1 Πλεονεκτήματα υβριδικού ενεργειακού συστήματος

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει ένα υβριδικό ενεργειακό Σύστημα είναι:

- Μείωση χρόνου λειτουργίας των συμβατικών μονάδων.
  - Μείωση της κατανάλωσης του καυσίμου.
    - Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων προς το περιβάλλον.
      - Βελτίωση της δημόσιας υγείας.
      - Μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη.
    - Μείωση του ετήσιου κόστους για αγορά καυσίμων.
  - Αύξηση χρόνου ζωής των συμβατικών μονάδων.
  - Μείωση του κόστους συντήρησης των συμβατικών μονάδων.
- Μεγιστοποίηση λειτουργίας μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής.
- Μείωση εξάρτησης από τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε τοπικό αλλά και σε εθνικό επίπεδο.
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.
- Ενεργειακή αυτάρκεια και αυτονομία της περιοχής
- Μείωση του κόστους κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος για τους χρήστες.

### 6.2.2 Μειονεκτήματα υβριδικού ενεργειακού συστήματος

Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει ένα υβριδικό ενεργειακό σύστημα είναι:

- Βασίζεται σε μονάδες μη εγγυημένης και μη ελεγχόμενης παραγωγής.
- Μεγάλο κόστος εγκατάστασης.
- Απαιτεί μεγάλες υποδομές.
- Καταλαμβάνει μεγάλη έκταση.

### 6.3 Κατηγοριοποίηση υβριδικών σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας

Πριν την οποιοδήποτε άλλη αναφορά για τους υβριδικούς ΣΠΗΕ, είναι σκόπιμη η κατηγοριοποίησή τους ανάλογα με το μέγεθός τους. Αυτό προκύπτει από το ότι, για διαφορετικά μεγέθη ΥΒΣ, οι κατάλληλες τεχνολογίες για μονάδες βάσης και κυρίως, μονάδες αποθήκευσης, αλλάζουν, με αποτέλεσμα να αλλάζει και ο τρόπος δόμησης του σταθμού και η διαδικασία διαστασιολόγησης και υπολογισμού του. Θα διακριθούν λοιπόν σε σταθμούς μεγάλου και μικρού μεγέθους, ενώ θα οριστεί και μια μεταβατική περιοχή ανάμεσα στις δύο βασικές κατηγορίες. Στο πίνακα 6.1, παρουσιάζονται οι κατηγορίες με βάση την κάλυψη του σταθμού ως προς την ζήτηση ισχύος (Pd: Power Demand).

↑↑ Πίνακας 6.1: Κατηγοριοποίηση υβριδικών σταθμών ανάλογα με την ζήτηση ισχύος. ↑↑

Ανάλογα με την ζήτηση ισχύος	
Τύπος σταθμού	Ζήτηση ισχύος (MW)
Μικρός	<1
Απροσδιόριστος	$1 < Pd < 3$
Μεγάλος	>3

Όπου απροσδιόριστος τύπος σταθμού ορίζεται αυτός που βρίσκεται στην μεταβατική περιοχή, ανάμεσα στις δύο βασικές κατηγορίες, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τις επιμέρους μονάδες ενός υβριδικού ενεργειακού συστήματος, όπως περιγράφηκε και στο κεφάλαιο 6.2, περιγράφονται παρακάτω.

## 6.4 Τεχνολογίες μονάδων υβριδικών σταθμών μεγάλου μεγέθους

Όσον αφορά ΥΒΣ μεγάλου μεγέθους, μια μονάδα βάσης θα πρέπει να πληροί κάποια κριτήρια ώστε να επιλεγθεί. Θα πρέπει να:

- Αποδίδει υψηλή παραγωγή ενέργειας, παρουσιάζονται μεγάλο συντελεστή απασχόλησης.
- Παρουσιάζει χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας.
- Μη συνεπάγεται την κατασκευή πολύ μεγάλης μονάδας αποθήκευσης προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι του ΥΒΣ σχετικά με τη συμμετοχή των μονάδων ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο.

Οι πλέον ώριμες τεχνικά μονάδες βάσης είναι τα:

- Αιολικά πάρκα.
- Φωτοβολταϊκοί σταθμοί.

Με τα αιολικά πάρκα να είναι η πλέον ενδεδειγμένη λύση έναντι των φωτοβολταϊκών.

Όσον αφορά το δεύτερο μέρος της μονάδας, την μονάδα αποθήκευσης, αυτή θα πρέπει να πληροί τα εξής κριτήρια, έτσι ώστε να επιλεγθεί ως καταλληλότερη:

- Μεγάλη χωρητικότητα.
- Η ισχύς φόρτισης/εκφόρτισης να είναι ανάλογη με το μέγεθος της ζήτησης που καλείται να καλύψει.

Οι πλέον ώριμες τεχνικά μονάδες αποθήκευσης είναι:

- Συστήματα αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα.
- Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά.



## 6.5 Τεχνολογίες μονάδων υβριδικών σταθμών μικρού μεγέθους

Όσον αφορά ΥΒΣ μικρού μεγέθους, μια μονάδα βάσης θα πρέπει να πληροί κάποια κριτήρια ώστε να επιλεγθεί. Θα πρέπει να:

- Αποδίδει υψηλή παραγωγή ενέργειας, παρουσιάζονται μεγάλο συντελεστή απασχόλησης.
- Παρουσιάζει χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας.
- Μη συνεπάγεται την κατασκευή πολύ μεγάλης μονάδας αποθήκευσης προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι του ΥΒΣ σχετικά με τη συμμετοχή των μονάδων ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο.

Οι πλέον ώριμες τεχνικά μονάδες βάσης είναι τα:

- Αιολικά πάρκα.
- Φωτοβολταϊκοί σταθμοί.

Όσον αφορά το δεύτερο μέρος της μονάδας, την μονάδα αποθήκευσης, αυτή θα πρέπει να πληροί τα εξής κριτήρια, έτσι ώστε να επιλεγθεί ως καταλληλότερη:

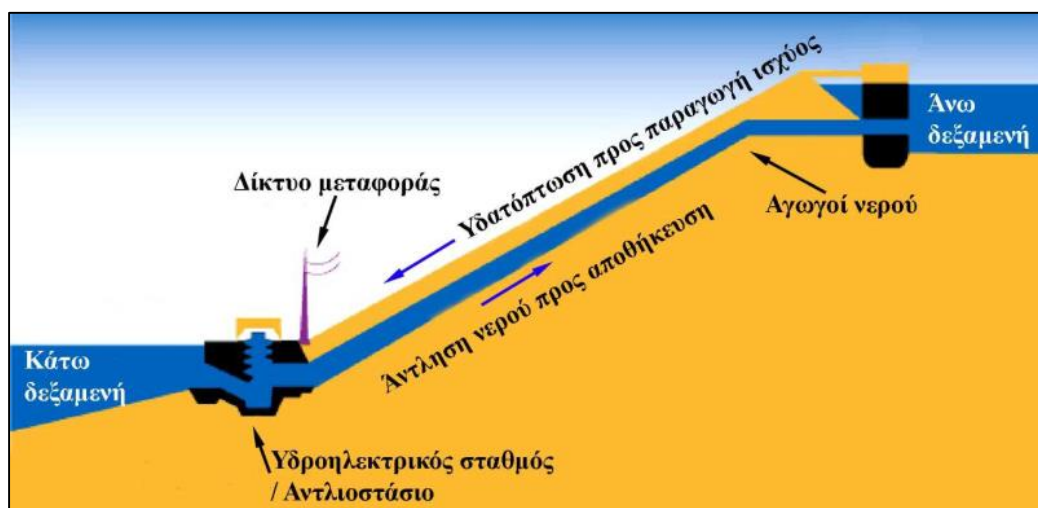
- Μικρή χωρητικότητα.
- Η ισχύς φόρτισης/εκφόρτισης να είναι ανάλογη με το μέγεθος της ζήτησης που καλείται να καλύψει.

Οι πλέον ώριμες τεχνικά μονάδες αποθήκευσης είναι:

- Διάφοροι τύποι ηλεκτροχημικών συσσωρευτών.
- Σταθμοί συμπιεσμένου αέρα μικρού μεγέθους, οι λεγόμενοι micro CAES.
- Κοψέλες καυσίμου, που, πρακτικά αποτελούν ένα ιδιαίτερο τύπο ηλεκτροχημικής αποθήκευσης.

## 6.6 Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά

Η αποθήκευση ενέργειας με τη μέθοδο της αντλησιοταμίευσης ή, διαφορετικά, με αντλησιοταμιευτήρες ή αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά, είναι η περισσότερο τεχνολογικά ώριμη και οικονομικά ανταγωνιστική τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας για ΣΠΗΕ μεγάλου μεγέθους. Δεκάδες αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά, τα οποία έχουν ήδη κατασκευαστεί και λειτουργούν παγκοσμίως κάτω από εντελώς διαφορετικές συνθήκες, καλύπτουν ένα πεδίο ισχύος από 5MW έως 2GW και παρέχουν τεράστια πρακτική εμπειρία σχετικά με τις τεχνικές προδιαγραφές και τις λεπτομέρειες που αφορούν την κατασκευή και τη λειτουργία τους. Η βασική δομή και λειτουργία ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού παρουσιάζεται στην εικόνα 6.1.



↑↑ **Εικόνα 6.1:** Βασική δομή και λειτουργία ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού. ↑↑

Ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό αποτελείται από δύο δεξαμενές νερού, κατασκευασμένες σε όμορες γεωγραφικές θέσεις, με ικανή υψομετρική διαφορά μεταξύ τους, συνήθως μερικών εκατοντάδων μέτρων. Οι χωρητικότητες των δεξαμενών νερού μπορεί να κυμαίνονται από μερικές εκατοντάδες χιλιάδες κυβικά μέτρα, έως μερικά εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Το νερό μπορεί να μεταφέρεται ανάμεσα στις δύο δεξαμενές είτε μέσω μόνης σωληνώσης, η οποία χρησιμοποιείται τόσο για άντληση όσο και για πτώση νερού, είτε μέσω δύο ανεξάρτητων σωληνώσεων, μια για άντληση και μια για πτώση. Το αν θα κατασκευαστούν μια ή δύο ανεξάρτητες σωληνώσεις νερού, μέσω των οποίων θα συνδέονται οι δύο δεξαμενές του

αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού, εξαρτάται από τον αλγόριθμο λειτουργίας του ΥΒΣ, από τον οποίο προκύπτει αν θα υπάρχει η ανάγκη για ταυτόχρονη πτώση και άντληση νερού, δηλαδή, για ταυτόχρονη φόρτιση και εκφόρτιση της μονάδας αποθήκευσης. Τα κάτω άκρα των σωληνώσεων νερού καταλήγουν σε ένα αντλιοστάσιο και σε ένα ΥΗΣ. Όταν κατά τη λειτουργία του ΥΒΣ, υπάρχει περίσσεια ισχύος από τη μονάδα ΑΠΕ που πρέπει να αποθηκευτεί, η ισχύς αυτή οδηγείται στις αντλίες του αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού, μέσω των οποίων το νερό αντλείται από την κάτω και αποθηκεύεται στην άνω δεξαμενή. Με αυτό τον τρόπο, η περίσσεια ενέργειας αποθηκεύεται στην άνω δεξαμενή με τη μορφή δυναμικής ενέργειας, λόγω του βαρυντικού πεδίου της γης. Στην περίπτωση που, κατά τη λειτουργία του ΥΒΣ, προκύψει ανάγκη παραγωγής ισχύος από τη μονάδα αποθήκευσης, το αποθηκευμένο νερό στην άνω δεξαμενή ελευθερώνεται, διέρχεται μέσω των σωληνώσεων και καταλήγει στους υδροστρόβιλους, παρέχοντας έτσι την επιπρόσθετη απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ.

### 6.6.1 Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά για απαλοιφή αιχμών ισχύος

Μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί δεκάδες αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά ανά τον κόσμο, τα οποία έχουν ενταχθεί σε συμβατικούς ΣΠΗΕ αποσκοπώντας στην λεγόμενη απαλοιφή αιχμών ισχύος. Η απαλοιφή αιχμών ισχύος επιτυγχάνεται, αποθηκεύοντας ηλεκτρική ενέργεια από θερμοηλεκτρικές μονάδες βάσης, οι οποίες παρουσιάζουν χαμηλό ειδικό κόστος παραγωγής, κατά τις πρώτες πρωινές ώρες χαμηλής ζήτησης ισχύος, με σκοπό να αποδοθεί στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής ζήτησης ισχύος (μεσημέρι και απόγευμα ή βράδυ, ανάλογα με την εποχή), αποφεύγοντας έτσι την ένταξη στην παραγωγή θερμικών μονάδων αιχμής με υψηλό ειδικό κόστος παραγωγής. Για τη διαδικασία της απαλοιφής αιχμών ισχύος, τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά κατασκευάζονται με μονή σωλήνωση, καθώς η ταυτόχρονη άντληση και πτώση νερού, ουσιαστικά δηλαδή η ταυτόχρονη αποθήκευση και παραγωγή ισχύος από το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό, δεν έχει νόημα.

### 6.6.2 Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά και μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Η συνδυασμένη λειτουργία αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών και μονάδων ΑΠΕ, πρακτικά αιολικών πάρκων, παρόλο που αποτελεί εδώ και δυο δεκαετίες περίπου ένα ιδιαίτερα δημοφιλές θέμα στις επιστημονικές δημοσιεύσεις, έχει εφαρμοστεί στην πράξη ελάχιστα. Ένας ΥΒΣ αιολικού πάρκου - αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση της διείσδυσης της πρωτογενούς ΑΠΕ (αιολική ενέργεια) στην ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για την μεγιστοποίηση της διείσδυσης της πρωτογενούς ΑΠΕ, τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά κατασκευάζονται με διπλή σωλήνωση, μέσω της οποίας είναι δυνατή η ταυτόχρονη άντληση και πτώση νερού. Η εγκατάσταση διπλής σωλήνωσης επιτρέπει την αποθήκευση της περίσσειας ηλεκτρικής ισχύος από το αιολικό πάρκο που δεν επιτρέπεται να διεισδύσει απευθείας στο δίκτυο, ενώ ταυτόχρονα είναι δυνατή η ροή νερού από την ανεξάρτητη σωλήνωση πτώσης, για την κάλυψη από τους υδροστρόβιλους του ελλείμματος στην παραγωγή ισχύος ως προς τη ζήτηση. Η διαθεσιμότητα διπλής σωλήνωσης βελτιώνει, επίσης, την ευελιξία του συστήματος και την ικανότητά του να αντιδράσει σε περίπτωση εμφάνισης συμβάντων και διαταραχών στο ΣΠΗΕ.

## Κεφάλαιο 7

### Το νομικό πλαίσιο

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθεί το νομικό/θεσμικό πλαίσιο που αφορά τις ΑΠΕ, τις Α/Γ, τους ΥΒΣ και για τον κώδικα Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων (ΜΔΝ).

#### 7.1 Θεσμικό πλαίσιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Παρακάτω θα γίνει μια σύντομη περιγραφή των κυριότερων σημείων όσον αφορά το θεσμικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ. Το πλήρως αναλυτικό θεσμικό πλαίσιο που απαρτίζει τις ΑΠΕ μπορεί να βρεθεί στο διαδίκτυο στην ιστοσελίδα του υπουργείου περιβάλλοντος και ενέργειας (ΥΠΕΚΑ).

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, τα αέρια τα εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέρια, όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (σύμφωνα με τον Ν 2773/1999) είναι η ηλεκτρική ενέργεια η προερχόμενη από:

1. Την εκμετάλλευση αιολικής ή ηλιακής ενέργειας ή βιομάζας ή βιοαερίου.
2. Την εκμετάλλευση γεωθερμικής ενέργειας, εφόσον το δικαίωμα εκμετάλλευσης του σχετικού γεωθερμικού δυναμικού έχει παραχωρηθεί στον ενδιαφερόμενο, σύμφωνα με τις ισχύουσες κάθε φορά διατάξεις.
3. Την εκμετάλλευση της ενέργειας από την θάλασσα.
4. Την εκμετάλλευση υδάτινου δυναμικού με ΜΥΗΣ μέχρι 10 MW.
5. Συνδυασμό των ανωτέρω.
6. Τη συμπαραγωγή, με χρήση των πηγών ενέργειας, των (1) και (2) και συνδυασμό τους.

Για την κατασκευή και την λειτουργία ΣΠΗΕ από ΑΠΕ, απαιτείται η έκδοση ή υπογραφή σχετικών αδειών και συμβάσεων. Αυτές χορηγούνται από τους αρμόδιους

κατά περίπτωση φορείς κατόπιν αιτήσεως που συνοδεύεται από τα απαραίτητα δικαιολογητικά και μελέτες. Γενικά, τα βήματα που χρειάζεται να γίνουν είναι τα εξής:

1. Έκδοση άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ΡΑΕ).
2. Ταυτόχρονα (παραλληλισμός διαδικασιών) αιτήσεις για:
  - Διατύπωση προσφοράς σύνδεσης του σταθμού παραγωγής στο σύστημα ή σε δίκτυο (αρμόδιος Διαχειριστής - ΔΕΔΔΗΕ ή ΑΔΜΗΕ).
  - Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.) ή απαλλαγή από Ε.Π.Ο. (Περιφέρεια).
  - Άδεια επέμβασης σε δάσος ή δασική έκταση, εφόσον απαιτείται, ή γενικά των αναγκαίων αδειών για την απόκτηση του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου (Περιφέρεια).
3. Ταυτόχρονα (παραλληλισμός διαδικασιών) ενέργειες για:
  - Έκδοση άδειας εγκατάστασης (με ενσωματωμένη ενιαία άδεια χρήσης νερού και εκτέλεσης έργων όταν πρόκειται για ΜΥΗΣ) (Περιφέρεια).
  - Έκδοση οικοδομικών αδειών (όπου απαιτείται εκτέλεση δομικών έργων) ή άλλων αδειών και εγκρίσεων που τυχόν απαιτούνται και μπορούν να εκδοθούν χωρίς να υπάρχει ακόμα η άδεια εγκατάστασης (Πολεοδομία ή αρμόδια κατά περίπτωση αρχή).
  - Υπογραφή σύμβασης σύνδεσης στο σύστημα ή σε δίκτυο (αρμόδιος διαχειριστής - ΔΕΔΔΗΕ ή ΑΔΜΗΕ). Σύμφωνα με το άρθ.187, ν.4001/2011 (Α'179) που τροποποιεί το άρθ.8 του ν.3468/2006, η σύναψη της σύμβασης σύνδεσης προηγείται της σύναψης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας.
  - Υπογραφή σύμβασης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας (με το σχετικό αίτημα πρέπει να κατατίθεται και η παραπάνω σύμβαση σύνδεσης) (ΛΑΓΗΕ).
4. Δοκιμαστική περίοδος και έκδοση άδειας λειτουργίας (Περιφέρεια).

## 7.2 Θεσμικό πλαίσιο ανεμογεννητριών

Η διαδικασία αδειοδότησης ποικίλει ανάλογα με την ισχύ των αιολικών πάρκων. Σε χαμηλές και μεσαίες τιμές ισχύος είναι λιγότερο γραφειοκρατική και πιο γρήγορη σε σχέση με την εγκατάσταση μεγάλης ισχύος αιολικών όπου υπάρχουν και άλλοι παράγοντες (πχ περιβαλλοντικοί), οι οποίοι απαιτούν περισσότερες γραφειοκρατικές διαδικασίες και περισσότερο χρόνο για να υλοποιηθούν.

Συγκεκριμένα θα εξεταστεί η αδειοδοτική διαδικασία αιολικών πάρκων διακρίνοντας τις εξής κατηγορίες με βάση την ισχύ τους:

1. Αιολικά πάρκα ισχύος έως 20 kW
2. Αιολικά πάρκα ισχύος από 20-100 kW
3. Αιολικά πάρκα ισχύος από 100 kW-2 MW
4. Αιολικά πάρκα ισχύος άνω των 2 MW

### Αιολικά πάρκα ισχύος έως 20 kW.

Επειδή η ισχύς βρίσκεται κάτω από 100KW το αιολικό πάρκο με ισχύ έως 20KW εξαιρείται από την έκδοση άδειας παραγωγής, άδειας εγκατάστασης και άδειας λειτουργίας. Η εξαίρεση από την άδεια παραγωγής γίνεται ύστερα από αίτηση προς τη ΡΑΕ, η οποία αποφασίζει μετά από γνωμοδότηση της περί μη κορεσμού του δικτύου. Εφόσον, υπάρχει η εξαίρεση από την άδεια παραγωγής δεν απαιτείται ούτε η έκδοση άδειας λειτουργίας ούτε η έκδοση άδειας εγκατάστασης. Ακόμη, λόγω της ισχύος κάτω από 20KW δεν απαιτείται ούτε έκδοση άδειας εγκρίσεως περιβαλλοντικών όρων παρά μόνο βεβαίωση εξαίρεσεως αυτής, η οποία εκδίδεται μέσα σε 20 ημέρες από την περιβαλλοντική υπηρεσία της αρμόδιας Περιφέρειας. Ο επενδυτής ζητά ταυτόχρονα την έκδοση προσφοράς σύνδεσης από τον Αρμόδιο Διαχειριστή (ΔΕΣΜΗΕ στο διασυνδεδεμένο, ΔΕΗ στο μη διασυνδεδεμένο). Ο διαχειριστής εκδίδει την προσφορά σύνδεσης σε 4 μήνες, η οποία καθίσταται δεσμευτική όταν εκδοθεί η βεβαίωση εξαίρεσης από την ΕΠΟ. Αφού, καταστεί δεσμευτική η προσφορά σύνδεσης ο δικαιούχος ενεργεί για τη σύναψη της Σύμβασης Σύνδεσης και της Σύμβασης Πώλησης σύμφωνα με τα άρθρα 9,10 και 12 και τους κώδικες διαχείρισης του συστήματος και του δικτύου.

### Αιολικά πάρκα ισχύος από 20-100 kW

Επειδή η ισχύς βρίσκεται κάτω από 100 KW το αιολικό πάρκο εξαιρείται από την έκδοση άδειας παραγωγής, εγκαταστάσεως και λειτουργίας. Η διαδικασία που ακολουθείται από τον δικαιούχο είναι αυτή που αναφέρθηκε παραπάνω. Όμως, επειδή η ισχύς υπερβαίνει τα 20KW πρέπει να εκδοθεί άδεια ΕΠΟ. Η ΕΠΟ εκδίδεται από τον Γενικό Γραμματέα της αρμόδιας Περιφέρειας μέσα σε 4 μήνες από την κατάθεση της αίτησης. Για την προσφορά σύνδεσης και την υπογραφή της συμβάσεως σύνδεσης και πώλησης ακολουθείται η διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω.

