



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών μηχανικών

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

**ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ - ΕΛΕΓΧΟΣ  
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ**

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΡΚΑΝΗΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΕΜΠ

ΣΥΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΗΣ, ΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ, ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2022



Copyright © Καρκάνης Κωνσταντίνος, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

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

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

Copyright © Karkanis Konstantinos, 2022

All Rights Reserved

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

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

Αυτή η σελίδα έχει αφαιρεθεί σκόπιμα λευκή.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί και το πέρας των σπουδών μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Μια πολυετής εμπειρία γεμάτη γνώσεις και βιώματα που πιστεύω ότι θα θυμάμαι με μεγάλη χαρά σε όλη μου τη ζωή. Καθώς λοιπόν η πορεία μου ως προπτυχιακού φοιτητή φτάνει στο τέλος της, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου για την ευκαιρία που είχα να φοιτήσω σε ένα διεθνούς φήμης εκπαιδευτικό ίδρυμα όπως το Ε.Μ.Π., όπου μου δόθηκε η ευκαιρία να γνωρίσω και να συνεργαστώ με πολλούς αξιόλογους ανθρώπους, η συμβολή των οποίων ήταν καθοριστική, όχι μόνο στην απόκτηση υψηλού επιπέδου γνώσεων, αλλά και στη γενικότερη διαμόρφωση του τρόπου σκέψης και της στάσης ζωής μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερος τον επιβλέποντα Καθηγητή μου, κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του από το ξεκίνημα της παρούσας εργασίας έως και την ολοκλήρωσή της. Το πάθος του για την εύρεση της επιστημονικής αλήθειας, η μεταδοτικότητα του, η πολυδιάστατη μόρφωσή του, τα επιστημονικά του επιτεύγματά του και το προσωπικό του ενδιαφέρον για τους φοιτητές, είναι λίγα μόνο από αυτά που τον διακρίνουν και που με κάνουν να έχω αμέριστο σεβασμό και θαυμασμό προς το πρόσωπό του.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Νίκο Μαμάση, Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π., για την πολύτιμη βοήθειά του σε καίρια σημεία της διπλωματικής μου εργασίας και για τον προσωπικό χρόνο που διέθεσε, τόσο για τα θέματα που αφορούσαν αμιγώς την παρούσα εργασία, όσο και για τις άκρως ενδιαφέρουσες συζητήσεις γενικότερου επιστημονικού και ακαδημαϊκού περιεχομένου που είχαμε. Επίσης θέλω να τον ευχαριστήσω γιατί, ήταν ο άνθρωπος που με ενέπνευσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο της ενέργειας, αντικείμενο που με ενδιέφερε από τα πρώτα έτη της εισαγωγής μου στο πανεπιστήμιο, αλλά που χάρις σε αυτόν ανακάλυψα νέες πολύ πιο ενδιαφέρουσες πτυχές του.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα επίσης να εκφράσω στον Διδάκτορα, Πολιτικό Μηχανικό, Παναγιώτη Δημητριάδη, για την έμπρακτη βοήθεια και υποστήριξη που μου παρείχε σε όλα τα στάδια της διπλωματικής μου εργασίας και η οποία ήταν καθοριστικής σημασίας για την ολοκλήρωση αυτής. Τον ευχαριστώ επίσης για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε, όποτε και αν του ζητήθηκε και για την απλόχερη μεταλαμπαδέυση γνώσεων, τόσο πάνω σε επιστημονικά ζητήματα όσο και σε θέματα γενικού ακαδημαϊκού ενδιαφέροντος.

Επιπλέον, οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π. και τον κ. Διονύση Γιαννακόπουλο, Διδάκτορα Μηχανολόγο Μηχανικό, για το ενδιαφέρον τους και την άμεση ανταπόκριση τους, όταν ζητήθηκε η βοήθειά τους σε ορισμένα σημεία της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και ιδιαίτερα τη μητέρα μου Έλενα, τους φίλους μου και όλους εκείνους που με στηρίζουν με την αγάπη τους όλα αυτά τα χρόνια και που το λιγότερο που τους οφείλω είναι ένα ευχαριστώ εκ βάθους καρδιάς.