### Αιολικά πάρκα ισχύος από 100 kW-2 MW

Επειδή, το αιολικό πάρκο έχει ισχύ ανωτέρα των 100KW πρέπει να εκδοθεί άδεια παραγωγής. Για αυτό απαιτείται αίτηση προς τη ΡΑΕ η οποία αποφασίζει μέσα σε 2 μήνες και ο Υπουργός ανάπτυξης ελέγχει τη νομιμότητα της μέσα σε 20 ημέρες από τότε που θα την παραλάβει. Στη συνέχεια πρέπει να εκδοθεί άδεια ΕΠΟ. Στην αρμόδια αρχή πρέπει να κατατεθεί πλήρης φάκελος του έργου και μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η άδεια ΕΠΟ εκδίδεται από το Νομάρχη σε 2 μήνες όταν το έργο εντάσσεται από τον αρμόδιο Γενικό Γραμματέα της Περιφέρειας στη Δεύτερη κατηγορία και στην υποκατηγορία τρία ή τέσσερα. Στη συνέχεια πρέπει να εκδοθεί η άδεια εγκατάστασης. Όταν υπεύθυνος για ΕΠΟ είναι ο Γενικός Γραμματέας της οικείας Περιφέρειας ή ο Νομάρχης τότε τα δικαιολογητικά εφόσον είναι πλήρη ελέγχονται μέσα σε 30 ημέρες και εκδίδεται η άδεια εγκατάστασης μέσα σε 15 ημέρες από τον έλεγχο. Όταν είναι υπεύθυνος για την έκδοση ΕΠΟ ο Υπουργός Ανάπτυξης τότε τα δικαιολογητικά ελέγχονται μέσα σε 30 ημέρες και η άδεια εκδίδεται μέσα σε 15 ημέρες από τον έλεγχο. Ακόμη, ο δικαιούχος πρέπει να έχει ήδη κάνει αίτηση για προσφορά σύνδεσης στο Διαχειριστή του συστήματος, ο οποίος εκδίδει την προσφορά σύνδεσης μέσα σε 4 μήνες και η οποία καθίσταται δεσμευτική αφού εκδοθεί η ΕΠΟ. Στη συνέχεια ο δικαιούχος υπογράφει την Σύμβαση σύνδεσης και πώλησης και προβαίνει σε αίτηση για την έκδοση άδειας λειτουργίας στο Νομάρχη ο οποίος είναι υπεύθυνος για την έκδοση της άδειας εγκατάστασης. Με την αίτηση του δικαιούχου κλιμάκιο της υπηρεσίας ή του ΚΑΠΕ ελέγχει την εγκατάσταση και εκδίδει την άδεια λειτουργίας μέσα σε 20 ημέρες από τον έλεγχο.



### Αιολικά πάρκα ισχύος άνω των 2 MW

Η διαδικασία που ακολουθείται για την έκδοση των αδειών παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας και για την ΕΠΟ είναι η ίδια μόνο που επειδή τα αιολικά έργα με ισχύ άνω των 2MW ανήκουν σε ανώτερη κατηγορία υπεύθυνος για την έκδοση άδειας εγκατάστασης είναι ο Υπουργός Ανάπτυξης την οποία εκδίδει μέσα σε 15 ημέρες μετά από έλεγχο των δικαιολογητικών που διαρκεί το πολύ σε 30ημέρες. Τέλος και η άδεια λειτουργίας εκδίδεται από τον Υπουργό Ανάπτυξης μετά από έλεγχο κλιμακίου του Υπουργείου ή του ΚΑΠΕ. (yρεka.gr).

### 7.3 Θεσμικό πλαίσιο υβριδικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής

Υβριδικός λέγεται κάθε σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που (Ν.3468/2006, ΦΕΚ.Α'129, αρθ.2, §25):

1. Χρησιμοποιεί μια τουλάχιστον μορφή ΑΠΕ.
2. 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.
3. Η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων του σταθμού ΑΠΕ δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού προσαυξημένη κατά 20%.

Αν η χωρητικότητα της δεξαμενής θεωρηθεί άπειρη και όλη η ενέργεια που παράγεται από τα αιολικά πάρκα οδηγείται κατ' αρχήν για αποθήκευση για να αποδοθεί την επόμενη ημέρα από τους υδροστρόβιλους στο κεντρικό δίκτυο, τότε υπάρχουν τα ακόλουθα σενάρια:

- *Περίπτωση Α:* η συνολική παραγόμενη ισχύς των αιολικών πάρκων είναι μικρότερη από  $P_{\text{rump}}$  MW, οπότε όλη η παραγόμενη αιολική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί στο σύνολό της.
- *Περίπτωση Β:* η συνολική παραγόμενη ισχύς των αιολικών πάρκων είναι μεγαλύτερη από  $P_{\text{rump}}$  MW και μικρότερη των  $1.2 \cdot P_{\text{rump}}$  MW. Σε αυτή την περίπτωση το μέρος που είναι μεγαλύτερο από τα  $P_{\text{rump}}$  MW δόναται να αποδοθεί απευθείας στο κεντρικό δίκτυο, εφόσον υπάρχει το περιθώριο έγχυσης επιπλέον ισχύος από ΑΠΕ, διαφορετικά απορρίπτεται.

- *Περίπτωση Γ:* η συνολική παραγόμενη ισχύς των αιολικών πάρκων είναι μεγαλύτερη από  $1.2 \cdot P_{\text{pump}} \text{ MW}$ , οπότε το ποσό της ενέργειας που αντιστοιχεί στην ισχύ η οποία είναι μεγαλύτερη από  $1.2 \cdot P_{\text{pump}} \text{ MW}$  απορρίπτεται απευθείας.

Για την αδειοδότηση των ΥΒΣ και την υπογραφή των συμβάσεων ακολουθείται η ίδια διαδικασία (ενότητα 7.1) με τους απλούς σταθμούς παραγωγής από ΑΠΕ αντίστοιχης τεχνολογίας και ισχύος (Ν.3468/2006, ΦΕΚ.Α'129, αρθ.6, §§1,6).

Η αίτηση για χορήγηση άδειας παραγωγής πρέπει να συνοδεύεται και από αναλυτική ενεργειακή μελέτη στην οποία περιγράφονται ο τρόπος ένταξης και λειτουργίας του σταθμού στο ηλεκτρικό δίκτυο σε ετήσια βάση και για κάθε ώρα κατανομής, η υποχρέωση για εγγυημένη παροχή ισχύος και οι όροι και προϋποθέσεις λειτουργίας τους (βλ. και Υπουργική Απόφαση ΥΑΠΕ/Φ1/14810 -, Κεφάλαια ΣΤ' για το διασυνδεδεμένο δίκτυο, και Ζ' για τα ΜΔΝ). Τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την εκπόνηση της μελέτης αυτής, καθορίζονται από τη ΡΑΕ και γνωστοποιούνται από τον αρμόδιο Διαχειριστή σε κάθε ενδιαφερόμενο για εγκατάσταση ΥΒΣ. Στην αίτηση επίσης περιλαμβάνεται και πρόταση τιμολόγησης της διαθεσιμότητας της ισχύος των μονάδων ελεγχόμενης παραγωγής του ΥΒΣ, της παραγόμενης καθώς και της απορροφούμενης από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (βλ. και Παραρτήματα 1 και 3 του παραπάνω "Κανονισμού"). Οι ενδιαφερόμενοι μπορούν επίσης να αναζητήσουν στη ΡΑΕ (δες Ν.3468, αρθ.6,§3, εδάφιο β'), περισσότερες πληροφορίες και στοιχεία για τις δυνατότητες ανάπτυξης ΥΒΣ σε κάθε ΜΔΝ (ενδεικνυόμενες τεχνολογίες, τύποι και μεγέθη μονάδων, κ.ά.).

Για τους ΥΒΣ προσδιορίζονται διακριτά αμοιβές ως εξής:

- Αμοιβή για την έγχυση ενέργειας στο σύστημα ΜΔΝ, με βάση τις τιμολογήσεις που προβλέπονται από τις σχετικές κείμενες διατάξεις, καθώς και τους σχετικούς ειδικούς όρους των οικείων αδειών παραγωγής και συμβάσεων πώλησης.
- Αμοιβή για τη διαθεσιμότητα ισχύος, για τους σταθμούς για τους οποίους αυτή προβλέπεται από τις κείμενες διατάξεις, με βάση τα οριζόμενα στις διατάξεις

αυτές, καθώς και στους σχετικούς ειδικούς όρους των οικείων αδειών παραγωγής και συμβάσεων πώλησης.

- Αμοιβή για επικουρικές υπηρεσίες του άρθρου 224 τις οποίες παρέχουν υποχρεωτικά ή κατόπιν επιλογής τους, σύμφωνα με το άρθρο 166.

#### 7.4 Κώδικας διαχείρισης μη διασυνδεδεμένων νήσων

Παρακάτω θα γίνει μια σύντομη περιγραφή των κυριότερων σημείων όσον αφορά τον κώδικα διαχείρισης ΜΔΝ. Ο πλήρης κώδικας διαχείρισης ΜΔΝ μπορεί να βρεθεί στο διαδίκτυο στην ιστοσελίδα του Διαχειριστή του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ).

Με τον παρόντα κώδικα διαχείρισης ηλεκτρικών συστημάτων ΜΔΝ, ο οποίος εκδόθηκε και ισχύει δυνάμει του άρθρου 130 του νόμου 4001/2011, καθορίζεται το πλαίσιο της λειτουργίας και διαχείρισης των αυτόνομων ηλεκτρικών συστημάτων των ΜΔΝ και της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στα ΜΔΝ της χώρας και ιδίως:

1. Οι αρμοδιότητες, τα δικαιώματα και οι υποχρεώσεις του Διαχειριστή ελληνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.), ως Διαχειριστή των ΜΔΝ και των συμμετεχόντων στην Αγορά ΜΔΝ.
2. Οι διαδικασίες κατάρτισης και εκτέλεσης του προγραμματισμού της ένταξης και λειτουργίας του συνόλου των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συνδέονται στα Συστήματα ΜΔΝ.
3. Οι μεθοδολογίες υπολογισμού τιμημάτων και η διαδικασία εκκαθάρισης συναλλαγών της αγοράς ΜΔΝ.
4. Το πλαίσιο ανάπτυξης των ηλεκτρικών Συστημάτων ΜΔΝ, των συμβατικών σταθμών, των σταθμών ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ και ΥΒΣ και του Δικτύου χαμηλής, μεσαίας και υψηλής τάσης των ΜΔΝ.
5. Οι βασικές προδιαγραφές των μονάδων παραγωγής που εντάσσονται και λειτουργούν στα ΜΔΝ, οι διαδικασίες σύνδεσης των μονάδων και οι ελάχιστοι όροι των συμβάσεων σύνδεσής τους στο δίκτυο ΜΔΝ.
6. Οι προϋποθέσεις και η διαδικασία επιβολής κυρώσεων στους συμμετέχοντες στην αγορά ΜΔΝ.
7. Ο καθορισμός κανόνων ένταξης και λειτουργίας Μονάδων ΑΠΕ/ΣΗΘΥΑ και ΥΒΣ.

## Κεφάλαιο 8

### *Ο υπό μελέτη υβριδικός σταθμός της Σάμου* ↗

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί η λειτουργία και τα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη ΥΒΣ στην Σάμο. Αρχικά, θα γίνει μια σύντομη περιγραφή για τα χαρακτηριστικά της Σάμου. Έπειτα θα περιγραφεί το ενεργειακό σύστημα της Σάμου, από τι αποτελείται και πώς διαμορφώνεται. Τέλος, θα περιγραφεί, ο τύπος η δομή και η λειτουργία του ΥΒΣ.

#### **8.1 Γενικά χαρακτηριστικά της Σάμου** ↗

Η Σάμος ανήκει στο σύμπλεγμα των Σποράδων και βρίσκεται στα ανατολικά του αιγαίου πελάγους. Ο πληθυσμός της ανέρχεται στις 33.335 (απογραφή 2011) και έχει έκταση περίπου 478 km<sup>2</sup>. Η πλούσια βλάστηση και τα βουνά της Σάμου είναι η αιτία για τις πολλές βροχοπτώσεις, κυρίως τον χειμώνα, με μέσο ύψος βροχόπτωσης 918 mm. Επίσης, οι άνεμοι που επικρατούν είναι κυρίως βορινοί, ή αλλιώς μελτέμια, όπου κατά τους θερινούς μήνες πνέουν ακατάπαυστα. Το νησί δεν έχει ποτάμια αλλά έχει πολλές πηγές χάρη στα βουνά και τις βροχές της. Τέλος, λόγω της απουσίας βροχοπτώσεων κατά τους θερινούς μήνες, η Σάμος φημίζεται παγκοσμίως για την ηλιοφάνειά της, κατέχοντας το πανευρωπαϊκό ρεκόρ των 3300 ωρών ηλιοφάνειας τον χρόνο.

#### **8.2 Ενεργειακά χαρακτηριστικά της Σάμου** ↗

Η ετήσια ενεργειακή ζήτηση για την κάλυψη των αναγκών του νησιού ανέρχεται στις 140 GWh ετησίως, ενώ η ημερήσια καμπύλη, κατά μέσο όρο από όλες τις μέρες του έτους, παρουσιάζεται στο γράφημα 8.1. Η καμπύλη φορτίου ενός συστήματος είναι η γραφική παράσταση της ζητούμενης ισχύος συναρτήσει του χρόνου και είναι ιδιαίτερα σημαντική, ώστε η παραγωγή ενέργειας να διαχειρίζεται καλύτερα. Με τον όρο “φορτίο” νοείται η μέση ισχύ ζήτησης των καταναλωτών κατά την διάρκεια μιας ώρας.



↑↑ **Γράφημα 8.1:** Ημερήσια καμπύλη φορτίου για το έτος 2015. ↑↑

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ζήτηση των καταναλωτών και κατ' επέκταση διαμορφώνουν την καμπύλη φορτίου είναι πολλοί, οι κυριότεροι είναι λόγοι ανθρώπινης συμπεριφοράς και εποχιακοί. Όπως παρατηρείται από την καμπύλη, τις πολύ πρωινές ώρες η ζήτηση βρίσκεται στο χαμηλότερο σημείο της, τις μεσημεριανές ώρες αυξάνεται, και τις απογευματινές/βραδινές ώρες κορυφώνεται. Ακόμη, τους καλοκαιρινούς μήνες η μέση ζήτηση ενέργειας είναι μεγαλύτερη από τους χειμερινούς μήνες, κυρίως λόγω τουρισμού.

Η ζήτηση αυτή ικανοποιείται κυρίως από ένα αυτόνομο σταθμό παραγωγής που διαθέτει το νησί και ο οποίος αποτελείται από συνολικά 6 γεννήτριες συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 47,75 MW. Οι 6 αυτές μονάδες παραγωγής δεν λειτουργούν όλες μαζί ταυτόχρονα αλλά ακολουθούν μια σειρά προτεραιότητας.

Επιπλέον, στην κάλυψη της ζήτησης του νησιού συμβάλουν κάποια αιολικά πάρκα και αιολικοί σταθμοί που έχουν ήδη εγκατασταθεί. Στο νησί βρίσκονται σε λειτουργία:

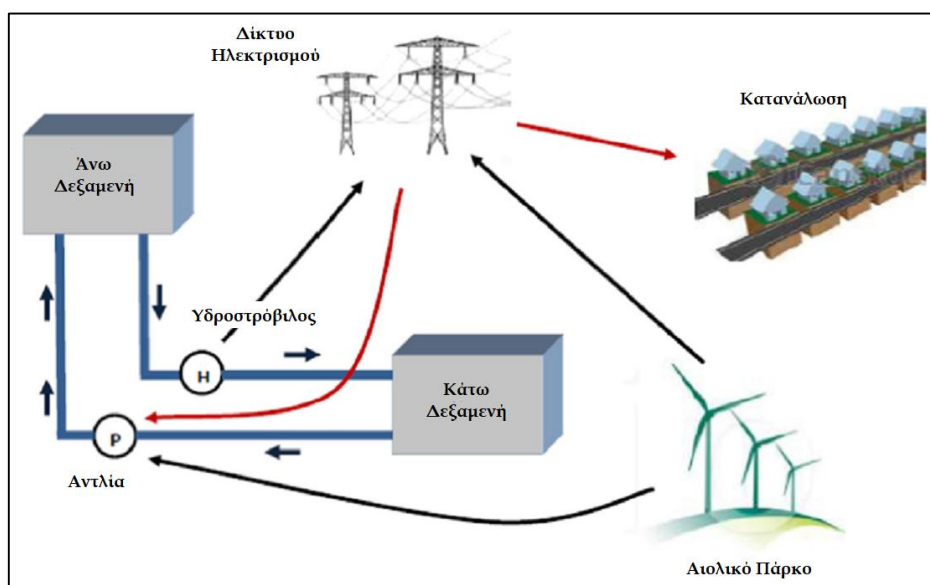
- Συνολικά έξι (6) αιολικά πάρκα, συνολικής ισχύος 7,975 MW.
- Συνολικά εξήντα τρεις (63) Φ/Β σταθμοί, συνολικής ισχύος 4,373 MW και ονομαστικής ισχύος 70 kWp ο κάθε ένας.
- Συνολικά είκοσι τρία (23) Φ/Β σε στέγες με συνολική ισχύ 0,113 MW και ονομαστική ισχύ 5 kWp το κάθε ένα.

Με ετήσιο συντελεστή χρησιμοποίησης (CF) 29,38 %, όσον αφορά τα αιολικά πάρκα και ετήσιο συντελεστή χρησιμοποίησης 17,70% για τους Φ/Β σταθμούς.

### 8.3 Περιγραφή του υπό μελέτη υβριδικού σταθμού της Σάμου ↗

Ο ΥΒΣ που προτείνεται να εγκατασταθεί στην Σάμο, αφορά ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης σε συνδυασμό με αιολικό πάρκο. Η δομή που θα έχει ο εν λόγω σταθμός παρουσιάζεται στην εικόνα 8.1. Το σύστημα θα αποτελείται από τα εξής τμήματα:

1. Ένα αιολικό πάρκο.
2. Μια άνω δεξαμενή νερού.
3. Μια κάτω δεξαμενή νερού.
4. Μια αντλία νερού.
5. Έναν υδροστρόβιλο.



↑↑ Εικόνα 8.1: Δομή υβριδικού σταθμού. ↑↑

και ο τρόπος λειτουργίας του είναι ο ακόλουθος:

Αρχικά, υπάρχει το αιολικό πάρκο το οποίο παράγει ενέργεια μέσω Α/Γ και την διοχετεύει κυρίως στην αντλία νερού και στο δίκτυο ηλεκτρισμού. Η αντλία με την ενέργεια που της παρέχεται μεταφέρει ποσότητα νερού από την κάτω δεξαμενή στην άνω δεξαμενή. Στην συνέχεια, και αφού πλέον μια ικανοποιητική ποσότητα

νερού έχει αντληθεί στην άνω δεξαμενή, το νερό κινείται με υψηλή ταχύτητα προς έναν υδροστρόβιλο, και έπειτα καταλήγει και πάλι στην κάτω δεξαμενή. Στο μεταξύ, κατά αυτό τον τρόπο ο υδροστρόβιλος παράγει ενέργεια, την οποία διοχετεύει στο δίκτυο και κατ' επέκταση στην τελική κατανάλωση.

Ο συγκεκριμένος υβριδικός σταθμός υπάγεται στην κατηγορία αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών απαλοιφής αιχμών ισχύος, οι οποίοι περιγράφονται στην υποενότητα 6.6.1. Κατά την διάρκεια όπου υπάρχει χαμηλή ζήτηση, αντλείται νερό στην άνω δεξαμενή, ενώ κατά την διάρκεια όπου υπάρχει υψηλή ζήτηση, το νερό διοχετεύεται στον υδροστρόβιλο και μετά στην κάτω δεξαμενή.

Τα οφέλη που παρέχει ένα τέτοιο έργο είναι τα εξής:

- Μείωση του χρόνου λειτουργίας των συμβατικών μονάδων που διαθέτει η Σάμος.
  - Μείωση της κατανάλωσης καυσίμου από τις συμβατικές μονάδες.
- Εξισορρόπηση της καμπύλης φορτίου και απαλοιφή αιχμών ισχύος.
- Μεγιστοποίηση λειτουργίας μονάδων ΑΠΕ (Νέων και ήδη εγκατεστημένων).
- Αύξηση της ενεργειακής αυτάρκειας και αυτονομίας της Σάμου.

Όπως για κάθε ΥΒΣ έτσι και για τον συγκεκριμένο, θα πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις. Ισχύει ότι περιλαμβάνει το νομικό πλαίσιο, το οποίο έχει ήδη περιγραφεί στην ενότητα 7.3.

## Κεφάλαιο 9

### Δεδομένα – Υπολογισμοί ↗

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί λεπτομερώς ο τρόπος υλοποίησης και εξαγωγής αποτελεσμάτων της εργασίας αυτής. Αρχικά, θα αναφερθούν τα δεδομένα και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν. Στο μεταξύ, θα αναφερθούν σημαντικοί ορισμοί, καθώς και περιορισμοί που υπάρχουν. Τέλος, θα περιγραφούν οι μέθοδοι υπολογισμού για το ενεργειακό κομμάτι αλλά και για το οικονομικό κομμάτι της εργασίας.

#### 9.1 Εισαγωγή ↗

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να εξετάσει τις επιδράσεις που έχει η εγκατάσταση ενός ΥΒΣ στο νησί της Σάμου, λαμβάνοντας υπόψιν την σκοπιά του διαχειριστή του δικτύου και την σκοπιά του επενδυτή του έργου. Η εργασία προσεγγίστηκε αλγοριθμικά και προγραμματιστικά, όπου με την κατασκευή ενός υπολογιστικού κώδικα, μέσω του λογισμικού της Matlab, μοντελοποιήθηκε στην ουσία ένας ΥΒΣ. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε χρησιμοποιεί ωριαία δεδομένα για ένα έτος και τα στοιχεία που εισήχθησαν είναι κατά το δυνατόν ρεαλιστικά.

#### 9.2 Δεδομένα ↗

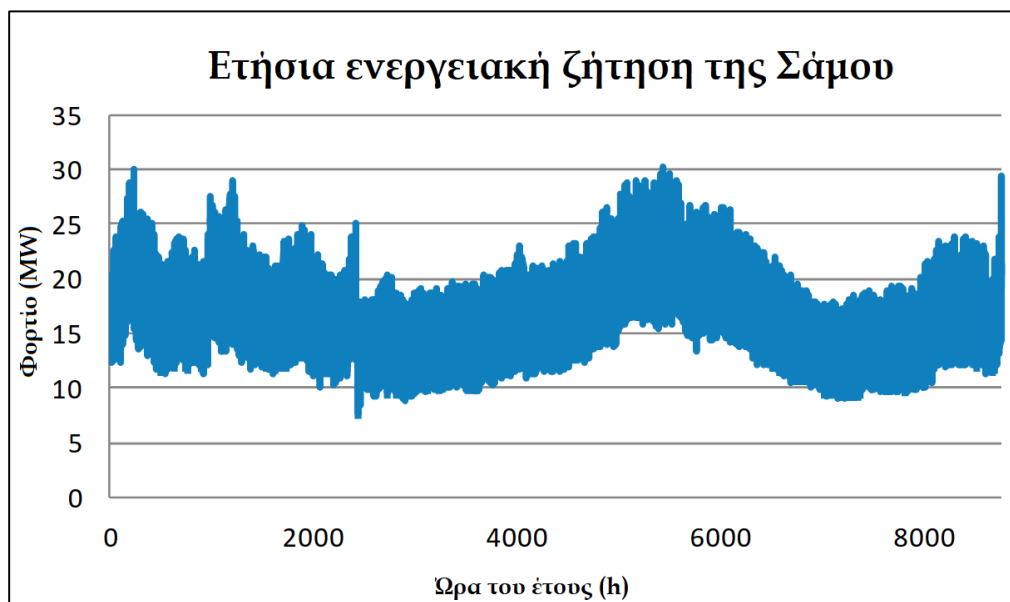
Για την μοντελοποίηση του ΥΒΣ χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα της Σάμου, τα οποία ήταν τα εξής:

1. Δεδομένα ετήσιας ενεργειακής ζήτησης της Σάμου.
2. Δεδομένα αιολικού δυναμικού της Σάμου.
3. Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας της Σάμου.
4. Τεχνικά χαρακτηριστικά Αυτόνομου Συστήματος Παραγωγής Σάμου (ΑΣΠ).



### Δεδομένα ετήσιας ενεργειακής ζήτησης της Σάμου

Στο γράφημα 9.1, απεικονίζονται τα δεδομένα της ετήσιας ενεργειακής ζήτησης της Σάμου. Τα δεδομένα αυτά αφορούν το 2015 και αποτελούνται από 8760 ωριαίες τιμές (ένα έτος).

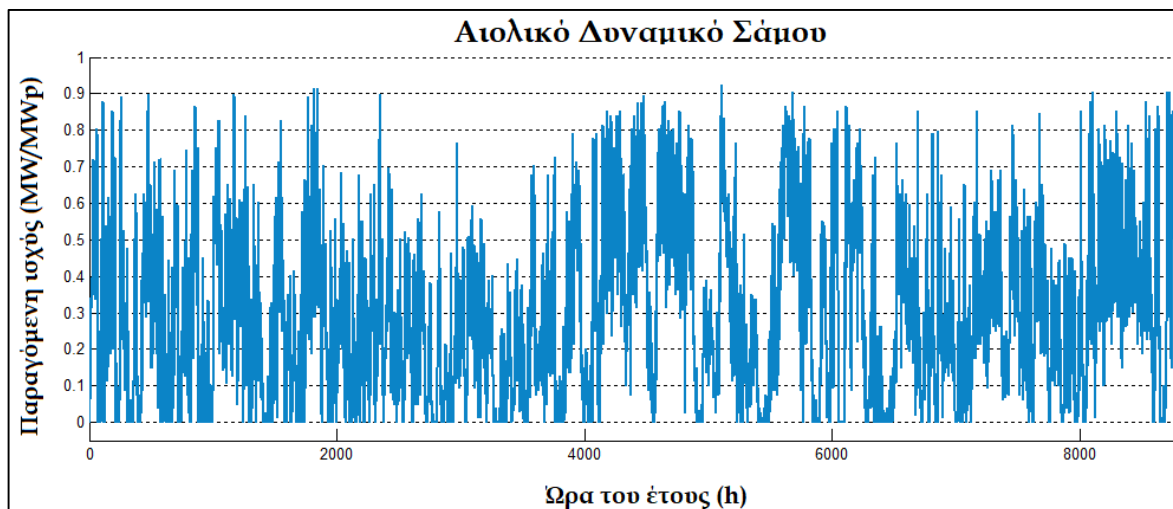


↑↑ Γράφημα 9.1: Ετήσια ενεργειακή ζήτηση της Σάμου. ↑↑

Παρατηρείται ότι το φορτίο κατά την έναρξη του καλοκαιριού (~4000) ακολουθεί αυξητική πορεία μέχρι στα μέσα του καλοκαιριού όπου έπειτα αρχίζει να μειώνεται μέχρι την λήξη του καλοκαιριού (~6500), όπου και επανέρχεται σε κανονικά επίπεδα. Αυτό συμβαίνει, κυρίως διότι τους καλοκαιρινούς μήνες η Σάμος έχει αυξημένη τουριστική δραστηριότητα σε σχέση με τους χειμερινούς μήνες.

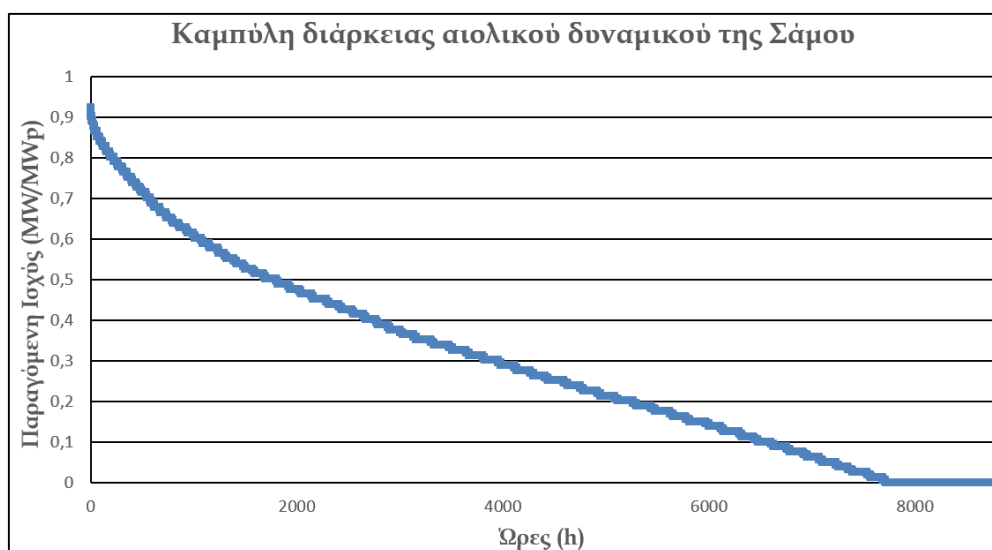
### Δεδομένα αιολικού δυναμικού της Σάμου

Παρακάτω απεικονίζονται δύο γραφήματα, το 9.2 αφορά την παραγόμενη ισχύ ανά MW εγκατεστημένης ισχύος αιολικών της Σάμου και το 9.3 αφορά την καμπύλη διάρκειας της παραγόμενης ισχύος ανά MW εγκατεστημένης ισχύος αιολικών της Σάμου. Τα δεδομένα αφορούν το 2015 και αποτελούνται από 8760 ωριαίες τιμές (ένα έτος).



↑↑ Γράφημα 9.2: Ετήσιο αιολικό δυναμικό της Σάμου. ↑↑

Τα δεδομένα του γραφήματος 9.2 είναι απαραίτητα καθώς χωρίς αυτά δεν είναι εφικτός ο υπολογισμός της παραγόμενης ισχύος από τα αιολικά πάρκα.

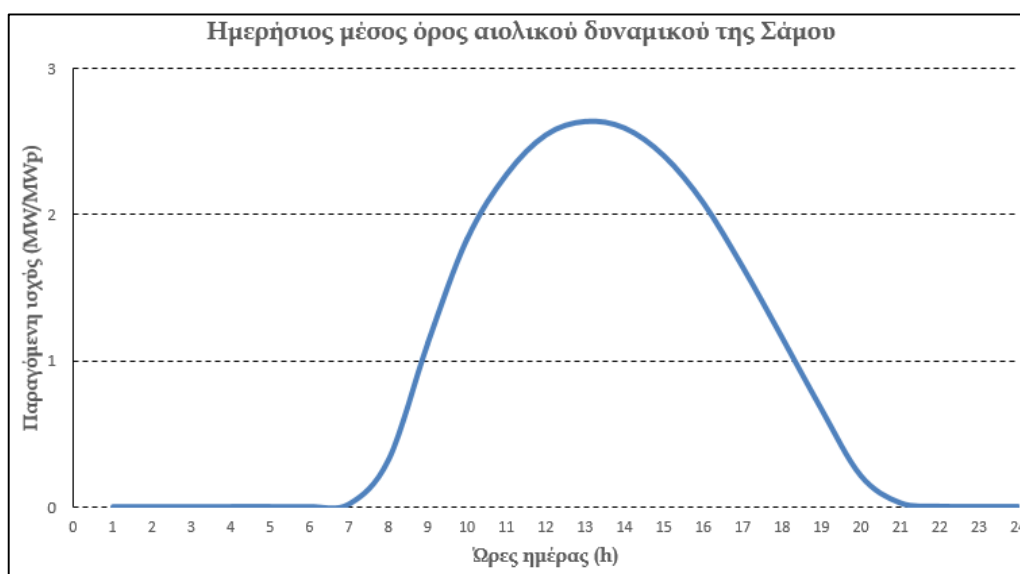


↑↑ Γράφημα 9.3: Ετήσια καμπύλη διάρκειας αιολικού δυναμικού της Σάμου. ↑↑

Η καμπύλη διάρκειας του αιολικού δυναμικού της Σάμου, παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πόσες ώρες μια τιμή  $X$  υπερβαίνει η παραγόμενη ισχύς ανά ΜW εγκατεστημένης ισχύος αιολικών μια τιμή  $Y$ .

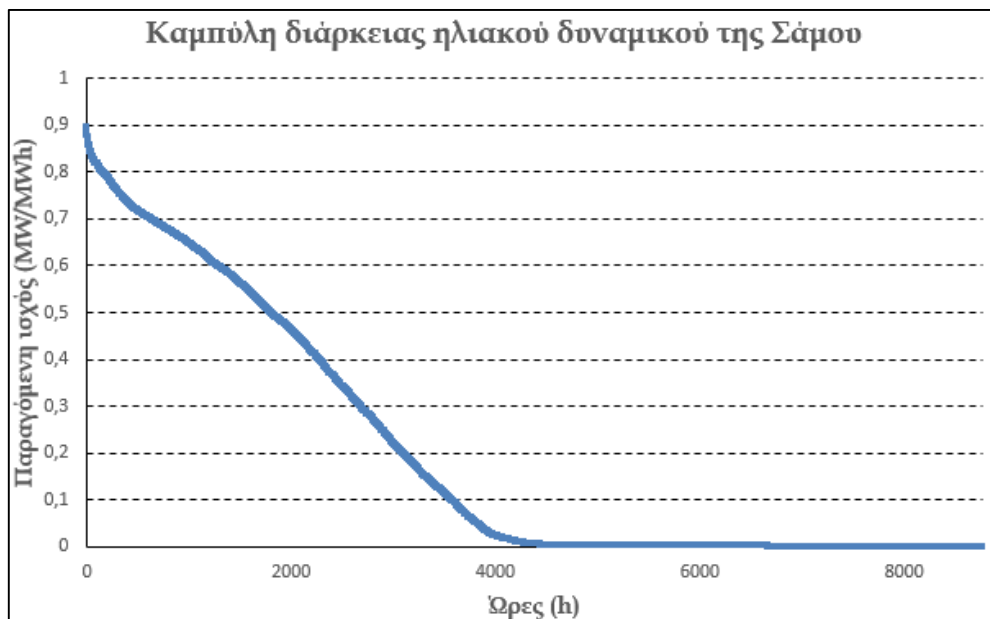
### Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας της Σάμου

Παρακάτω απεικονίζονται δύο γραφήματα, το 9.4 αφορά την κατά μέσο όρο ημερήσια παραγόμενη ισχύς ανά MW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών της Σάμου σε ένα έτος και το 9.5 αφορά την καμπύλη διάρκειας της παραγόμενης ισχύος ανά MW εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών της Σάμου. Τα δεδομένα αυτά αφορούν δεδομένα της Κρήτης για το 2014 και αποτελούνται από 8760 ωριαίες τιμές (ένα έτος). Με βάση τον χάρτη ηλιακής ακτινοβολίας της Ελλάδας, θεωρήθηκε ότι η Σάμος και η Κρήτη δέχονται σχεδόν την ίδια ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι, τα δεδομένα ηλιακής παραγωγής της Κρήτης για το 2014 ανάχθηκαν στην Σάμο.



↑↑ **Γράφημα 9.4:** Ημερήσιος μέσος όρος ηλιακού δυναμικού της Σάμου. ↑↑

Στο γράφημα 9.4, είναι ξεκάθαρη η διακύμανση που έχει η καμπύλη λόγω της εναλλαγής νύχτας-ημέρας. Τις πρώτες πρωινές ώρες η ηλιοφάνεια ακολουθεί μια αυξητική πορεία μέχρι το Μεσημέρι, όπου εμφανίζεται η μεγαλύτερη τιμή, και μετά το πέρας του μεσημεριού η ηλιοφάνεια μειώνεται σταδιακά. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ηλιοφάνεια, και κατ' επέκταση την παραγόμενη ισχύς, εκτός από την διακύμανση νύχτας-ημέρας, είναι εποχιακοί και καιρικοί.



↑↑ **Γράφημα 9.5:** Ετήσια καμπύλη διάρκειας ηλιακού δυναμικού της Σάμου. ↑↑

Η καμπύλη διάρκειας του ηλιακού δυναμικού της Σάμου, παρέχει πληροφορίες σχετικά με το πόσες ώρες μια τιμή  $X$  υπερβαίνει η παραγόμενη ισχύς ανά MW εγκατεστημένης ισχύος ηλιακών μια τιμή  $Y$ .

### Τεχνικά χαρακτηριστικά ΑΣΠ της Σάμου

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συμβατικών μονάδων που διαθέτει το ΑΣΠ της Σάμου, απεικονίζονται στον πίνακα 9.1.

↑↑ **Πίνακας 9.1:** Τεχνικά χαρακτηριστικά ΑΣΠ της Σάμου. ↑↑

Τεχνικά χαρακτηριστικά Αυτόνομου Σταθμού Παραγωγής της Σάμου										
Λίστα Προτεραιότητας	Τύπος Μονάδας	Μέγιστη ισχύς (MW)	Ελάχιστη ισχύς (MW)	Καύσιμο	Ειδική κατανάλωση (kg/MWh)			Κατανάλωση εκκίνησης (kg)		
					50%	75%	100%	Ψυχρή	Ενδιάμεση	Θερμή
1	Cegielski 9RTA-F58	11,00	6,140	Μαζούτ	210	202	207	350	200	50
2	Cegielski 6RTAF-58	6,00	3,150	Μαζούτ	213	206	207	350	200	50
3	Cegielski 6RTAF-58	6,00	3,125	Μαζούτ	213	206	207	350	200	50
4	Wartsila W32-18V	8,25	4,125	Μαζούτ	231	219	219	350	200	50
5	Wartsila W32-18V	8,25	4,125	Μαζούτ	231	219	219	350	200	50
6	Wartsila W32-18V	8,25	4,125	Μαζούτ	231	219	219	350	200	50
<b>Σύνολο</b>		47,75								

### 9.3 Οικονομικά δεδομένα

Όσον αφορά τα οικονομικά δεδομένα, μαζί με τα υπόλοιπα οικονομικά στοιχεία θεωρήθηκαν και δύο εναλλακτικά οικονομικά σενάρια. Τα οικονομικά στοιχεία και τα σενάρια είναι τα εξής:

1. Οικονομικά στοιχεία:

- a. Το κόστος εγκατάστασης του ΥΒΣ (χωρίς τις νέες Α/Γ) ανέρχεται στα **3.000.000 €/MW**.
- b. Το κόστος εγκατάστασης των νέων Α/Γ ανέρχεται στα **1.200.000 €/MW**.
- c. Η τιμή πώλησης της ενέργειας από τις νέες Α/Γ που ο ΥΒΣ δεν μπορεί να απορροφήσει και διοχετεύεται στο δίκτυο ανέρχεται στα **98 €/MWh**.
- d. Το ετήσιο κόστος συντήρησης του ΥΒΣ ανέρχεται στο **1,5% επί του συνολικού ποσού εγκατάστασης**.

1. Οικονομικό σενάριο 1:

- a. Η τιμή πώλησης της ενέργειας που διοχετεύεται στο δίκτυο ανέρχεται στα **200€/MWh**.
- b. Το κόστος της ενέργειας που απορροφάται από το δίκτυο ανέρχεται στα **140€/MWh**.

2. Οικονομικό σενάριο 2:

- a. Η τιμή πώλησης της ενέργειας που διοχετεύεται στο δίκτυο ανέρχεται στα **147 €/MWh**.
- b. Η ετήσια αποζημίωση (ενοικίαση) του ΥΒΣ ανέρχεται στις **127.000 €/MW**.
- c. Το κόστος της ενέργειας που απορροφάται από το δίκτυο ανέρχεται στα **103€/MWh**.

## 9.4 Περιορισμοί

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούν όλοι εκείνοι οι περιορισμοί που τηρήθηκαν κατά τους υπολογισμούς. Οι περισσότεροι εξ αυτών είναι βασισμένοι στο νομοθετικό πλαίσιο που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 7, μαζί με κάποιους επιπλέον περιορισμούς.

1. Εάν η συνολική παραγόμενη ισχύς του αιολικού πάρκου είναι μεγαλύτερη από το 120% της ονομαστικής ισχύος της αντλίας, τότε το ποσό αυτό ενέργειας των αιολικών, απορρίπτεται απευθείας.
2. Εάν η συνολική παραγόμενη ισχύς του αιολικού πάρκου είναι μεγαλύτερη από την ονομαστική ισχύ της αντλίας και μικρότερη από το 120% της ονομαστικής ισχύος της αντλίας, τότε το ποσό αυτό ενέργειας των αιολικών, διοχετεύεται στο δίκτυο.
3. Εάν η συνολική παραγόμενη ισχύς του αιολικού πάρκου είναι μικρότερη από την ονομαστική ισχύ της αντλίας, τότε το ποσό αυτό ενέργειας αποθηκεύεται στον ΥΒΣ.
4. Για τη παροχή της ημερήσιας εγγυημένης ενέργειας ο ΥΒΣ θα πρέπει να λειτουργεί για τουλάχιστον 2 ώρες στην ονομαστική ισχύ του υδροστροβίλου.
5. Για την παροχή της εγγυημένης ενέργειας σε μέρες υψηλής ζήτησης, ο ΥΒΣ θα πρέπει να λειτουργεί για τουλάχιστον 8 ώρες στην ονομαστική ισχύ του υδροστροβίλου.
6. Η μέγιστη χωρητικότητα της άνω δεξαμενής ορίστηκε αναλόγως, έτσι ώστε να είναι σε θέση που ισοδυναμεί σε 14 ώρες λειτουργίας του υδροστροβίλου στην ονομαστική του ισχύ.
7. Η ελάχιστη χωρητικότητα της άνω δεξαμενής ορίστηκε ως μηδέν, δηλαδή σε θέση όπου είναι τελείως άδεια.
8. Η ωριαία ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο (διείσδυση) από τα αιολικά πάρκα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 50% της ωριαίας ζήτησης της ενέργειας.
9. Η ετήσια ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο, δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 30% της ετήσιας ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του ΥΒΣ.

## 9.5 Ορισμοί

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούν κάποιοι ορισμοί σημαντικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για την ευκολότερη κατανόηση των υπολογισμών και όχι μόνο. Κατηγοριοποιούνται σε ορισμούς ενεργειακών στοιχείων και σε ορισμούς οικονομικών στοιχείων.

### Ορισμοί ενεργειακών στοιχείων

1. **Μέθοδος αποκοπής αιχμών (Peak Shaving).** Η μέθοδος αυτή αποτελεί μέθοδο διαχείρισης φορτίου, αφορά την μείωση ή την επιπεδοποίηση του φορτίου αιχμής σε μια καμπύλη φορτίου ενός συστήματος. Η ύπαρξη φορτίων αιχμής σε ένα σύστημα προκαλεί ανισοροπίες αλλά και αύξηση του κόστους λειτουργίας του. Στη περίπτωση αυτή, ο ΥΒΣ επί καθημερινής βάσεως καλύπτει τις ώρες όπου υπάρχει φορτίο αιχμής, οδηγώντας σε μια μειωμένη ή και επιπεδοποιημένη καμπύλη φορτίου, όπου θα είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμη για το σύστημα της Σάμου.
2. **Γέμισμα κοιλάδων (Valley Filling).** Η μέθοδος αυτή αποτελεί μέθοδο διαχείρισης φορτίου, αφορά την αύξηση ή την επιπεδοποίηση του φορτίου χαμηλής ζήτησης σε μια καμπύλη φορτίου ενός συστήματος. Η ύπαρξη φορτίων χαμηλής ζήτησης σε ένα σύστημα προκαλεί ανισοροπίες αλλά και αύξηση του κόστους λειτουργίας του. Στην περίπτωση αυτή, ο ΥΒΣ, για ημέρες χαρακτηριζόμενες ως “Ημέρες υψηλής ζήτησης και χαμηλής αιολικής παραγωγής”, εφαρμόζει την μέθοδο αυτή κατά τις πρωινές ώρες, έτσι ώστε να καλύπτει τις ώρες όπου υπάρχει φορτίο αιχμής, οδηγώντας σε μια πιο επιπεδοποιημένη καμπύλη φορτίου, όπου θα είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμη για το σύστημα της Σάμου.
3. **Ένταξη μονάδων (Unit Commitment).** Η ένταξη μονάδων αποτελεί πρόβλημα για ΣΠΗΕ. Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας ακολουθώντας τον κύκλο της ανθρώπινης δραστηριότητας. Είναι εφικτό να ενταχθούν αρκετές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, ώστε να ικανοποιείται το μέγιστο φορτίο και να λειτουργούν όλη την ημέρα ακόμα και όταν το φορτίο είναι χαμηλό. Αυτό όμως είναι

αντιοικονομικό. Απαιτείται λοιπόν να καταρτιστεί ένα πρόγραμμα ένταξης / κράτησης των μονάδων παραγωγής για το επόμενο 24ωρο. Ένταξη μιας μονάδας είναι ο συγχρονισμός της και η σύνδεσή της με το δίκτυο, έτσι ώστε να είναι σε θέση να δώσει ισχύ στο σύστημα.

### Ορισμοί οικονομικών στοιχείων

1. **Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value).** Η καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ) είναι το συνολικό καθαρό όφελος μιας επένδυσης, που προκύπτει από την διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης. Στην περίπτωση αυτή η διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης (του ΥΒΣ) είναι τα 50 έτη. Εάν η ΚΠΑ  $> 0$ , τότε η επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη κάτω από δεδομένες συνθήκες.
2. **Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return).** Ο δείκτης αυτός εκφράζει την τιμή του επιτοκίου αναγωγής σε παρούσα αξία που κάνει την καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης για την διάρκεια οικονομικής ζωής ίση με μηδέν. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (ΕΒΑ) εκφράζει ουσιαστικά την απόδοση του κεφαλαίου της αρχικής επένδυσης κατά τη διάρκεια του οικονομικού κύκλου ζωής της επένδυσης και όσο μεγαλύτερη η τιμή του τόσο πιο συμφέρουσα θεωρείται η επένδυση.
3. **Λόγος Οφέλους Κόστους (Benefit to Cost Ratio).** Το πηλίκο του συνολικού οφέλους λειτουργίας προς το αρχικό κόστος της επένδυσης κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής, αποτελεί το κυριότερο κριτήριο οικονομικής βιωσιμότητας μιας επένδυσης. Εάν ο λόγος οφέλους κόστους είναι μεγαλύτερος από την μονάδα, τότε η επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη.
4. **Περίοδος Αποπληρωμής (Payback Period).** Ο δείκτης αυτός εκφράζει το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης.



## 9.6 Παράμετροι

Στην παρούσα ενότητα θα αναφερθούν όλες εκείνες οι παράμετροι που ορίστηκαν για την πραγματοποίηση όλων των υπολογισμών. Χωρίζονται σε ενεργειακές παραμέτρους και σε οικονομικές παραμέτρους. Αξίζει να σημειωθεί ότι αρκετές από τις ενεργειακές παραμέτρους απαιτούνται για τους οικονομικούς υπολογισμούς, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο με τις οικονομικές παραμέτρους, όπου δεν απαιτούνται για τους ενεργειακούς υπολογισμούς.

### Ενεργειακές παράμετροι

Στον πίνακα 9.2, αναγράφονται όλες οι ενεργειακές παράμετροι οι οποίες ορίστηκαν, αρχικά για την πραγματοποίηση των ενεργειακών υπολογισμών.

↑↑ Πίνακας 9.2: Ενεργειακές παράμετροι. ↑↑

Παράμετρος	Ονομασία παραμέτρου	Τιμή Παραμέτρου
MW_per_MWp_WT	Παραγόμενη ισχύς ανά MW εγκατεστημένης ισχύος Α/Γ.	8760 ωριαίες τιμές
MWp_WT_old	Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών πάρκων (παλαιών)	7,975
MWp_WT_new	Εγκατεστημένη ισχύς αιολικών πάρκων (νέων)	Μεταβλητή
Pnomp	Ονομαστική ισχύς λειτουργίας της αντλίας	Μεταβλητή
Pd8760	Ετήσιο ωριαίο φορτίο	8760 ωριαίες τιμές
Excess_percent	Ποσοστό υπέρβασης	0,9 αλλιώς 90%
np	Απόδοση αντλίας	0,78
nh	Απόδοση υδροστροβίλου	0,9
Pnomh	Ονομαστική ισχύς του υδροστροβίλου	Μεταβλητή
MinWork	Ελάχιστες ώρες λειτουργίας του ΥΒΣ	2
GuaranteedWork	Εγγυημένες ώρες λειτουργίας του ΥΒΣ	8
E <sub>max</sub>	Μέγιστη αποθηκευμένη ενέργεια δεξαμενής (MWh)	14*Pnomh
E <sub>min</sub>	Ελάχιστη αποθηκευμένη ενέργεια δεξαμενής (MWh)	0
E <sub>arx</sub>	Αρχική αποθηκευμένη ενέργεια δεξαμενής (MWh)	0,35*E <sub>max</sub>
Penetration_percent	Ποσοστό ανώτατου επιπέδου διείσδυσης των αιολικών	0,5 αλλιώς 50%
MW_per_MWp_PV	Παραγόμενη ισχύς ανά MW εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β	8760 ωριαίες τιμές
MWp_PV	Εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β	4,486
Units	Αριθμός συμβατικών μονάδων	6
Initial_State	Αρχική κατάσταση συμβατικών μονάδων (unit commitment)	[1 1 1 0 0 0]

Οι παράμετροι με τιμή παραμέτρου “Μεταβλητή”, λαμβάνουν διαφορετικές τιμές με σκοπό την σύγκριση αποτελεσμάτων και την εύρεση, βάση αυτών, του αποδοτικότερου συστήματος.

Η παράμετρος **Pnomh** λαμβάνει διάφορες τιμές όπως, στην παρούσα εργασία, **3,5 - 7,0 - 10,5 MW**.

Η παράμετρος **Pnomp** λαμβάνει τιμές βασιζόμενη στην εξής σχέση:

$$[Pnomh / (np*nh) \text{ MW}]$$

Η παράμετρος **MWp\_WT\_new** λαμβάνει τιμές βασιζόμενη στην εξής σχέση:

$$[Pnomp * (\text{Πολλαπλά \%}) \text{ MW}]$$

### Οικονομικές παράμετροι

Στον πίνακα 9.3, αναγράφονται όλοι οι οικονομικοί παράμετροι οι οποίοι ορίστηκαν για την πραγματοποίηση των ενεργειακών υπολογισμών.

↑↑ Πίνακας 9.3: Οικονομικές παράμετροι ↑↑

Παράμετρος	Ονομασία Παραμέτρου	Τιμή Παραμέτρου
HybridCostperMW	Κόστος εγκατάστασης ΥΒΣ ανά MW εγκατεστημένης ισχύος	3000000
WTCostperMW	Κόστος εγκατάστασης αιολικού πάρκου ανά MW εγκατεστημένης ισχύος	1200000
EprodPrice	Τιμή πώλησης ενέργειας ανά παραγόμενη MWh του ΥΒΣ (Σενάριο 1)	200
EnetPrice	Τιμή πώλησης ενέργειας ανά MWh που διοχετεύεται στο δίκτυο (Σενάριο 1)	98
MaintCostPercent	Κόστος συντήρησης ΥΒΣ επί τις εκατό του συνολικού κόστους εγκατάστασης	0,015 αλλιώς 1,5%
EgridCost	Κόστος ενέργειας ανά απορροφούμενη MWh από το δίκτυο (Σενάριο 1)	140
RATE	Ετήσιο επιτόκιο δανεισμού	0,06 αλλιώς 6%
LoanDur	Διάρκεια δανεισμού (έτη)	20
PVpercent	Ποσό δανεισμού επί τις εκατό του συνολικού κόστους εγκατάστασης	0,7 αλλιώς 70%
ProjDur	Διάρκεια ζωής έργου (έτη)	50
iRATE	Επιτόκιο αναγωγής	0,08 αλλιώς 8%
EprodPrice2	Τιμή πώλησης ενέργειας ανά παραγόμενη MWh του ΥΒΣ (Σενάριο 2)	147
EnetPrice2	Τιμή πώλησης ενέργειας ανά MWh που διοχετεύεται στο δίκτυο (Σενάριο 2)	98
SysRentPrice	Ετήσια αποζημίωση ανά MW εγκατεστημένης ισχύος του ΥΒΣ	127000
EgridCost2	Κόστος ενέργειας ανά απορροφούμενη MWh από το δίκτυο (Σενάριο 2)	103

Οι οικονομικές παράμετροι είναι βασισμένες στα οικονομικά δεδομένα που περιεγράφηκαν στην ενότητα 9.3 παραπάνω.

## 9.7 Υπολογισμοί

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούν όλοι εκείνοι οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν, μέσω της Matlab, για την μοντελοποίηση του ΥΒΣ και την εξαγωγή χρήσιμων αποτελεσμάτων. Οι εν λόγω υπολογισμοί διαχωρίζονται σε ενεργειακούς υπολογισμούς και σε οικονομικούς υπολογισμούς.

### 9.7.1 Ενεργειακοί υπολογισμοί

Στην παρούσα υποενότητα θα αναφερθούν όλοι οι ενεργειακοί υπολογισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων που αφορούν την σκοπιά του διαχειριστή του δικτύου. Αξίζει να σημειωθεί ότι αρκετοί από τους ενεργειακούς υπολογισμούς απαιτούνται για τους οικονομικούς υπολογισμούς. Οι ενεργειακοί υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν εμφανίζονται κατά σειρά παρακάτω:

- 1. Υπολογισμός παραγόμενης ισχύος παλαιών και νέων αιολικών πάρκων.** Ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας των αιολικών βασίστηκε στα αιολικά δεδομένα της Σάμου για:
  - Εγκατεστημένη ισχύ αρχικών αιολικών πάρκων 7,975 MW.
  - Εγκατεστημένη ισχύ νέων αιολικών πάρκων (μεταβλητή).
- 2. Υπολογισμός της απορριπτόμενης ισχύος με βάση το 120% της ονομαστικής ισχύος της αντλίας.** Ο περιορισμός του 120%, που αναφέρθηκε προηγουμένως, εφαρμόζεται, με αποτέλεσμα η ενέργεια που υπερβαίνει το 120% να απορρίπτεται.
- 3. Υπολογισμός της διοχετευόμενης ισχύος στο δίκτυο με βάση την ονομαστική ισχύ της αντλίας.** Ο περιορισμός της ονομαστικής ισχύος της αντλίας, που αναφέρθηκε παραπάνω, εφαρμόζεται, και η ενέργεια που υπερβαίνει την ονομαστική ισχύ της αντλίας διοχετεύεται στο δίκτυο.
- 4. Υπολογισμός ημερών όπου υπάρχει υπέρβαση στο μέγιστο ημερήσιο φορτίο του ποσοστού υπέρβασης.** Η εύρεση και ο χαρακτηρισμός των ημερών υψηλής ζήτησης, υπολογίζεται με βάση το εάν το φορτίο της συγκεκριμένης ημέρας υπερβαίνει το 90% του μέγιστου φορτίου.

5. **Υπολογισμός και ρύθμιση της παραγόμενης ενέργειας ανάλογα με τις ελάχιστες και τις εγγυημένες ώρες λειτουργίας του ΥΒΣ.** Οι περιορισμοί που αφορούν την ημερήσια εγγυημένη ενέργεια και την εγγυημένη ενέργεια ημερών υψηλής ζήτησης που πρέπει να παρέχει ο ΥΒΣ, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, εφαρμόζονται, και σε περίπτωση όπου η ημερήσια ενέργεια που δεν επαρκεί για την κάλυψη της εγγυημένης ενέργειας απορροφάται από το δίκτυο.
6. **Ρύθμιση της παραγόμενης ενέργειας ανάλογα με το αν υπάρχει ή όχι υπέρβαση του μέγιστου ορίου αποθήκευσης ενέργειας της δεξαμενής.** Ο περιορισμός της άνω δεξαμενής, που περιγράφηκε προηγουμένως, εφαρμόζεται, και η ημερήσια παραγόμενη ενέργεια ρυθμίζεται έτσι ώστε να μην υπερβαίνει το όριο. Η ενέργεια που υπερβαίνει το ανώτατο όριο, διοχετεύεται στο δίκτυο.
7. **Υπολογισμός και ρύθμιση της ωριαίας ισχύος που πρέπει να καλύψει ο υδροστρόβιλος (Peak Shaving).** Γίνεται χρήση συνάρτησης, έτσι ώστε κατά την εφαρμογή του “Peak Shaving”, οι παραγωγές των μονάδων να γίνονται ομοιόμορφες. Η επιλογή των ωρών που θα τίθεται σε λειτουργία η διαδικασία του “Peak Shaving”, βασίζεται στην χρήση της χρονοσειράς που αθροίζει τα τετράγωνα της ωριαίας παραγωγής των συμβατικών μονάδων:

$$fun = \sum_{k=1}^{k=24} (\sum_{i=1}^{i=27} P(i, k))^2$$

Απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό είναι:

- Ζήτηση.
  - Ημερήσια αιολική παραγωγή.
  - Όρια λειτουργίας μονάδων.
  - Όριο μέγιστη ισχύος υδροστρόβιλου ΥΒΣ.
8. **Μεταφορά της ζήτησης της ενέργειας τις πρωινές ώρες όπου υπάρχει ελάχιστη ζήτηση (Valley Filling).** Γίνεται χρήση συνάρτησης, έτσι ώστε κατά την εφαρμογή του “Valley Filling”, οι παραγωγές των μονάδων να γίνονται ομοιόμορφες. Η επιλογή των ωρών που θα τίθεται σε λειτουργία η διαδικασία

του “Valley Filling”, βασίζεται στην χρήση της χρονοσειράς που αθροίζει τα τετράγωνα της ωριαίας παραγωγής των συμβατικών μονάδων:

$$fun = \sum_{k=1}^{k=24} (\sum_{i=1}^{i=27} P(i, k))^2$$

Απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό είναι:

- Ζήτηση.
- Ημερήσια αιολική παραγωγή.
- Όριο λειτουργίας αντλίας/ών.
- Όρια λειτουργίας μονάδων.
- Όριο μέγιστη ισχύος αντλίας ΥΒΣ.

9. **Υπολογισμός της ωριαίας ενέργειας στην άνω δεξαμενή που δεν ξεπερνάει το ανώτατο και κατώτατο όριο αποθήκευσης της.** Ο περιορισμός της άνω δεξαμενής, θα πρέπει να ισχύει εκτός από ημερήσια βάση (υπολογίστηκε προηγουμένως), αλλά και σε ωριαία βάση. Ρυθμίζεται έτσι ώστε τα ανώτατα και κατώτατα όρια να μην υπερβαίνονται από την ενέργεια που εισρέει (αντλία) και που εκρέει (υδροστροβίλος) ανά ώρα. Εάν υπερβεί το ανώτατο όριο, η περισσευούμενη ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο, εάν υπερβεί το κατώτατο όριο, ελαττώνεται η παραγόμενη ενέργεια του υδροστροβίλου.
10. **Υπολογισμός και ρύθμιση της διείσδυσης των αιολικών με βάση το ανώτατο ποσοστό διείσδυσης.** Ο περιορισμός της 50% ωριαίας διείσδυσης στο δίκτυο, που αναφέρθηκε προηγουμένως, εφαρμόζεται, και η ωριαία διοχετευόμενη ενέργεια του δικτύου ρυθμίζεται κατάλληλα ώστε να μην υπερβαίνει το 50%. Σε περίπτωση που την υπερβαίνει η περισσευούμενη ενέργεια απορρίπτεται.
11. **Υπολογισμός του φορτίου που καλύπτουν οι συμβατικές μονάδες.** Η εύρεση του φορτίου που καλύπτουν οι συμβατικές μονάδες, πριν την εισαγωγή του ΥΒΣ, υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{dminusWT} = Pd8760 - P_{prod\_WT\_old}$$

PdminusWT: Καθαρό φορτίο που καλύπτουν οι συμβατικές μονάδες.

Pd8760: Ετήσιο ωριαίο φορτίο της Σάμου.

Pprod\_WT\_old: Παραγόμενη ισχύς αρχικών αιολικών πάρκων.

**12. Υπολογισμός παραγόμενης ισχύος φωτοβολταϊκών.** Ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας των Φ/Β πάρκων βασίστηκε στα ηλιακά δεδομένα της Σάμου για 7,975 MW εγκατεστημένη ισχύ Φ/Β πάρκων.

**13. Υπολογισμός ετήσιου κόστους λειτουργίας των συμβατικών μονάδων (πριν την εισαγωγή του ΥΒΣ).** Για τον υπολογισμό αυτό έγινε χρήση συνάρτησης που σκοπό έχει την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του συστήματος και υπολογίζεται ως εξής:

$$F_T = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N [e_i(t) * F_i(P_i(t)) + e_i(t) * (1 - e_i(t - 1)) * SU_i]$$

$e_i(t)$ : 1 αν η μονάδα  $i$  λειτουργεί την ώρα  $t$ , 0 αν η μονάδα  $i$  είναι εκτός λειτουργίας την ώρα  $t$ .

$F_i(P_i(t))$ : Το κόστος λειτουργίας (€/h) της μονάδας  $i$  την χρονική στιγμή  $t$  για παραγωγή  $P_i(t)$ , το οποίο εκφράζεται από την παρακάτω τριτοβάθμια εξίσωση:

$$F_i(P_i(t)) = (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i) * \text{κόστος καυσίμου}$$

$a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  γνωστά για κάθε μονάδα  $i$ , από τον υπολογισμό των συντελεστών εξισώσεων κατανάλωσης καυσίμου μονάδων.

$SU_i$ : Το κόστος εκκίνησης της μονάδας  $i$ .

Απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό είναι:

- Καθαρή ζήτηση, αφαιρώντας την παραγωγή από ΑΠΕ.
- Μέγιστο και ελάχιστο όριο ισχύος της εκάστοτε μονάδας.

Τέλος, λαμβάνεται υπόψη και το ποσοστό της στρεφόμενης εφεδρείας, το οποίο επιτυγχάνει την καταπολέμηση της αβεβαιότητας για την ικανοποίηση του φορτίου, από την εξής εξίσωση:

$$\sum_i u_i \cdot P_{i\max} \geq 1.1 \cdot P_{Load} + 0.2 \cdot P_{WT} + 0.1 \cdot P_{PV}$$

$P_{Load}$ : Ζήτηση.

$P_{WT}$ : Παραγωγή από τις ΑΓ.

$P_{PV}$ : Παραγωγή από τα ΦΒ.

**14. Υπολογισμός του φορτίου που καλύπτουν οι συμβατικές μονάδες.** Η εύρεση του φορτίου που καλύπτουν οι συμβατικές μονάδες, μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ, υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{dminusSy} = P_{d8760} - P_{prod_{WT_{old}}} - P_{prod_{hydro}} - P_{net} + E_{purchased}$$

$P_{dminusSy}$ : Καθαρό φορτίο που καλύπτουν οι συμβατικές μονάδες.

$P_{d8760}$ : Ετήσιο ωριαίο φορτίο της Σάμου.

$P_{prod\_WT\_old}$ : Παραγόμενη ισχύς αρχικών αιολικών πάρκων.

$P_{prod\_hydro}$ : Παραγόμενη ισχύς υδροστροβίλου.

$P_{net}$ : Διοχετευόμενη ισχύς στο δίκτυο.

$E_{purchased}$ : Ωριαία ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο.

**15. Υπολογισμός ετήσιου κόστους λειτουργίας των συμβατικών μονάδων (μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ).** Για τον υπολογισμό αυτό έγινε χρήση συνάρτησης, όπως προηγουμένως, που σκοπό έχει την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του συστήματος και υπολογίζεται ως εξής:

$$F_T = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N [e_i(t) * F_i(P_i(t)) + e_i(t) * (1 - e_i(t-1)) * SU_i]$$

$e_i(t)$ : 1 αν η μονάδα  $i$  λειτουργεί την ώρα  $t$ , 0 αν η μονάδα  $i$  είναι εκτός λειτουργίας την ώρα  $t$ .

$F_i(P_i(t))$ : Το κόστος λειτουργίας (€/h) της μονάδας  $i$  την χρονική στιγμή  $t$  για παραγωγή  $P_i(t)$ , το οποίο εκφράζεται από την παρακάτω τριτοβάθμια εξίσωση:

$$F_i(P_i(t)) = (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i) * \text{κόστος καυσίμου}$$

όπου  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  γνωστά για κάθε μονάδα  $i$ , από τον υπολογισμό των συντελεστών εξισώσεων κατανάλωσης καυσίμου μονάδων.

**SU**: Το κόστος εκκίνησης της μονάδας  $i$ .

Απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό είναι:

- Καθαρή ζήτηση, αφαιρώντας την παραγωγή από ΑΠΕ και από ΥΒΣ.
- Μέγιστο και ελάχιστο όριο ισχύος της εκάστοτε μονάδας.

Τέλος, λαμβάνεται υπόψη και το ποσοστό της στρεφόμενης εφεδρείας, το οποίο επιτυγχάνει την καταπολέμηση της αβεβαιότητας για την ικανοποίηση του φορτίου, από την εξής εξίσωση:

$$\sum_i u_i \cdot P_{i \max} \geq 1.1 \cdot P_{Load} + 0.2 \cdot P_{WT} + 0.1 \cdot P_{PV}$$

$P_{Load}$ : Ζήτηση.

$P_{WT}$ : Παραγωγή από τις ΑΓ.

$P_{PV}$ : Παραγωγή από τα ΦΒ.



### 9.7.2 Οικονομικοί υπολογισμοί

Στην παρούσα ενότητα θα αναφερθούν όλοι οι οικονομικοί υπολογισμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων που αφορούν την σκοπιά του επενδυτή.

Οι οικονομικοί υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν εμφανίζονται κατά σειρά παρακάτω:

- 1. Υπολογισμός αρχικού κόστους ΥΒΣ και Α/Γ.** Το συνολικό κόστος εγκατάστασης, με βάση τα οικονομικά στοιχεία που περιεγράφηκαν παραπάνω, υπολογίζεται με βάση την εγκατεστημένη ισχύ των νέων αιολικών και την εγκατεστημένη ισχύ του ΥΒΣ.
- 2. Υπολογισμός εσόδων-εξόδων, κόστους συντήρησης και λειτουργίας (1<sup>ο</sup> Σενάριο).** Η εύρεση των ετήσιων εσόδων βασίστηκε στα στοιχεία του 1<sup>ου</sup> οικονομικού σεναρίου, και των ετήσιων εξόδων στα οικονομικά στοιχεία, που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Η αφαίρεση των ετήσιων εξόδων από τα ετήσια έσοδα ξεχωρίζει τα καθαρά ετήσια έσοδα.
- 3. Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας, Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης και Λόγου Οφέλους Κόστους (1<sup>ο</sup> Σενάριο).** Για τον υπολογισμό αυτών των στοιχείων, πρώτα μια σειρά από επιπλέον υπολογισμούς απαιτείται, οι οποίοι είναι οι εξής:
  - **Ετήσια δόση δανείου.** Ορίστηκε ότι το 70% του συνολικού κόστους εγκατάστασης ΥΒΣ και Α/Γ καλύφθηκε από τραπεζικό δάνειο με ετήσιο επιτόκιο δανεισμού 6% και διάρκεια δανεισμού τα 20 έτη. Με την χρήση συναρτήσεως *payper*, της *matlab*, βρέθηκε η ετήσια δόση δανείου.

$$LoanPay = payper\left(\frac{RATE}{12}, NPER, PV\right) \times 12$$

LoanPay: Ετήσια δόση δανεισμού (€/έτος).

payper: Ονομασία συναρτήσεως της *matlab*.

RATE: Ετήσιο επιτόκιο δανεισμού (%/έτος).

NPER: Διάρκεια δανεισμού (μήνες).

PV: Συνολικό ποσό δανεισμού ( $0,7 \times$  Συνολικό κόστος εγκατάστασης (€))

- **Ετήσιες ταμιακές ροές.** Ορίστηκε ότι η διάρκεια ζωής του έργου είναι τα 50 έτη. Για κάθε έτος και για τα πρώτα 20 έτη, όπου αποτελεί την περίοδο δανεισμού:

Ταμιακές ροές = Ετήσια καθαρά έσοδα - Δόση δανείου

Στα υπολειπόμενα 30 έτη, μετά το πέρας της περιόδου δανεισμού:

Ταμιακές ροές = Ετήσια καθαρά έσοδα

Με εξαίρεση το 25<sup>ο</sup> έτος, όπου δεδομένου ότι οι Α/Γ έχουν διάρκεια ζωής 25 έτη, θα απαιτηθεί εκ νέου εγκατάσταση Α/Γ με αντίστοιχο κόστος εγκατάστασης.

Έχοντας υπολογίσει τα άνωθεν στοιχεία, μπορεί να υπολογιστούν η ΚΠΑ και ο ΕΒΑ και ο λόγος οφέλους κόστους. Για την ΚΠΑ, ορίστηκε ως επιτόκιο αναγωγής το 8%. Με την χρήση της συναρτήσεως *pvvar*, της *matlab*, βρέθηκε η ΚΠΑ:

$$KPA = pvvar(CF, iRATE)$$

ΚΠΑ: Καθαρή Παρούσα Αξία (€).

*pvvar*: Ονομασία συναρτήσεων της *matlab*.

CF: Όλες οι ταμιακές ροές (€/έτος).

*iRATE*: Επιτόκιο αναγωγής (%).

Για τον ΕΒΑ, έγινε χρήση της συναρτήσεως *irr*, της *matlab*, και βρέθηκε ο ΕΒΑ:

$$EBA = irr(CF)$$

ΕΒΑ: Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης.

*irr*: Ονομασία συναρτήσεως της *matlab*.

CF: Όλες οι ταμιακές ροές (€/έτος).

Για την εύρεση του λόγου Οφέλους Κόστους, έγινε χρήση της εξής σχέσης:

$$B2C = \frac{KPA + InstCost}{InstCost}$$

B2C: Λόγος κόστους οφέλους.

KPA: Καθαρή παρούσα αξία (€).

InstCost: Αρχικό κόστος επένδυσης (πλην του κόστους που καλύπτεται από το δανεισμό)

4. **Υπολογισμός απλής αποπληρωμής (1<sup>ο</sup> Σενάριο).** Στον υπολογισμό αυτό υπολογίζονται τα έτη που θα περάσουν έως ότου το έργο κάνει απόσβεση των χρημάτων που του επενδύθηκαν με βάση το 1<sup>ο</sup> οικονομικό σενάριο.
5. **Υπολογισμός εσόδων-εξόδων, κόστους συντήρησης και λειτουργίας (2<sup>ο</sup> Σενάριο).** Η εύρεση των ετήσιων εσόδων βασίστηκε στα στοιχεία του 2<sup>ου</sup> οικονομικού σεναρίου, και των ετήσιων εξόδων στα οικονομικά στοιχεία, που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Η αφαίρεση των ετήσιων εξόδων από τα ετήσια έσοδα ξεχωρίζει τα καθαρά ετήσια έσοδα.
6. **Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας, Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης και Λόγου Οφέλους Κόστους (2<sup>ο</sup> Σενάριο).** Η εύρεση της ΚΠΑ, του ΕΒΑ και του λόγου Οφέλους Κόστους, υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως στο 3. Με την διαφορά ότι στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται το 2<sup>ο</sup> οικονομικό σενάριο.
7. **Υπολογισμός απλής αποπληρωμής (2<sup>ο</sup> Σενάριο).** Στον υπολογισμό αυτό υπολογίζονται τα έτη που θα περάσουν έως ότου το έργο κάνει απόσβεση των χρημάτων που του επενδύθηκαν, με βάση το 2<sup>ο</sup> σενάριο.

## Κεφάλαιο 10

### Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφεί λεπτομερώς η επίδραση του ΥΒΣ στο ΑΣΠ της Σάμου μέσα από την σκοπιά του διαχειριστή του δικτύου και από την σκοπιά του επενδυτή του έργου. Αρχικά, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της επίδρασης του ΥΒΣ από την σκοπιά του διαχειριστή του δικτύου πριν και μετά την εγκατάστασή του. Τέλος, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της επίδρασης του ΥΒΣ από την σκοπιά του επενδυτή του έργου, με βάση των δύο οικονομικών σεναρίων. Όλοι οι υπολογισμοί είναι εξολοκλήρου βασισμένοι στα δεδομένα, στους περιορισμούς και στους παραμέτρους που περιλαμβάνονται στο κεφάλαιο 9 της εργασίας.

### 10.1 Σκοπιά του διαχειριστή του δικτύου της Σάμου

Η ενότητα αυτή αφορά κυρίως τον διαχειριστή του δικτύου της Σάμου, καθώς σε αυτήν παρουσιάζονται αποτελέσματα που αφορούν το ΑΣΠ της Σάμου και όχι μόνο. Αρχικά, θα παρουσιαστεί η λειτουργία του στην τωρινή του κατάσταση (πριν την εισαγωγή του ΥΒΣ). Τέλος, θα παρουσιαστεί η λειτουργία του στην υποθετικά μελλοντική του κατάσταση (μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ), μαζί με κάποια άλλα σημαντικά στοιχεία που αφορούν τον ΥΒΣ.

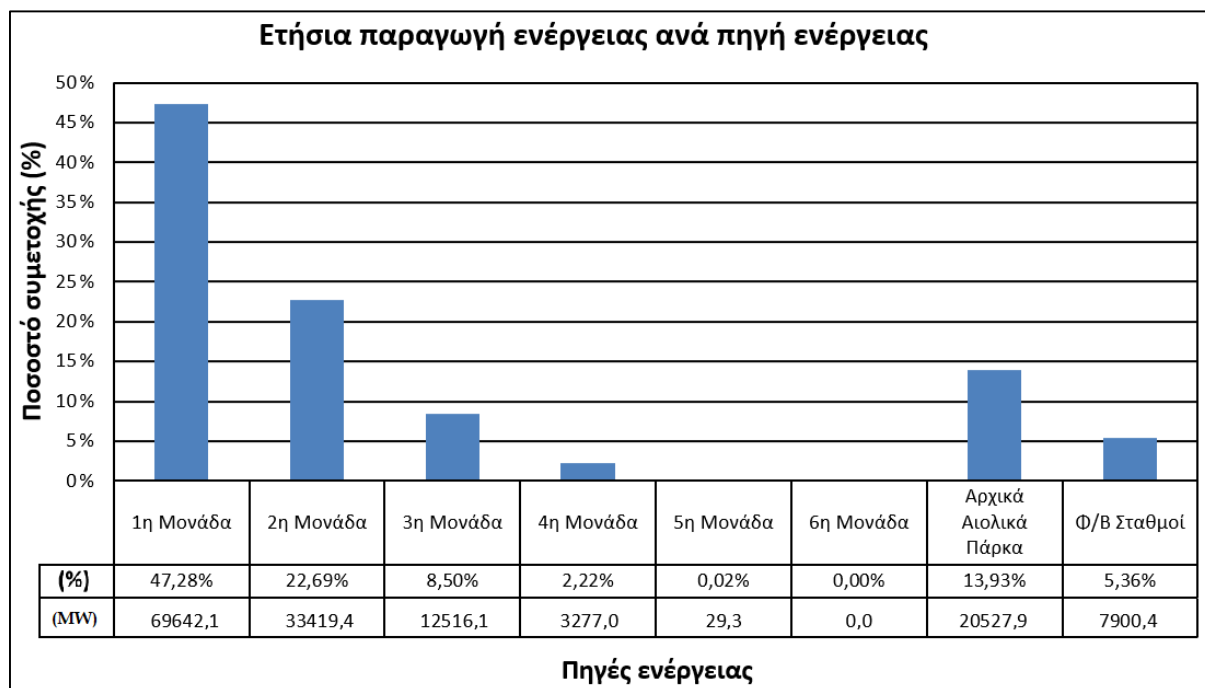
#### 10.1.1 Πριν την εισαγωγή του υβριδικού σταθμού

Στην υποενότητα αυτή θα παρουσιαστούν αποτελέσματα για το ΑΣΠ της Σάμου, πριν την εισαγωγή του ΥΒΣ. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν θα αφορούν:

- Το ποσοστό της ενεργειακής συμμετοχής ανά πηγή ενέργειας.
- Το ετήσιο κόστος λειτουργίας των μονάδων.
- Το ετήσιο κόστος παραγωγής ανά MWh.
- Τις καμπύλες φορτίου ορισμένων ημερών του έτους.

### Ποσοστό ενεργειακής συμμετοχής ανά πηγή

Το ποσοστό συμμετοχής που έχουν όλες οι συμβατικές μονάδες του ΑΣΠ ξεχωριστά, τα αιολικά πάρκα και οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί, στην ετήσια συνολική παραγωγή ενέργειας του νησιού, παρουσιάζονται στο γράφημα 10.1.



↑↑ **Γράφημα 10.1:** Ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά πηγή ενέργειας. ↑↑

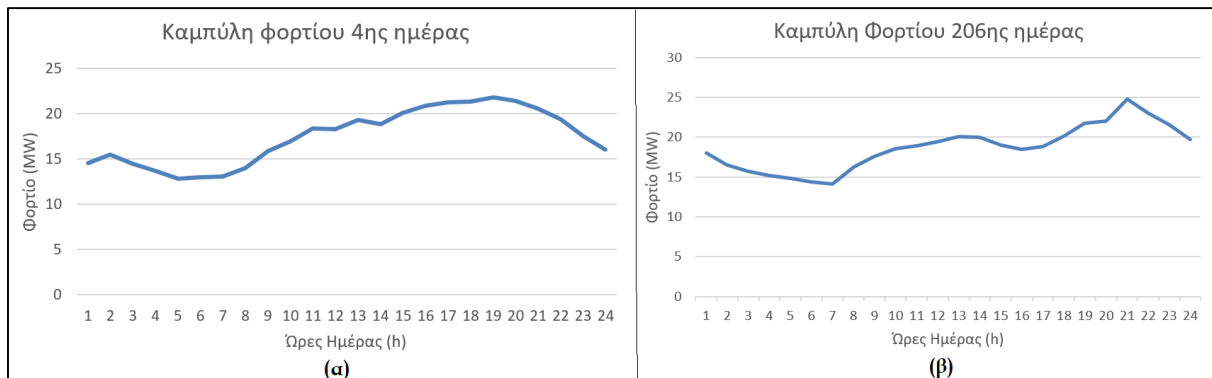
Αρχικά, παρατηρείται ότι περίπου το 70% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης του νησιού καλύπτεται από τις δύο πρώτες μονάδες. Η διείσδυση των ήδη εγκατεστημένων ΑΠΕ (Αιολικά πάρκα και Φ/Β σταθμοί) υπερβαίνει ελάχιστα το 19%. Ενώ, η 5<sup>η</sup> μονάδα συνεισφέρει ελάχιστα και η 6<sup>η</sup> καθόλου.

### Ετήσιο κόστος λειτουργίας μονάδων και ετήσιο κόστος παραγωγής ανά MWh

Τα ετήσια λειτουργικά κόστη των συμβατικών μονάδων, για τον διαχειριστή του δικτύου, ανέρχονται στα 9.887.800 € και το ετήσιο κόστος παραγωγής ανά MWh, στα 70,9 € / MWh.

### Καμπύλες φορτίου ημερών του έτους

Οι ημερήσιες καμπύλες φορτίου για την 4<sup>η</sup> και 206<sup>η</sup> ημέρα του έτους απεικονίζονται στο γράφημα 10.2. Οι συγκεκριμένες καμπύλες φορτίου επιλέχθηκαν όχι τυχαία, καθώς αποτελούν ιδανικές ημέρες, για λόγους που θα περιγραφούν παρακάτω, όπου η διαδικασίες Peak Shaving και Valley Filling εφαρμόζονται ικανοποιητικά.



↑↑ **Γράφημα 10.2:** Καμπύλες φορτίου (α) 4<sup>ης</sup> ημέρας και (β) 206<sup>ης</sup> ημέρας του έτους. ↑↑

Η καμπύλη φορτίου για την 4<sup>η</sup> μέρα παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις στο φορτίο της κατά την διάρκεια της μέρας, με αποτέλεσμα το κόστος λειτουργίας των μονάδων κατά τις ώρες αιχμής (14:00-23:00) να είναι γενικά υψηλό.

Η 206<sup>η</sup> ημέρα χαρακτηρίζεται ως ημέρα υψηλής ζήτησης (μια εκ των συνολικά 34 ημερών) και χαμηλής αιολικής παραγωγής, με αποτέλεσμα ο ΥΒΣ να μην είναι σε θέση να καλύψει την εγγυημένη ενέργεια, που έχει δεσμευτεί για τέτοιες ημέρες.

### 10.1.2 Μετά την εισαγωγή του υβριδικού σταθμού

Στην υποενότητα αυτή θα παρουσιαστούν αποτελέσματα για το ΑΣΠ της Σάμου, μετά την εισαγωγή του υβριδικού σταθμού. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν θα αφορούν:

- Το ποσοστό της ενεργειακής συμμετοχής ανά πηγή ενέργειας.
- Το ετήσιο κόστος λειτουργίας των μονάδων.
- Το ετήσιο κόστος παραγωγής ανά MWh.
- Τις καμπύλες φορτίου ορισμένων ημερών του έτους.
- Την αιολική ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο.
- Την αιολική ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο.
- Την αιολική ενέργεια που απορρίπτεται από τις νέες Α/Γ.

Για την όσο το δυνατόν καλύτερη αξιολόγηση της επίδρασης του ΥΒΣ στο ΑΣΠ της Σάμου επιλέχθηκαν, με βάση τα οικονομικά αποτελέσματα στην υποενότητα 10.2.1, οι πιο επικερδείς περιπτώσεις. Όπως προηγουμένως, έτσι και σε αυτή την υποενότητα θα παρουσιαστούν τα άνωθεν αποτελέσματα ξεχωριστά για ΥΒΣ με ονομαστική ισχύ 3,5 MW, 7,0 MW και με 10,5 MW αντίστοιχα.

#### 10.1.2.1 Υβριδικός σταθμός ονομαστικής ισχύος 3,5 MW

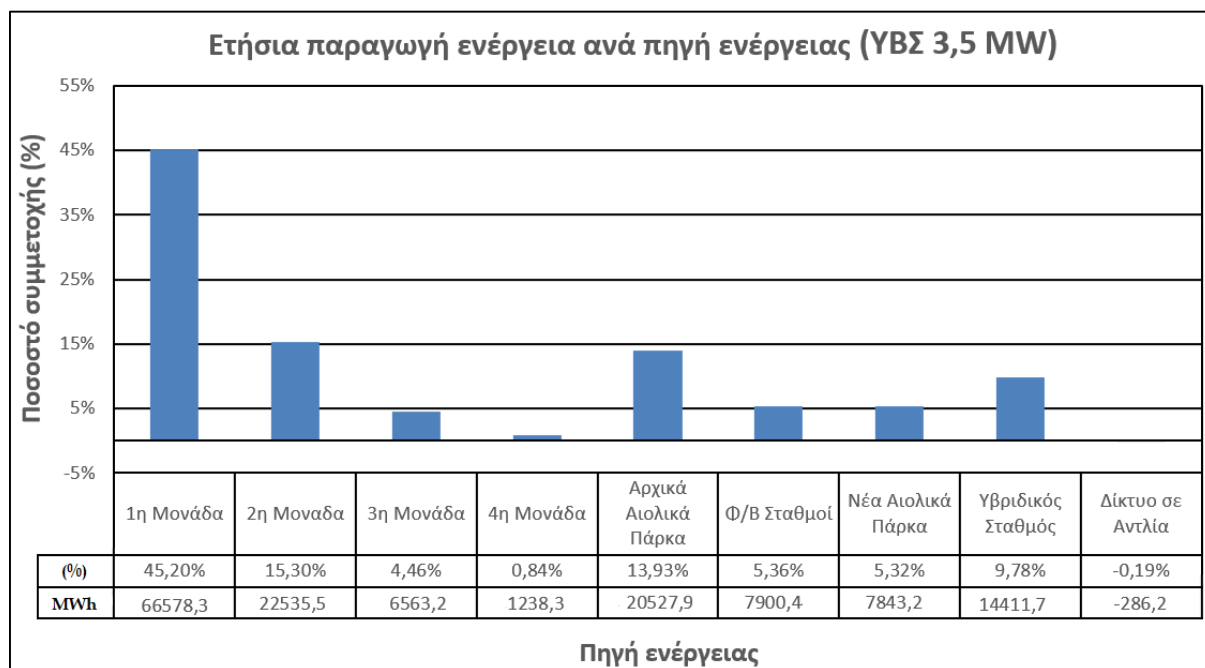
Για την εξαγωγή των παρακάτω αποτελεσμάτων ορίστηκαν τα εξής δεδομένα:

- Ονομαστική ισχύς υδροστροβίλου = 3,5 MW.
- Ονομαστική ισχύς αντλίας = 5 MW.
- Εγκατεστημένη ισχύς νέων αιολικών = 13.5 MW.

Να σημειωθεί ότι η εγκατεστημένη ισχύς των νέων αιολικών ορίστηκε με βάση το 270% της ονομαστικής ισχύος της αντλίας, όπου αποτελεί την πιο επικερδής περίπτωση με βάση το [γράφημα 10.9](#).

### Ποσοστό ενεργειακής συμμετοχής ανά πηγή

Με την εισαγωγή του ΥΒΣ ονομαστικής ισχύος 3,5 MW, το ποσοστό συμμετοχής που έχουν όλες οι συμβατικές μονάδες ξεχωριστά, τα αιολικά πάρκα (παλαιά και νέα εγκατεστημένα), οι Φ/Β σταθμοί και ο ΥΒΣ, στην ετήσια συνολική παραγωγή ενέργειας του νησιού παρουσιάζονται στο γράφημα 10.3.



↑↑ **Γράφημα 10.3:** Ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά πηγή ενέργειας (ΥΒΣ 3,5 MW). ↑↑

Αρχικά, παρατηρείται ότι περίπου το 60% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης του νησιού καλύπτεται από τις δύο πρώτες μονάδες. Η συνεισφορά του ΥΒΣ ανέρχεται στο 15% (9,78% από το σύστημα Αντλησιοταμίευσης + 5,32% από τα Νέα Αιολικά). Η διείσδυση των ΑΠΕ (Παλαιά Αιολικά πάρκα και Φ/Β σταθμοί) υπερβαίνει ελάχιστα το 19%. Ενώ, η λειτουργία των μονάδων 5 και 6 δεν κρίνεται απαραίτητη. Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις το δίκτυο παρέχει ενέργεια στην αντλία.

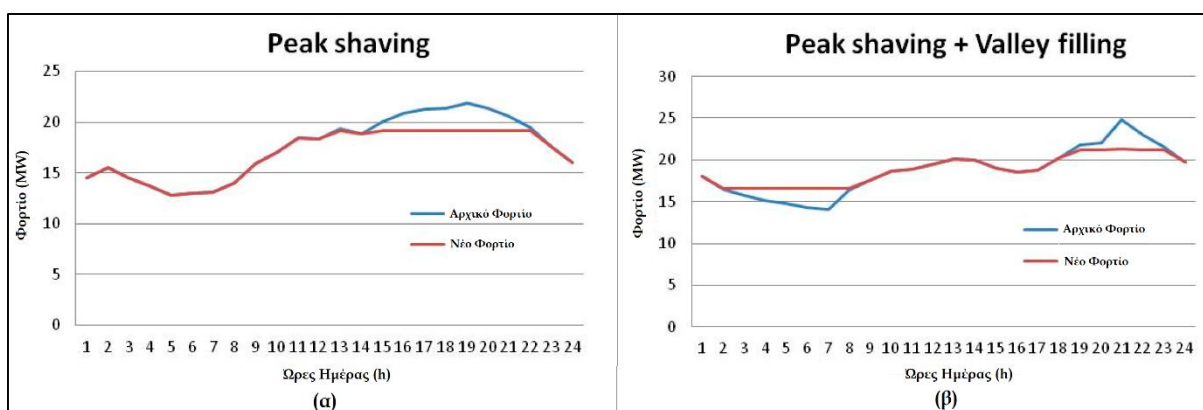
### Ετήσιο κόστος λειτουργίας μονάδων και ετήσιο κόστος παραγωγής ανά MWh

Τα ετήσια λειτουργικά κόστη των συμβατικών μονάδων, για τον διαχειριστή του δικτύου, ανέρχονται στα 8.062.833 € και το ετήσιο κόστος παραγωγής ανά MWh στα 57,8 € / MWh.



### Καμπύλες φορτίου ημερών του έτους

Οι καμπύλες φορτίου για την 4<sup>η</sup> και 206<sup>η</sup> ημέρα του έτους, μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ ονομαστικής ισχύος 3,5 MW, απεικονίζονται στο γράφημα 10.4. Το γράφημα 10.4α απεικονίζει την καμπύλη φορτίου για την 4<sup>η</sup> ημέρα του έτους, όπου έχει εφαρμοστεί η διαδικασία του Peak Shaving. Το γράφημα 10.4β απεικονίζει την καμπύλη φορτίου για την 206<sup>η</sup> ημέρα του έτους όπου έχουν εφαρμοστεί οι διαδικασίες του Peak Shaving + Valley Filling.



**Γράφημα 10.4:** (Καμπύλες φορτίου (a) 4<sup>ης</sup> ημέρας (Peak Shaving) και (b) 206<sup>ης</sup> ημέρας (Peak shaving + Valley Filling) με ΥΒΣ 3,5 MW. ↑↑

Στο γράφημα 10.4α, που αφορά την 4<sup>η</sup> ημέρα, τίθεται σε εφαρμογή η διαδικασία του Peak Shaving, όπου όπως παρατηρείται, οι ώρες αιχμής του αρχικού φορτίου (14:00-23:00) έχουν πλέον εξομαλυνθεί στο νέο φορτίο.

Στο γράφημα 10.4β, που αφορά την 206<sup>η</sup> ημέρα, τίθενται σε εφαρμογή οι διαδικασίες Peak Shaving και Valley Filling, όπου όπως παρατηρείται, το φορτίο στις πολύ πρωινές ώρες του νέου φορτίου (02:00-08:00) έχει αυξηθεί, με σκοπό να τροφοδοτήσει τον ΥΒΣ, ώστε να εξομαλυνθούν οι ώρες αιχμής του αρχικού φορτίου (18:00-23:00).

### Αιολική ενέργεια που διοχετεύεται, απορροφάται και απορρίπτεται από το δίκτυο

Η ετήσια ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο από τις νέες Α/Γ, η οποία περισεύει από το σύστημα αντλησιοταμίευσης, ανέρχεται στις 7843 MWh.

Η ετήσια ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο, η οποία χρησιμοποιείται για την εξασφάλιση της παροχής της εγγυημένης ενέργειας από τον ΥΒΣ, αλλά και για το Valley Filling, ανέρχεται στις 286 MWh.

Η ετήσια ενέργεια που απορρίπτεται από τις νέες Α/Γ, λόγω των περιορισμών του 120% και του ανώτατου ωριαίου ποσοστού διείσδυσης, ανέρχεται στις 6737 MWh.

#### **10.1.2.2 Υβριδικός σταθμός ονομαστικής ισχύος 7,0 MW**

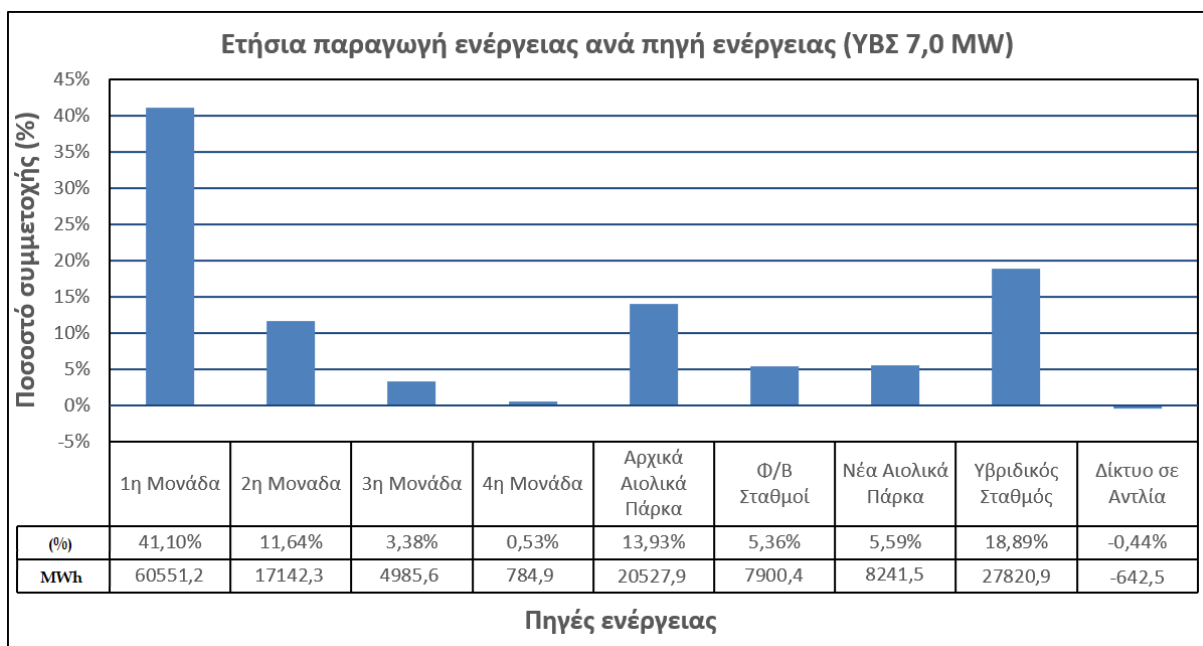
Για την εξαγωγή των παρακάτω αποτελεσμάτων ορίστηκαν τα εξής δεδομένα:

- Ονομαστική ισχύς υδροστροβίλου = 7,0 MW.
- Ονομαστική ισχύς αντλίας = 10 MW.
- Εγκατεστημένη ισχύς νέων αιολικών = 23 MW.

Να σημειωθεί ότι η εγκατεστημένη ισχύς των νέων αιολικών ορίστηκε με βάση το 230% της ονομαστικής ισχύος της αντλίας, όπου αποτελεί την πιο επικερδής περίπτωση με βάση το [γράφημα 10.10](#).

### Ποσοστό ενεργειακής συμμετοχής ανά πηγή

Με την εισαγωγή του ΥΒΣ ονομαστικής ισχύος 7,0 MW, το ποσοστό συμμετοχής που έχουν όλες οι συμβατικές μονάδες ξεχωριστά, τα αιολικά πάρκα (παλαιά και νέα εγκατεστημένα), οι Φ/Β σταθμοί και ο ΥΒΣ, στην ετήσια συνολική παραγωγή ενέργειας του νησιού παρουσιάζονται στο γράφημα 10.5.



↑↑ **Γράφημα 10.5:** Ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά πηγή, με ΥΒΣ 7,0 MW. ↑↑

Αρχικά, παρατηρείται ότι περίπου το 52,7% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης του νησιού καλύπτεται από τις δύο πρώτες μονάδες. Η συνεισφορά του ΥΒΣ ανέρχεται στο 24,5% (18,89% από το σύστημα Αντλησιοταμίευσης + 5,59% από τα Νέα Αιολικά). Η διείσδυση των ΑΠΕ (Παλαιά Αιολικά πάρκα και Φ/Β σταθμοί) υπερβαίνει ελάχιστα το 19%. Ενώ, η λειτουργία των μονάδων 5 και 6 δεν κρίνεται απαραίτητη. Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις το δίκτυο παρέχει ενέργεια στην αντλία.

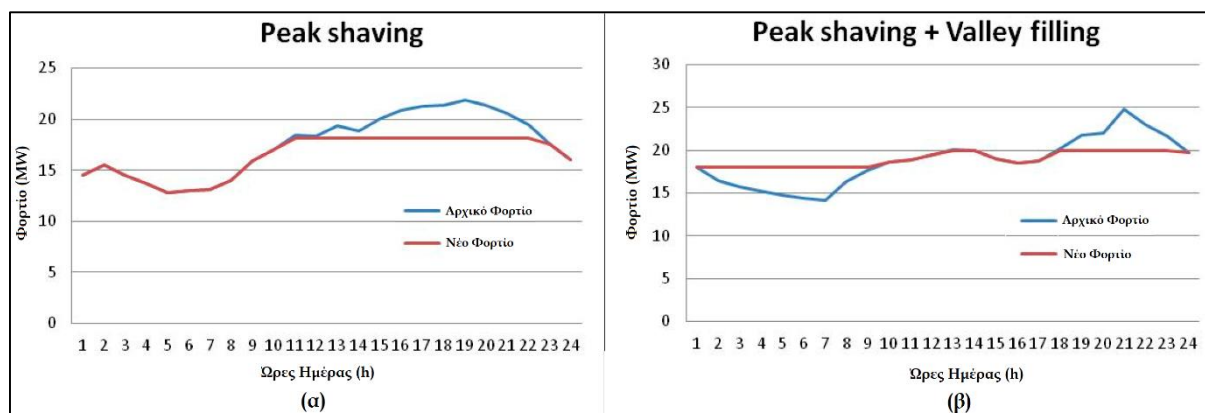
### Ετήσιο κόστος λειτουργίας μονάδων και ετήσιο κόστος παραγωγής ανά MWh

Τα ετήσια λειτουργικά κόστη των συμβατικών μονάδων, για τον διαχειριστή του δικτύου, ανέρχονται στα 6.988.914 € και το ετήσιο κόστος παραγωγής ανά MWh στα 50,1 € / MWh.

### Καμπύλες φορτίου ημερών του έτους

Οι καμπύλες φορτίου για την 4<sup>η</sup> και 206<sup>η</sup> ημέρα του έτους, μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ ονομαστικής ισχύος 7,0 MW, απεικονίζονται στο γράφημα 10.6. Το γράφημα 10.6α απεικονίζει την καμπύλη φορτίου για την 4<sup>η</sup> ημέρα του έτους όπου έχει εφαρμοστεί η διαδικασία του Peak Shaving. Το γράφημα 10.6β απεικονίζει την

καμπύλη φορτίου για την 206<sup>η</sup> ημέρα του έτους όπου έχουν εφαρμοστεί η διαδικασία του Peak Shaving + Valley Filling.



**Γράφημα 10.6:** Καμπύλες φορτίου (α) 4<sup>ης</sup> ημέρας (Peak Shaving) και (β) 206<sup>ης</sup> ημέρας (Peak shaving + Valley Filling) με ΥΒΣ 7,0 MW. ↑↑

Στο γράφημα 10.6α, που αφορά την 4<sup>η</sup> ημέρα, τίθεται σε εφαρμογή η διαδικασία του Peak Shaving, όπου όπως παρατηρείται, οι ώρες αιχμής του αρχικού φορτίου (11:00-23:00) έχουν πλέον εξομαλυνθεί στο νέο φορτίο.

Στο γράφημα 10.6β, που αφορά την 206<sup>η</sup> ημέρα, τίθενται σε εφαρμογή οι διαδικασίες Peak Shaving και Valley Filling, όπου όπως παρατηρείται, το φορτίο στις πολύ πρωινές ώρες του νέου φορτίου (01:00-10:00) έχει αυξηθεί, με σκοπό να τροφοδοτήσει τον ΥΒΣ, ώστε να εξομαλυνθούν οι ώρες αιχμής του αρχικού φορτίου (18:00-24:00).

### Αιολική ενέργεια που διοχετεύεται, απορροφάται και απορρίπτεται από το δίκτυο

Η ετήσια ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο από τις νέες Α/Γ, η οποία περισσεύει από το σύστημα αντλησιοταμίευσης, ανέρχεται στις 8241 MWh.

Η ετήσια ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο, η οποία χρησιμοποιείται για την εξασφάλιση της παροχής της εγγυημένης ενέργειας από τον ΥΒΣ, αλλά και για το Valley Filling, ανέρχεται στις 642 MWh.

Η ετήσια ενέργεια που απορρίπτεται από τις νέες Α/Γ, λόγω των περιορισμών του 120% και του ανώτατου ωριαίου ποσοστού διείσδυσης, ανέρχεται στις 11973 MWh.

### 10.1.2.3 Υβριδικός σταθμός ονομαστικής ισχύος 10,5 MW

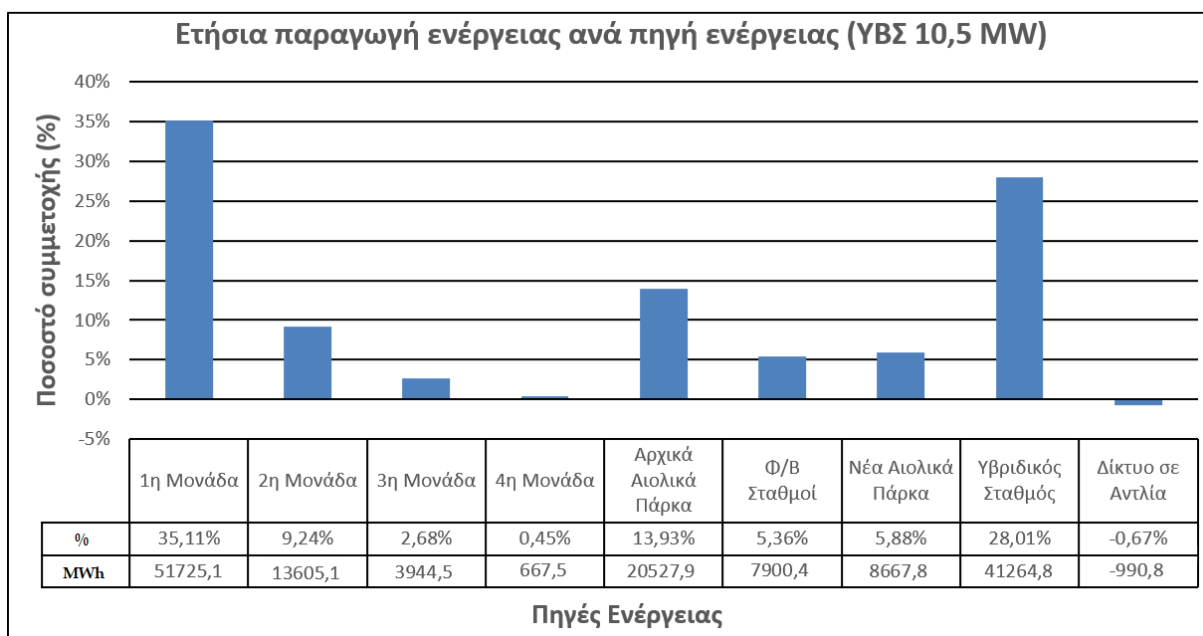
Για την εξαγωγή των παρακάτω αποτελεσμάτων ορίστηκαν τα εξής δεδομένα:

- Ονομαστική ισχύς υδροτροβίλου = 10,5 MW.
- Ονομαστική ισχύς αντλίας = 15 MW.
- Εγκατεστημένη ισχύς νέων αιολικών = 33 MW.

Να σημειωθεί ότι η εγκατεστημένη ισχύς των νέων αιολικών ορίστηκε με βάση το 220% της ονομαστικής ισχύος της αντλίας, όπου αποτελεί την πιο επικερδής περίπτωση με βάση το γράφημα [10.11](#).

#### Ποσοστό ενεργειακής συμμετοχής ανά πηγή

Με την εισαγωγή του ΥΒΣ ονομαστικής ισχύος 10,5 MW, το ποσοστό συμμετοχής που έχουν όλες οι συμβατικές μονάδες ξεχωριστά, τα αιολικά πάρκα (παλαιά και νέα εγκατεστημένα), οι Φ/Β σταθμοί και ο ΥΒΣ, στην ετήσια συνολική παραγωγή ενέργειας του νησιού παρουσιάζονται στο γράφημα 10.7.



↑↑ **Γράφημα 10.7:** Ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά πηγή, με ΥΒΣ 10,5 MW. ↑↑

Αρχικά, παρατηρείται ότι περίπου το 44,3% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης του νησιού καλύπτεται από τις δύο πρώτες μονάδες. Η συνεισφορά του ΥΒΣ

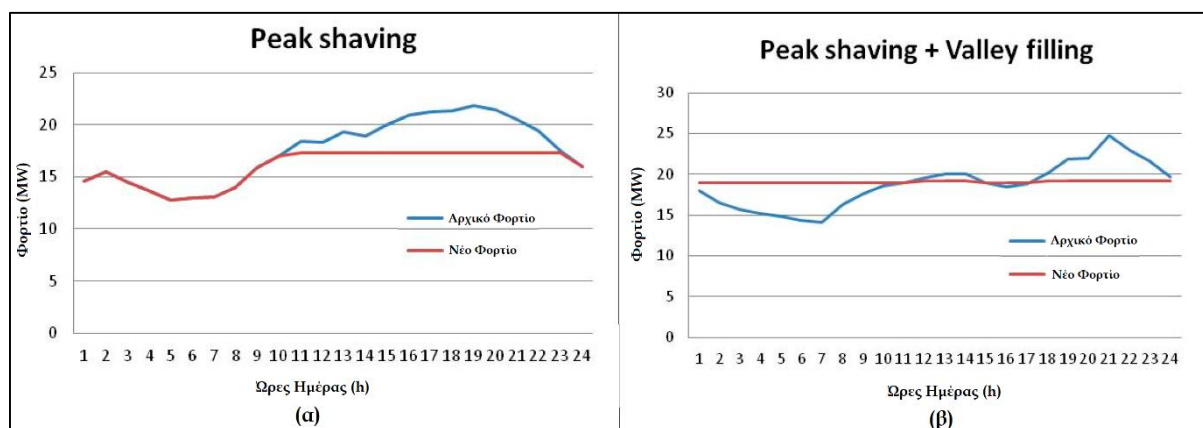
ανέρχεται στο 33,89% (28,01% από το σύστημα Αντλησιοταμίευσης + 5,88% από τα Νέα Αιολικά). Η διείσδυση των ΑΠΕ (Παλαιά Αιολικά πάρκα και Φ/Β σταθμοί) υπερβαίνει ελάχιστα το 19%. Ενώ, η λειτουργία των μονάδων 5 και 6 δεν κρίνεται απαραίτητη. Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις το δίκτυο παρέχει ενέργεια στην αντλία.

### Ετήσιο κόστος λειτουργίας μονάδων και ετήσιο κόστος παραγωγής ανά MWh

Τα ετήσια λειτουργικά κόστη των συμβατικών μονάδων, για τον διαχειριστή του δικτύου, ανέρχονται στα 6.032.105 € και το ετήσιο κόστος παραγωγής ανά MWh στα 43,25€ / MWh.

### Καμπύλες φορτίου ημερών του έτους

Οι καμπύλες φορτίου για την 4<sup>η</sup> και 206<sup>η</sup> ημέρα του έτους, μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ 10,5 MW, απεικονίζονται στο γράφημα 10.8. Το γράφημα 10.8α απεικονίζει την καμπύλη φορτίου για την 4<sup>η</sup> ημέρα του έτους όπου έχει εφαρμοστεί η διαδικασία του Peak Shaving. Το γράφημα 10.8β απεικονίζει την καμπύλη φορτίου για την 206<sup>η</sup> ημέρα του έτους όπου έχουν εφαρμοστεί η διαδικασίες του Peak Shaving + Valley Filling.



**Γράφημα 10.8:** Καμπύλες φορτίου (α) 4<sup>ης</sup> ημέρας (Peak Shaving) και (β) 206<sup>ης</sup> ημέρας (Peak shaving + Valley Filling) με ΥΒΣ 10,5 MW. ↑↑

Στο γράφημα 10.8α, που αφορά την 4<sup>η</sup> ημέρα, τίθεται σε εφαρμογή η διαδικασία του Peak Shaving, όπου όπως παρατηρείται, οι ώρες αιχμής του αρχικού φορτίου (10:00-23:00) έχουν πλέον εξομαλυνθεί στο νέο φορτίο.

Στο γράφημα 10.8β, που αφορά την 206η ημέρα, τίθενται σε εφαρμογή οι διαδικασίες Peak Shaving και Valley Filling, όπου όπως παρατηρείται, το αρχικό φορτίο εκείνης της ημέρας πλέον έχει σχεδόν πλήρως εξομαλυνθεί.

### Αιολική ενέργεια που διοχετεύεται, απορροφάται και απορρίπτεται από το δίκτυο

Η ετήσια ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο από τις νέες Α/Γ, η οποία περισσεύει από το σύστημα αντλησιοταμίευσης, ανέρχεται στις 8667 MWh.

Η ετήσια ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο, η οποία χρησιμοποιείται για την εξασφάλιση της παροχής της εγγυημένης ενέργειας από τον ΥΒΣ, αλλά και για το Valley Filling, ανέρχεται στις 991 MWh.

Η ετήσια ενέργεια που απορρίπτεται από τις νέες Α/Γ, λόγω των περιορισμών του 120% και του ανώτατου ωριαίου ποσοστού διείσδυσης, ανέρχεται στις 18484 MWh.

## 10.2 Σκοπιά του επενδυτή του έργου

Η ενότητα αυτή αφορά κυρίως τον επενδυτή του έργου της Σάμου, καθώς σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται οικονομικά αποτελέσματα, που αφορούν τον προς εγκατάσταση ΥΒΣ. Τα αποτελέσματα αυτά θα είναι βασισμένα σε δύο εναλλακτικά οικονομικά σενάρια, τα οποία έχουν προταθεί στην Ελλάδα.

Θα παρουσιαστούν οικονομικά αποτελέσματα για τον υπό μελέτη ΥΒΣ, τα οποία είναι τα εξής:

- Οι οικονομικές καμπύλες των δύο σεναρίων.
- Τα οικονομικά στοιχεία που αφορούν το οικονομικό σενάριο 1.
- Τα οικονομικά στοιχεία που αφορούν το οικονομικό σενάριο 2.

Όπως στην προηγούμενη ενότητα, έτσι και σε αυτήν θα εξετασθούν ξεχωριστά για ΥΒΣ με ονομαστική ισχύ 3,5 MW, 7,0 MW και με 10,5 MW αντίστοιχα.

### 10.2.1 Υβριδικός σταθμός ονομαστικής ισχύος 3,5 MW

Για την εξαγωγή των παρακάτω αποτελεσμάτων ορίστηκαν τα εξής δεδομένα:

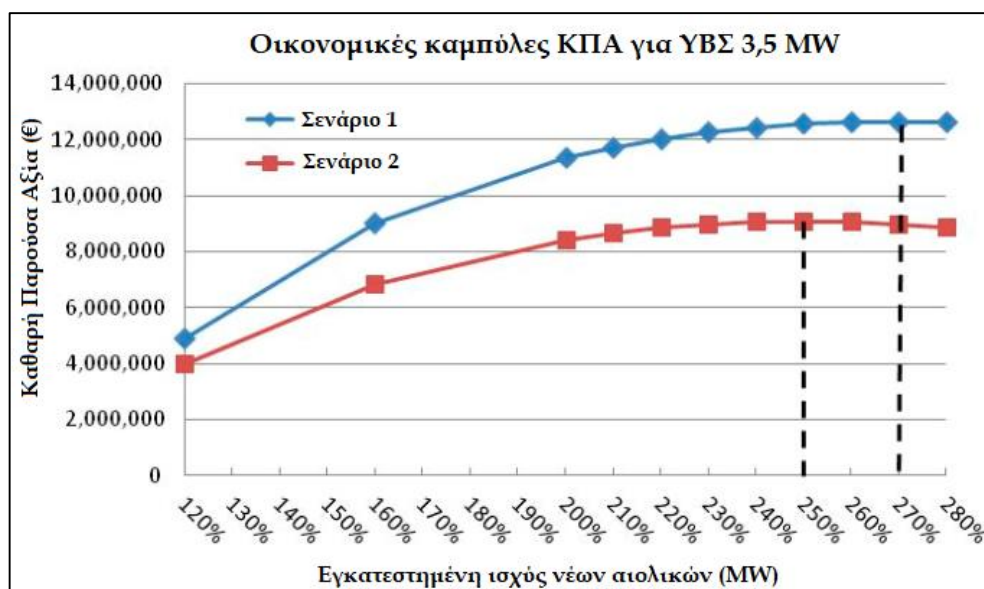
- Ονομαστική ισχύς υδροτροβίλου = 3,5 MW.
- Ονομαστική ισχύς αντλίας = 5 MW.
- Εγκατεστημένη ισχύς νέων αιολικών = 5 \* (πολλαπλά %) MW.

Όσον αφορά την εγκατεστημένη ισχύς των νέων αιολικών, ορίστηκαν πολλαπλές τιμές, οι οποίες βασίζονται στο 120% έως το 280%, με βήμα 10%, της ονομαστικής ισχύος της αντλίας, με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου οικονομικά συνδυασμού.

#### Οικονομικές καμπύλες σεναρίων

Στο γράφημα 10.9 απεικονίζονται οι διαφορετικές ΚΠΑ που διαμορφώνονται για ΥΒΣ ονομαστικής ισχύος 3,5 MW και για διαφορετικές τιμές της εγκατεστημένης ισχύος των νέων αιολικών. Η μπλε διαγράμμιση αφορά το σενάριο 1, ενώ η κόκκινη διαγράμμιση το σενάριο 2, τα οποία σεναρία αναλύθηκαν στην ενότητα 9.3 λεπτομερώς.

[Επιστροφή στα ενεργειακά αποτελέσματα του ΥΒΣ 3,5 MW](#)



↑↑ **Γράφημα 10.9:** Οικονομικές καμπύλες σεναρίων, με ΥΒΣ 3,5 MW. ↑↑

Από το γράφημα 10.9 παρατηρείται ότι γενικά και τα δύο σεναρία είναι οικονομικά βιώσιμα, με το σενάριο 1 να αποτελεί το πιο οικονομικά επικερδές σε όλες



τις περιπτώσεις. Το σενάριο 1 ακολουθεί αυξητική τάση μέχρι και το 270%, όπου η ΚΠΑ ανέρχεται στα 12.631.382 € και το σημείο εκείνο (διακεκομμένη γραμμή) αποτελεί την ιδανικότερη περίπτωση. Το σενάριο 2 ακολουθεί αυξητική τάση μέχρι και το 250%, όπου η ΚΠΑ ανέρχεται στα 9.067.006 € και το σημείο εκείνο (διακεκομμένη γραμμή) αποτελεί την ιδανικότερη περίπτωση.

### Πίνακας οικονομικών στοιχείων του σεναρίου 1

Στον πίνακα 10.1 απεικονίζονται ορισμένα σημαντικά οικονομικά στοιχεία, που αφορούν το σενάριο 1. Όπου:

- **Έσοδα:** Ετήσια έσοδα από ΥΒΣ, με βάση το 1<sup>ο</sup> οικονομικό σενάριο.
- **Έξοδα:** Ετήσια έξοδα από ΥΒΣ, με βάση το 1<sup>ο</sup> οικονομικό σενάριο.
- **Α/Γ:** Κόστος εγκατάστασης Α/Γ.
- **ΥΒΣ:** Κόστος εγκατάστασης ΥΒΣ.
- **Δόση:** Ετήσια δόση δανείου.
- **ΚΠΑ:** Καθαρή Παρούσα Αξία, με βάση το 1<sup>ο</sup> οικονομικό σενάριο.

Να σημειωθεί ότι κατά τους υπολογισμούς αυτούς επιλέχθηκε η ιδανικότερη περίπτωση, δηλαδή 270% εγκατεστημένη ισχύς νέων αιολικών για το σενάριο 1, με βάση το γράφημα 10.9.

↑↑ Πίνακας 10.1: Οικονομικά στοιχεία 1<sup>ου</sup> σεναρίου για ΥΒΣ 3,5 MW. ↑↑

Σενάριο 1					
Έσοδα (€)	Έξοδα (€)	Κόστος εγκατάστασης (€)		Δόση (€)	ΚΠΑ (€)
		Α/Γ	ΥΒΣ		
3.610.783	440.568	16.200.000	10.500.000	1.606.812	12.631.382

### Πίνακας οικονομικών στοιχείων του σεναρίου 2

Στον πίνακα 10.2 απεικονίζονται ορισμένα σημαντικά οικονομικά στοιχεία, που αφορούν το σενάριο 2. Να σημειωθεί ότι κατά τους υπολογισμούς αυτούς επιλέχθηκε η ιδανικότερη περίπτωση, δηλαδή 250% εγκατεστημένης ισχύος νέων αιολικών για το σενάριο 2, με βάση το γράφημα 10.9.

↑↑ Πίνακας 10.2: Οικονομικά στοιχεία 2<sup>ο</sup> σεναρίου για ΥΒΣ 3,5 MW. ↑↑

Σενάριο 2					
Έσοδα (€)	Έξοδα (€)	Κόστος εγκατάστασης (€)		Δόση (€)	ΚΠΑ (€)
		Α/Γ	ΥΒΣ		
3.190.877	413.732	15.000.000	10.500.000	1.534.595	9.067.006

### 10.2.2 Υβριδικός σταθμός ονομαστικής ισχύος 7,0 MW →

Για την εξαγωγή των παρακάτω αποτελεσμάτων ορίστηκαν τα εξής δεδομένα:

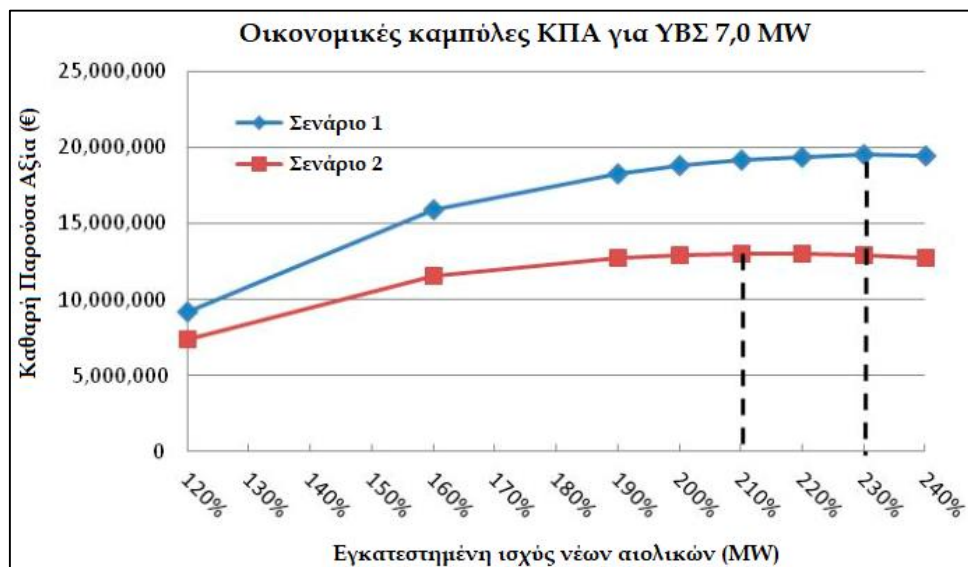
- Ονομαστική ισχύς υδροστροβίλου = 7,0 MW.
- Ονομαστική ισχύς αντλίας = 10 MW.
- Εγκατεστημένη ισχύς νέων αιολικών = 10 \* (πολλαπλά %) MW.

Όσον αφορά την εγκατεστημένη ισχύς των νέων αιολικών, ορίστηκαν πολλαπλές τιμές, οι οποίες βασίζονται στο 120% έως το 240%, με βήμα 10%, της ονομαστικής ισχύος της αντλίας, με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου οικονομικά συνδυασμού.

#### Οικονομικές καμπύλες σεναρίων

Στο γράφημα 10.10 απεικονίζονται οι διαφορετικές ΚΠΑ που διαμορφώνονται για ΥΒΣ ονομαστικής ισχύος 7,0 MW και για διαφορετικές τιμές της εγκατεστημένης ισχύος των νέων αιολικών. Η μπλε διαγράμμιση αφορά το σενάριο 1, ενώ η κόκκινη διαγράμμιση το σενάριο 2, τα οποία σεναρία αναλύθηκαν στην ενότητα 9.3 λεπτομερώς.

[Επιστροφή στα ενεργειακά αποτελέσματα του ΥΒΣ 7,0 MW](#)



↑↑ **Γράφημα 10.10:** Οικονομικές καμπύλες σεναρίων, με ΥΒΣ 7,0 MW. ↑↑

Από το γράφημα 10.10 παρατηρείται ότι γενικά και τα δύο σενάρια είναι οικονομικά βιώσιμα, με το σενάριο 1 να αποτελεί το πιο οικονομικά επικερδές σε όλες τις περιπτώσεις. Το σενάριο 1 ακολουθεί αυξητική τάση μέχρι και το 230%, όπου η ΚΠΑ ανέρχεται στα 19.502.105 € και το σημείο εκείνο (διακεκομμένη γραμμή) αποτελεί την ιδανικότερη περίπτωση. Το σενάριο 2 ακολουθεί αυξητική τάση μέχρι και το 210%, όπου η ΚΠΑ ανέρχεται στα 13.024.999 € και το σημείο εκείνο (διακεκομμένη γραμμή) αποτελεί την ιδανικότερη περίπτωση.

### Πίνακας οικονομικών στοιχείων του σεναρίου 1

Στον πίνακα 10.3 απεικονίζονται ορισμένα σημαντικά οικονομικά στοιχεία, που αφορούν το σενάριο 1. Να σημειωθεί ότι κατά τους υπολογισμούς αυτούς επιλέχθηκε η ιδανικότερη περίπτωση, δηλαδή 230% της εγκατεστημένης ισχύος νέων αιολικών για το σενάριο 1, με βάση το γράφημα 10.10.

↑↑ **Πίνακας 10.3:** Οικονομικά στοιχεία 1<sup>ου</sup> σεναρίου για ΥΒΣ 7,0 MW. ↑↑

Σενάριο 1					
Εσοδα (€)	Έξοδα (€)	Κόστος εγκατάστασης (€)		Δόση (€)	ΚΠΑ (€)
		Α/Γ	ΥΒΣ		
6.281.653	818.949	27.600.000	21.000.000	2.924.758	19.502.106

## Πίνακας οικονομικών στοιχείων του σεναρίου 2

Στον πίνακα 10.4 απεικονίζονται ορισμένα σημαντικά οικονομικά στοιχεία, που αφορούν το σενάριο 2. Να σημειωθεί ότι κατά τους υπολογισμούς αυτούς επιλέχθηκε η ιδανικότερη περίπτωση, δηλαδή 210% της ονομαστικής ισχύος των νέων αιολικών για το σενάριο 2, με βάση το γράφημα 10.10.

↑↑ Πίνακας 10.4: Οικονομικά στοιχεία 2<sup>ο</sup> σεναρίου για ΥΒΣ 7,0 MW. ↑↑

Σενάριο 2					
Έσοδα (€)	Έξοδα (€)	Κόστος εγκατάστασης (€)		Δόση (€)	ΚΠΑ (€)
		Α/Γ	ΥΒΣ		
5.492.995	763.166	25.200.000	21.000.000	2.780.326	13.024.999

### 10.2.3 Υβριδικός σταθμός ονομαστικής ισχύος 10,5 MW

Για την εξαγωγή των παρακάτω αποτελεσμάτων ορίστηκαν τα εξής δεδομένα:

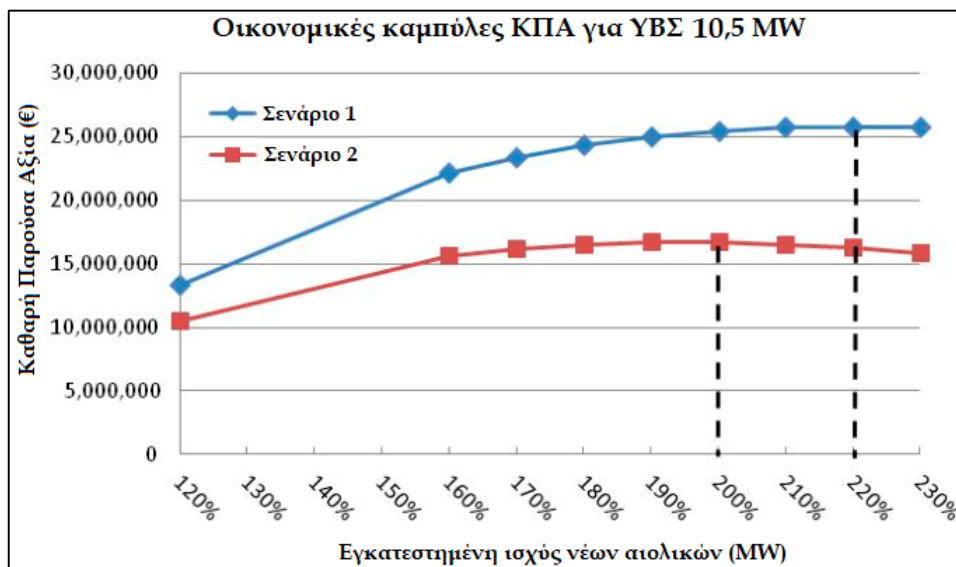
- Ονομαστική ισχύς υδροτροβίλου = 10,5 MW.
- Ονομαστική ισχύς αντλίας = 15 MW.
- Εγκατεστημένη ισχύς νέων αιολικών = 10 \* (πολλαπλά %) MW.

Όσον αφορά την εγκατεστημένη ισχύς των νέων αιολικών, ορίστηκαν πολλαπλές τιμές, οι οποίες βασίζονται στο 120% έως το 230%, με βήμα 10%, της ονομαστικής ισχύος της αντλίας, με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου οικονομικά συνδυασμού.

### Οικονομικές καμπύλες σεναρίων

Στο γράφημα 10.11 απεικονίζονται οι διαφορετικές ΚΠΑ που διαμορφώνονται για ΥΒΣ ονομαστικής ισχύος 10,5 MW και για διαφορετικές τιμές της εγκατεστημένης ισχύος των νέων αιολικών. Η μπλε διαγράμμιση αφορά το σενάριο 1, ενώ η κόκκινη διαγράμμιση το σενάριο 2, τα οποία σενάρια αναλύθηκαν στην ενότητα 9.3 λεπτομερώς.

[Επιστροφή στα ενεργειακά αποτελέσματα του ΥΒΣ 10,5 MW](#)



↑↑ **Γράφημα 10.11:** Οικονομικές καμπύλες σεναρίων, με ΥΒΣ 10,5 MW. ↑↑

Από το γράφημα 10.11 παρατηρείται ότι γενικά και τα δύο σενάρια είναι οικονομικά βιώσιμα, με το σενάριο 1 να αποτελεί το πιο οικονομικά επικερδές σε όλες τις περιπτώσεις. Το σενάριο 1 ακολουθεί αυξητική τάση μέχρι και το 220%, όπου η ΚΠΑ ανέρχεται στα 25.786.125 € και το σημείο εκείνο (διακεκομμένη γραμμή) αποτελεί την ιδανικότερη περίπτωση. Το σενάριο 2 ακολουθεί αυξητική τάση μέχρι και το 200%, όπου η ΚΠΑ ανέρχεται στα 16.661.029 € και το σημείο εκείνο (διακεκομμένη γραμμή) αποτελεί την ιδανικότερη περίπτωση.

### Πίνακας οικονομικών στοιχείων του σεναρίου 1

Στον πίνακα 10.5 απεικονίζονται ορισμένα σημαντικά οικονομικά στοιχεία, που αφορούν το σενάριο 1. Να σημειωθεί ότι κατά τους υπολογισμούς αυτούς επιλέχθηκε η ιδανικότερη περίπτωση, δηλαδή 220% της ονομαστικής ισχύος των νέων αιολικών για το σενάριο 1, με βάση το γράφημα 10.11.

↑↑ **Πίνακας 10.5:** Οικονομικά στοιχεία 1<sup>ου</sup> σεναρίου για ΥΒΣ 10,5 MW. ↑↑

Σενάριο 1					
Έσοδα (€)	Έξοδα (€)	Κόστος εγκατάστασης (€)		Δόση (€)	ΚΠΑ (€)
		Α/Γ	ΥΒΣ		
8.963.295	1.205.207	39.600.000	31.500.000	4.278.813	25.786.125

### Πίνακας οικονομικών στοιχείων του σεναρίου 2

Στον πίνακα 10.6 απεικονίζονται ορισμένα σημαντικά οικονομικά στοιχεία, που αφορούν το σενάριο 2. Να σημειωθεί ότι κατά τους υπολογισμούς αυτούς επιλέχθηκε η ιδανικότερη περίπτωση, δηλαδή 200% της ονομαστικής ισχύς των νέων αιολικών για το σενάριο 2, με βάση το γράφημα 10.11.

↑↑ Πίνακας 10.6: Οικονομικά στοιχεία 2<sup>ο</sup> σεναρίου για ΥΒΣ 10,5 MW. ↑↑

Σενάριο 2					
Έσοδα (€)	Έξοδα (€)	Κόστος εγκατάστασης (€)		Δόση (€)	ΚΠΑ (€)
		Α/Γ	ΥΒΣ		
7.828.444	1.121.394	36.000.000	31.500.000	4.062.164	16.661.029

## Κεφάλαιο 11

### Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό θα συγκριθούν και θα συζητηθούν τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα από την σκοπιά του διαχειριστή του δικτύου αλλά και από την σκοπιά του επενδυτή του έργου. Αρχικά, για το ΑΣΠ της Σάμου πριν και μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ. Έπειτα, για τους διαφορετικούς ΥΒΣ μεταξύ τους. Τέλος, τα οικονομικά αποτελέσματα για του διαφορετικούς ΥΒΣ μεταξύ τους.

#### 11.1 Σκοπιά του διαχειριστή του δικτύου της Σάμου

Στην ενότητα αυτή θα συγκριθούν και θα συζητηθούν τα αποτελέσματα που αφορούν τον διαχειριστή του δικτύου της Σάμου, τα οποία παρουσιάστηκαν στην ενότητα 10.1. Αρχικά, για το ΑΣΠ της Σάμου πριν και μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ. Τέλος, για τους διαφορετικούς ΥΒΣ μεταξύ τους (3,5, 7,0 και 10,5).

##### 11.1.1 Πριν και μετά την εισαγωγή του υβριδικού σταθμού

Στην υποενότητα αυτή θα παρουσιαστούν, θα συγκριθούν και θα σχολιασθούν τα αποτελέσματα για το ΑΣΠ της Σάμου πριν και μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ 3,5 MW, 7,0 MW και 10,5 MW.

##### Πριν και μετά την εισαγωγή του υβριδικού σταθμού

Στον πίνακα 11.1 έχουν συγκεντρωθεί όλα εκείνα τα αποτελέσματα από την ενότητα 10.1, που αφορούν πριν και μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ.

↑↑ Πίνακας 11.1: Αποτελέσματα πριν και μετά την εισαγωγή του υβριδικού σταθμού. ↑↑

	a (%)	b (€)	c (€)	d	e (MWh)	f (MWh)	g (MWh)
Πριν	69,9	9.887.800	70,9	<a href="#">Εδώ</a>	-	-	-
Μετά (3,5 MW)	60,5	8.062.833	57,8	<a href="#">Εδώ</a>	7843	286	6737
Μετά (7,0 MW)	52,7	6.988.914	50,1	<a href="#">Εδώ</a>	8241	642	11973
Μετά (10,5 MW)	44,3	6.032.105	43,25	<a href="#">Εδώ</a>	8667	991	18484

Όπου:

- a) Το ποσοστό της ενεργειακής συμμετοχής των δύο πρώτων μονάδων (%).
- b) Το ετήσιο κόστος λειτουργίας των μονάδων (€).
- c) Το ετήσιο κόστος παραγωγής ανά MWh (€/MWh).
- d) Οι καμπόλες φορτίου ημερών του έτους.
- e) Η αιολική ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο (MWh).
- f) Η αιολική ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο (MWh).
- g) Η αιολική ενέργεια που απορρίπτεται από τις νέες Α/Γ (MWh).

### Σύγκριση-Συζήτηση-Σχολιασμός

- a) Παρατηρείται ότι το ποσοστό της ενεργειακής συμμετοχής των δύο πρώτων μονάδων του ΑΣΠ μειώνεται μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ. Όσο μεγαλύτερη η ονομαστική ισχύς του ΥΒΣ, τόσο μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται. Αυτό οφείλεται στο ότι ο ΥΒΣ πλέον συμμετέχει στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης του νησιού. Αναλυτικά, ο ΥΒΣ 3,5 MW, επιφέρει μείωση 9,4%. Ο ΥΒΣ 7,0 MW, επιφέρει μείωση 17,2% και ο ΥΒΣ 10,5 MW, επιφέρει μείωση 25,6%.
- b) Παρατηρείται ότι το ετήσιο κόστος λειτουργίας των μονάδων του ΑΣΠ μειώνεται μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ. Όσο μεγαλύτερη η ονομαστική ισχύς του ΥΒΣ, τόσο μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται. Αυτό οφείλεται στο ότι ο ΥΒΣ πλέον συμμετέχει στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης του νησιού, με αποτέλεσμα οι μονάδες να λειτουργούν λιγότερο. Αναλυτικά, ο ΥΒΣ 3,5 MW, επιφέρει μείωση 1.824.967€. Ο ΥΒΣ 7,0 MW, επιφέρει μείωση 2.898.886 € και ο ΥΒΣ 10.5 MW, επιφέρει 3.855.695 €.
- c) Παρατηρείται ότι το ετήσιο κόστος παραγωγής ανά MWh των μονάδων του ΑΣΠ μειώνεται μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ. Όσο μεγαλύτερη η ονομαστική ισχύς του ΥΒΣ, τόσο μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται. Αυτό οφείλεται στο ότι ο ΥΒΣ παρέχει ενέργεια σε ώρες αιχμής, όπου το κόστος παραγωγής είναι μεγαλύτερο από άλλες ώρες της ημέρας. Αναλυτικά, ο ΥΒΣ 3,5 MW, επιφέρει μείωση 13,1 €/MWh. Ο ΥΒΣ 7,0 MW, επιφέρει 20,8 €/MWh και ο ΥΒΣ 10,5 MW, 27,6 €/MWh.



- d) Παρατηρείται ότι οι ημερήσιες καμπύλες φορτίου εξομαλύνονται μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ. Όσο μεγαλύτερη η ονομαστική ισχύς του ΥΒΣ, τόσο μεγαλύτερη είναι η εξομάλυνση. Αυτό οφείλεται στο ότι με την εισαγωγή του ΥΒΣ, τίθενται σε εφαρμογή μέθοδοι όπως Peak Shaving και Valley Filling.
- e) Μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ, αιολική ενέργεια που περισσεύει διοχετεύεται στο δίκτυο. Αυτό οφείλεται σε ορισμένους περιορισμούς που υπάρχουν κατά την λειτουργία του ΥΒΣ. Αναλυτικά ο ΥΒΣ 3,5 MW, διοχετεύει 7843 MWh. Ο ΥΒΣ 7,0 MW, διοχετεύει 8241 MWh και ο ΥΒΣ 10,5 MW, 8667 MWh.
- f) Μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ, απορροφάται ενέργεια από το δίκτυο. Αυτό οφείλεται σε ορισμένους περιορισμούς και στην εφαρμογή της μεθόδου του Valley Filling. Αναλυτικά ο ΥΒΣ 3,5 MW, απορροφά 286 MWh. Ο ΥΒΣ 7,0 MW, απορροφά 642 MWh και 10,5 MW, 991 MWh.
- g) Μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ, αιολική ενέργεια απορρίπτεται. Αυτό οφείλεται σε ορισμένους περιορισμούς που υπάρχουν κατά την λειτουργία του ΥΒΣ. Αναλυτικά, ο ΥΒΣ 3,5 MW, απορρίπτει 6737 MWh. Ο ΥΒΣ 7,0 MW, απορρίπτει 11973 MWh και ο ΥΒΣ 10,5 MW, 18484 MWh.

### 11.1.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ υβριδικών σταθμών

Στην υποενότητα αυτή θα παρουσιασθούν, θα συγκριθούν και θα σχολιασθούν τα αποτελέσματα για τους διαφορετικούς ΥΒΣ μεταξύ τους (3,5, 7,0 και 10,5 MW).

#### Υβριδικοί σταθμοί 3,5 MW, 7,0 MW και 10,5 MW

Στον πίνακα 11.2 έχουν συγκεντρωθεί όλα εκείνα τα αποτελέσματα από την ενότητα 10.1.2, που αφορούν μετά την εισαγωγή του ΥΒΣ και για ΥΒΣ διαφόρων ονομαστικών ισχύων.

↑↑ Πίνακας 11.2: Αποτελέσματα υβριδικών σταθμών διαφόρων ονομαστικών ισχύων. ↑↑

	a (%)	b (€)	c (€)	d	e (MWh)	f (MWh)	g (MWh)
ΥΒΣ (3,5)	15,1	8.062.833	57,8	<a href="#">Εδω</a>	7843	286	6737
ΥΒΣ (7,0)	24,5	6.988.914	50,1	<a href="#">Εδω</a>	8241	642	11973
ΥΒΣ (10,5)	33,9	6.032.105	43,25	<a href="#">Εδω</a>	8667	991	18484

Όπου:

- a) Το ποσοστό της ενεργειακής συμμετοχής του ΥΒΣ (%).
- b) Το ετήσιο κόστος λειτουργίας των μονάδων (€).
- c) Το ετήσιο κόστος παραγωγής ανά MWh (€/MWh).
- d) Οι καμπόλες φορτίου ημερών του έτους.
- e) Η αιολική ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο (MWh).
- f) Η αιολική ενέργεια που απορροφάται από το δίκτυο (MWh).
- g) Η αιολική ενέργεια που απορρίπτεται από τις νέες Α/Γ (MWh).

### Σύγκριση-Συζήτηση-Σχολιασμός

- a) Παρατηρείται ότι το ποσοστό της ενεργειακής συμμετοχής του ΥΒΣ αυξάνεται όσο αυξάνεται και η ονομαστική του ισχύς, για λόγους αυξημένης παραγωγής. Αναλυτικά, η συμμετοχή του ΥΒΣ 3,5 MW, ανέρχεται στο 15,1%, του ΥΒΣ 7,0 MW στο 24,5% και του ΥΒΣ 10,5 MW στο 33,9%.
  - Για όλα τα υπόλοιπα αποτελέσματα που εμφανίζονται στον πίνακα 11.2 ισχύει ότι αναφέρθηκε για αυτά στην υποενότητα 11.1.1.
  - Σαφώς τα νούμερα δείχνουν τον ΥΒΣ των 10,5 MW, ως την καλύτερη επιλογή, καθώς επιδρά θετικότερα, από τους υπόλοιπους δύο, στο ΑΣΠ της Σάμου. Όμως, επιλογή με βάση μόνον αυτά τα κριτήρια δεν θεωρείται σωστή. Έτσι, θα πρέπει να συγκριθούν-συζητηθούν και τα νούμερα που εμφανίζουν, στο οικονομικό κομμάτι.

### **11.2 Σκοπιά του επενδυτή του έργου**

Στην ενότητα αυτή θα συγκριθούν και θα συζητηθούν τα αποτελέσματα που αφορούν τον επενδυτή του έργου, τα οποία παρουσιάστηκαν στην ενότητα 10.2. Συγκεκριμένα, για τους διαφορετικούς ΥΒΣ μεταξύ τους (3,5, 7,0 και 10,5).

#### **11.2.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ υβριδικών σταθμών**

Στην υποενότητα αυτή θα παρουσιασθούν, θα συγκριθούν και θα σχολιασθούν τα οικονομικά αποτελέσματα για τους διαφορετικούς ΥΒΣ μεταξύ τους (3,5, 7,0 και 10,5 MW).

### Υβριδικοί σταθμοί 3,5 MW, 7,0 MW και 10,5 MW

Στον πίνακα 11.3 έχουν συγκεντρωθεί όλα εκείνα τα αποτελέσματα από την ενότητα 10.2, για διαφορετικούς ΥΒΣ και 2 διαφορετικά οικονομικά σενάρια.

**Πίνακας 11.3:** Οικονομικά αποτελέσματα διαφορετικών υβριδικών σταθμών και  
↑↑ σεναρίων. ↑↑

	ΥΒΣ 3,5 MW		ΥΒΣ 7,0 MW		ΥΒΣ 10,5 MW	
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 1	Σενάριο 2
a	<u>Εδώ</u>		<u>Εδώ</u>		<u>Εδώ</u>	
b (€)	3.610.783	3.190.877	6.281.653	5.492.995	8.963.295	7.828.444
c (€)	440.568	413.732	818.949	763.166	1.205.207	1.121.394
d (€)	16.200.000	15.000.000	27.600.000	25.200.000	39.600.000	36.000.000
e (€)	10.500.000	10.500.000	21.000.000	21.000.000	31.500.000	31.500.000
f (€)	1.606.812	1.534.595	2.924.758	2.780.326	4.278.813	4.062.164
g (€)	12.631.382	9.067.006	19.502.106	13.024.999	25.786.125	16.661.029

Όπου:

- Οι οικονομικές καμπύλες των σεναρίων.
- Τα ετήσια έσοδα από τον ΥΒΣ (€).
- Τα ετήσια έξοδα από τον ΥΒΣ (€).
- Το κόστος εγκατάστασης των Α/Γ (€).
- Το κόστος εγκατάστασης του ΥΒΣ (€).
- Ετήσια δόση του δανείου (€).
- Η Καθαρή Παρούσα Αξία (€).

### Σύγκριση-Συζήτηση-Σχολιασμός

- Αρχικά παρατηρείται ότι και στις τρεις περιπτώσεις ΥΒΣ, το πιο επικερδές σενάριο προκύπτει ότι είναι το σενάριο 1. Επίσης, και στις τρεις περιπτώσεις ΥΒΣ, απαιτείται η εγκατάσταση μεγάλης κλίμακας Α/Γ, γεγονός που οφείλεται στον χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των Α/Γ (~30%). Ακόμη, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η ισχύς του ΥΒΣ, όλο και μειώνεται η ιδανικότερη τιμή της εγκατεστημένης ισχύς των νέων αιολικών για κάθε σενάριο και ΥΒΣ. Αυτό οφείλεται στο ότι, αυξάνοντας την εγκατεστημένη ισχύς των νέων αιολικών, περισσότερη ποσότητα ενέργειας απορρίπτεται.

- b) Παρατηρείται ότι τα ετήσια έσοδα από τον ΥΒΣ αυξάνονται όσο αυξάνεται και η ονομαστική του ισχύς, για λόγους αύξησης της παραγωγής. Επίσης, και στις τρεις περιπτώσεις το σενάριο 1 εμφανίζει μεγαλύτερα έσοδα σε σχέση με το σενάριο 2.
- c) Παρατηρείται ότι τα ετήσια έξοδα από ΥΒΣ αυξάνονται όσο αυξάνεται και η ονομαστική του ισχύς, λόγω του ότι αυξάνονται και τα κόστη συντήρησής του. Ακόμη, η διαφορά των ετήσιων εξόδων μεταξύ σεναρίου 1 και 2 είναι σχετικά μικρή.
- d) Παρατηρείται ότι το κόστος εγκατάστασης των Α/Γ αυξάνεται, λόγω του ότι αυξάνεται η ονομαστική ισχύς της αντλίας, η οποία επηρεάζεται άμεσα από την αύξηση της ονομαστικής ισχύος του ΥΒΣ. Επίσης, η διαφορά στο κόστος εγκατάστασης μεταξύ του σεναρίου 1 και του 2, σε κάθε περίπτωση ΥΒΣ, έγκειται στην διαφορά των ιδανικών σημείων, στην εγκατεστημένη ισχύς των νέων Α/Γ, που εμφανίζει το κάθε σενάριο.
- e) Αρχικά, παρατηρείται ότι το κόστος εγκατάστασης του ΥΒΣ, αυξάνεται όσο αυξάνεται και η ονομαστική του ισχύς, για λόγους προφανείς. Επίσης, διαφορά στο κόστος εγκατάστασης μεταξύ των δύο σεναρίων δεν υφίστανται, διότι και στα δύο σενάρια εφαρμόζεται η ίδια ονομαστική ισχύς ΥΒΣ.
- f) Παρατηρείται ότι η ετήσια δόση του δανείου αυξάνεται όσο αυξάνεται και η ονομαστική ισχύς του ΥΒΣ. Αυτό οφείλεται στο ότι αυξάνοντας την ονομαστική ισχύς του ΥΒΣ, αυξάνεται και το συνολικό κόστος εγκατάστασης Α/Γ και ΥΒΣ, το οποίο επηρεάζει άμεσα το ποσό της ετήσιας δόσης. Η διαφορά των ετήσιων δόσεων του δανείου μεταξύ των σεναρίων είναι σχετικά μικρή.
- g) Αρχικά, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η ονομαστική ισχύς του ΥΒΣ, αυξάνεται και η ΚΠΑ, για λόγους παραγωγής. Επίσης, και στις τρεις περιπτώσεις το σενάριο 1 εμφανίζεται ως πιο επικερδές, ως προς το σενάριο 2.
- Σαφώς, τα νούμερα και στο οικονομικό κομμάτι δείχνουν τον ΥΒΣ των 10,5 MW, ως την καλύτερη επιλογή, καθώς αποφέρει μεγαλύτερα έσοδα προς τον επενδυτή του έργου. Όμως, δεν αρκεί μόνον αυτό για να παρθεί η τελική απόφαση. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν και άλλοι παράγοντες, όπως περιβαλλοντικοί, διάρκεια ζωής του έργου, υψηλά κόστη εγκατάστασης κ.α..

## Κεφάλαιο 12

### Συμπεράσματα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η προσομοίωση εγκατάστασης συστήματος αντλησιοταμίευσης και αιολικού πάρκου (ΥΒΣ) στο νησί της Σάμου. Στόχος, μέσω αυτής της προσομοίωσης, ήταν η εύρεση του όσο το δυνατόν αποδοτικότερου ΥΒΣ, ο οποίος θα επιδρά θετικά στο ενεργειακό σύστημα της Σάμου, αλλά και ταυτοχρόνως να χαρακτηρίζεται ως οικονομικά βιώσιμος. Η προσομοίωση - μοντελοποίηση αυτή προσεγγίστηκε αλγοριθμικά και προγραμματιστικά, με χρήση λογισμικού (Matlab), για τρία μεγέθη ΥΒΣ (3,5, 7,0 και 10,5 MW). Ενώ, τα δεδομένα, οι παράμετροι και οι υπολογισμοί που χρησιμοποιήθηκαν ήταν όσο το δυνατόν ρεαλιστικοί.

Με βάση τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι:

- Η εγκατάσταση ΥΒΣ στην Σάμου θα επιφέρει μείωση στα ετήσια κόστη λειτουργίας των συμβατικών μονάδων για τον διαχειριστή του δικτύου.
- Η εγκατάσταση ΥΒΣ στην Σάμο θα αποφέρει σημαντικά έσοδα για τον επενδυτή του έργου.

Επιπλέον και πιο συγκεκριμένα συμπεραίνεται ότι, μετά την εγκατάσταση του ΥΒΣ:

1. Το ετήσιο κόστος λειτουργίας των συμβατικών μονάδων, μειώνεται κατά 18,5% έως 39%, για μεγέθη ΥΒΣ από 3,5 MW έως 10,5 MW.
2. Η τελική συμμετοχή/διείσδυση του ΥΒΣ κυμαίνεται από 15,1% έως 33,9%, για μεγέθη ΥΒΣ από 3,5 MW έως 10,5 MW.
3. Τα συνολικά καθαρά έσοδα του έργου ανέρχονται από 9εκ. € έως 25,8εκ. €, για μεγέθη ΥΒΣ από 3,5 MW έως 10,5 MW και οικονομικών σεναρίων 1 ή 2.

Συνοψίζοντας, αξίζει να σημειωθεί ότι η μοντελοποίηση ενός ΥΒΣ στην Σάμο, παρέχει σημαντικές πληροφορίες για το ενεργειακό κομμάτι του νησιού και κατά πόσο θα επηρεαστεί το ήδη υπάρχον δίκτυο, καθώς και για το οικονομικό κομμάτι του έργου.

Τέλος, πιθανές επεκτάσεις της εργασίας είναι οι εξής ακόλουθες:

- Θεώρηση διαφορετικής ισχύος αντλίας σε σχέση με την ισχύ του υδροστροβίλου.
- Θεώρηση των επιπλέον θετικών επιπτώσεων που θα έχει ο σταθμός αντλησιοταμίευσης σε θέματα άρδευσης, κλπ.
- Θεώρηση των επιπλέον αρνητικών επιπτώσεων που θα έχει το έργο σε θέματα περιβαλλοντικά, κοινωνικά, κλπ.
- Εκτίμηση της λειτουργίας του ΥΒΣ στη λειτουργία του ΣΗΕ Σάμου (τάση συστήματος, κλπ.)

### **Κεφάλαιο 1**

Γελεγένης, Ι.Ι. & Αζαόπουλος, Π.Ι. (2005). *Πηγές ενέργειας: συμβατικές και ανανεώσιμες*. Αθήνα: Σύγχρονη εκδοτική.

Καλδέλλης, Ι.Κ. (2005). *Διαχείριση της αιολικής ενέργειας*. Αθήνα: Σταμούλης.

Ritchie, H (2017). *How long before we run out of fossil fuels?*. Retrieved September 17, 2019, from [here](#).

Χριστάκης, Ι. & Αθανασόπουλος, Ι. (2016). *Αιολική ενέργεια στην Ελλάδα και οικονομική αξιολόγηση* (Πτυχιακή εργασία). Ανώτατο εκπαιδευτικό ίδρυμα Πειραιά, Πειραιά.

Καπλάνη, Α. (2013). *Το ενεργειακό πρόβλημα στην σύγχρονη εποχή* (Ερευνητική εργασία).

Χατζής, Κ. (2008). *Το ενεργειακό πρόβλημα και η λύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας- παράδειγμα δημιουργίας φωτοβολταϊκού πάρκου 100kW στο αεροδρόμιο της Ν. Αγχιαλού* (Διπλωματική εργασία). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος.

British Petroleum (2019). *BP statistical review of world energy*, 68<sup>th</sup> edition. Retrieved September 17, 2019, from [here](#).

### **Κεφάλαιο 2**

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, (2019). *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*. Ανακτήθηκε 17 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

European Environment Agency, (2018). *Share of renewable energy in gross final energy consumption*. Retrieved September 17, 2019, from [here](#).

Ritchie, H. & Roser, M. (2019). *Renewable energy*. Retrieved September 17, 2019, from [here](#).

Τσουράπα, Σ. (2015). *Ανάλυση και έλεγχος μετατροπέων ισχύος 3Φ AC/DC για χρήση σε συστήματα ΑΠΕ* (Διπλωματική εργασία). Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Χριστάκης, Ι. & Αθανασόπουλος, Ι. (2016). *Αιολική ενέργεια στην Ελλάδα και οικονομική αξιολόγηση* (Πτυχιακή εργασία). Ανώτατο εκπαιδευτικό ίδρυμα Πειραιά, Πειραιά.

Ministry of Environmental & Energy, (2018). *Fourth progress report on the promotion and use of energy from renewable sources in Greece*. Retrieved September 17, 2019, from [here](#).

### **Κεφάλαιο 3**

Γελεγένης, Ι.Ι. & Αξαόπουλος, Π.Ι. (2005). *Πηγές ενέργειας: συμβατικές και ανανεώσιμες*. Αθήνα: Σύγχρονη εκδοτική.

Καλδέλλης, Ι.Κ. (2005). *Διαχείριση της αιολικής ενέργειας*. Αθήνα: Σταμούλης.

Σπανού, Α. & Χελιδώνη, Κ. (2006). *Εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων στην κρήτη. Κοινή γνώμη, επενδυτές & τοπική αυτοδιοίκηση. Αντιδράσεις και προοπτικές* (Πτυχιακή εργασία). Ανώτατο τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Κρήτης, Ηράκλειο.

Ψύχα, Α. (χ.η.). *Σημειώσεις ναυτικής μετεωρολογίας*. Ελληνική ιστιοπλοϊκή ομοσπονδία.

Troen, I. & Lundtang Petersen, E. (1989). *European wind atlas*. Roskilde: Riso National Laboratory.

Global Wind Atlas (2019). Retrieved September 17, 2019, from [here](#).

*Ανεμολόγιο* (2012). Ανακτήθηκε 17 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Καλδέλλης, Ι.Κ. (2005). *Διαχείριση της αιολικής ενέργειας*. Αθήνα: Σταμούλης.

Spanish Wind Energy Association (n.d.). *Wind energy in the world*. Retrieved September 17, 2019, from [here](#).

Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (2019). *Η στατιστική της αιολικής ενέργειας το 2018*. Ανάκτηση 17 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Wind Europe (2019). *Wind energy in Europe in 2018*. Retrieved September 17, 2019, from [here](#).

DNV-GL (2017). *Renewables, power and energy use forecast to 2050*. Retrieved September 17, 2019, from [here](#).

Hellenic Wind Energy Association (2019). *Wind energy statistics 2018*. Retrieved September 17, 2019, from [here](#).

Χατζηγηγορίου, Η. (2016). *Ανεμογεννήτριες, συντήρηση και βλάβες* (Πτυχιακή εργασία). Ανώτατο εκπαιδευτικό ίδρυμα Περαία, Αθήνα.

Κωνσταντίνου, Ι. (2015). *Μελέτη σκοπιμότητας αιολικού πάρκου ονομαστικής ισχύος 6,8 MW στην ευρύτερη περιοχή της Τυλισού νομού Ηρακλείου* (Διπλωματική εργασία). Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Κρήτης, Ηράκλειο.

Κατσιγιαννης, Ι. (χ.η.). *Ήπιες μορφές ενέργειας II, ανεμογεννήτριες*. Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Κρήτης, Χανιά.



#### **Κεφάλαιο 4**

Γελεγένης, Ι.Ι. & Αζαόπουλος, Π.Ι. (2005). *Πηγές ενέργειας: συμβατικές και ανανεώσιμες*. Αθήνα: Σύγχρονη εκδοτική.

Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (χ.η.). *Βασικές έννοιες υδρογεωλογίας – ορολογία*. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Διαχειριστής ΑΠΕ & εγγυήσεων προέλευσης (2019). *Μηνιαίο δελτίο ειδικού λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ, Απρίλιος – Μάιος 2019*. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (2019). *Υδροηλεκτρική ενέργεια*. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Αργυράκης, Ι.Γ. (χ.η.). *Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί της ΔΕΗ Α.Ε. και η συμβολή τους στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας*. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

International Hydropower Association, (2019). *Hydropower status report: sector trends and insights*. Retrieved September 18, 2019, from [here](#).

Διαχειριστής ΑΠΕ & εγγυήσεων προέλευσης (2019). *Μηνιαίο δελτίο ειδικού λογαριασμού ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ, Δεκέμβριος 2018*. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Energy Exchange Group, (2018). *Ετήσιο δελτίο συστήματος συναλλαγών ΗΕΠ*. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, (2017). *ΑΠΕ & ΣΗΘΥΑ σε λειτουργία, Σεπτέμβριος 2017*. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Μαρνέλλος, Γ. (χ.η.). *Υδροηλεκτρική ενέργεια*. Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Καρλής, Α. (2011). *Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί: τεχνολογία και εφαρμογές*. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Δημολίκας, Π.Σ. (2018). *Μελέτη υδροηλεκτρικής εγκατάστασης μικρής ισχύος με ΥΣ τύπου Pelton* (Μεταπτυχιακή εργασία). Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αθήνα.

## **Κεφάλαιο 5**

Siegel, R.P. (2013). *The pros and cons of energy storage systems*. Retrieved September 18, 2019, from [here](#).

Σταυρακάκης, Γ. (χ.η.). *Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας*. Πανεπιστήμιο Κρήτης. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Σαγανη, Α. (2009). *Η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας – μέθοδοι αποθήκευσης και εφαρμογές* (Διπλωματική εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

## **Κεφάλαιο 6**

Κατσαπρακάκης, Δ., 2015. *Σύνθεση ενεργειακών συστημάτων*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο [εδώ](#).

## **Κεφάλαιο 7**

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, (2019). *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*. Ανακτήθηκε 17 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (2019). *Διαδικασία αδειοδότησης*. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (2019). *Υβριδικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ*. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (2019). *Υβριδικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ*. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

Χριστάκης, Ι. & Αθανασόπουλος, Ι. (2016). *Αιολική ενέργεια στην Ελλάδα και οικονομική αξιολόγηση* (Πτυχιακή εργασία). Ανώτατο εκπαιδευτικό ίδρυμα Πειραιά, Πειραιά.

Δούναβης, Π. & Μουτσάκης, Β. (2015). *Ανάλυση οικονομικών στοιχείων κώδικα μη διασυνδεδεμένων νησιών* (Διπλωματική εργασία). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (2018). *Κώδικας διαχείρισης ηλεκτρικών συστημάτων μη διασυνδεδεμένων νησιών*. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

## **Κεφάλαιο 8**

Κατσιγιαννης, Ι. (χ.η.). *Ενεργειακή οικονομία – Καμπόλες φορτίου και μεθοδολογίες πρόβλεψης*. Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Κρήτης, Χανιά.

Ανεμα (2019). *Η γεωγραφία και το κλίμα της Σάμου*. Ανακτήθηκε 18 Σεπτεμβρίου, 2019, από [εδώ](#).

## **Κεφάλαιο 9**

Γεωργιλάκης, Π. (2006). *Ηλεκτρική οικονομία (Πανεπιστημιακές παραδόσεις)*. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Τουκαλάκης, Α. (2014). *Πρόσθετες σημειώσεις για την οικονομική ανάλυση επενδυτικών σχεδίων*. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

## **Δημοσιεύσεις**

Bouzounierakis N, Katsigiannis Y, Fiorentzis K, Karapidakis E. Effect of Hybrid Power Station Installation in the Operation of Insular Power Systems. *Inventions*. 2019; 4(3):38.

4<sup>th</sup> International Hybrid Power System Workshop, Crete, Greece, 22-23 May 2019. Operation of a Hybrid Power Station in an Isolated Power System: The Case of Samos Island N. Bouzounierakis, **Y. Katsigiannis**, E. Karapidakis (Hellenic Mediterranean University, Greece)