Κωνσταντίνος Καρκάνης

Αθήνα, Νοέμβριος 2022

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συντριπτική πλειονότητα των νησιών του Αιγαίου δεν είναι διασυνδεδεμένη στο ηλεκτρικό δίκτυο της ηπειρωτικής χώρας, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούν αποκλειστικά ορυκτά καύσιμα και συγκεκριμένα πετρέλαιο, για την κάλυψη των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια. Όμως, το υψηλό κόστος εισαγωγής και διανομής του πετρελαίου στα νησιά του Αιγαίου, σε συνδυασμό με την ενεργειακή εξάρτηση από τις χώρες που το εξάγουν, καθώς και την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από αέρια όπως τα οξείδια του θείου και του αζώτου ( $SO_x$ ,  $NO_x$ ), που παράγονται κατά την καύση υδρογονανθράκων στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, καθιστούν αναγκαία την εύρεση μιας περιβαλλοντικά φιλικότερης και οικονομικά βιώσιμης λύσης για την απεξάρτηση των νησιών του Αιγαίου από τα ορυκτά καύσιμα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε το απομακρυσμένο νησί της Αστυπάλαιας για τη διερεύνηση της ενεργειακής αυτονομίας και της οικονομικής βιωσιμότητας ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βασισμένο αποκλειστικά στην αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτό έγινε μέσω μοντελοποίησης της λειτουργίας του συστήματος πολλαπλών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που εξετάστηκε σε ωριαία χρονική κλίμακα και για 100 έτη λειτουργίας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που επιλέχθηκαν για το σύστημα παραγωγής ενέργειας του νησιού είναι η αιολική, η ηλιακή, η ενέργεια των κυμάτων, η ενέργεια από το βιοαέριο, η υδροηλεκτρική και η ενέργεια από τη βιομάζα. Τέλος, επιλέχθηκε μια διάταξη άντλησης - ταμίευσης θαλασσινού νερού για την αποθήκευση μέρους του πλεονάσματος ενέργειας, με στόχο την αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος.

## ABSTRACT

The vast majority of the Aegean islands are not connected to the electricity network of the mainland and as a result they use fossil fuels exclusively and specifically diesel to meet the energy demand. However, in order to produce energy in a sustainable and economically viable way, it is a necessity for the Aegean islands to be independent of fossil fuels for electricity production. This necessity arises due to the high import and distribution cost of diesel on the Aegean islands, the energy dependency on countries which export it and the pollution caused from gases such as sulfur and nitrogen oxides ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ), which are products of the hydrocarbons combustion. In this diploma thesis the remote island of Astypalaia has been chosen for the investigation of the energy autonomy and economic evaluation of an energy production system, based exclusively on renewable energy sources. This has been achieved through modeling the multiple renewable energy system operation in an hourly scale for 100 - year operational time. The renewable energy sources, which have been chosen for the energy production system of the island, are wind energy, solar energy, wave energy, energy from biogas, hydroelectric energy and energy from biomass. Finally, a sea water pump - storage system has been chosen to save part of excessive energy, for the purpose of increasing the reliability of the energy system.



Αυτή η σελίδα έχει αφαιρεθεί σκόπιμα λευκή.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.	ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	1
2.	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΕ .....	3
2.1	ΑΠΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ .....	3
2.2	ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΕΝΩΣΗ.....	6
2.3	ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....	9
3.	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ .....	11
3.1	ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	11
3.2	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	13
3.3	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	14
3.3.1	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ .....	14
3.3.2	ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ .....	15
3.3.3	ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ .....	16
3.4	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ.....	16
3.5	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΣΤΗΝ ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ.....	17
3.6	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ.....	21
4.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ .....	24
4.1	ΖΗΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	24
4.2	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ .....	27
4.3	ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ .....	29
4.4	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ .....	32
4.5	ΒΡΟΧΗ - ΕΞΑΤΜΟΔΙΑΠΝΟΗ.....	33
5.	ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	35
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	35
5.2	ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ - ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	35
5.2.1	ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ .....	35
5.2.2	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ .....	40

5.2.3	ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	45
5.2.4	ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (CHP) ΜΕ ΚΑΥΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ.....	52
5.2.5	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΚΑΥΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	66
5.2.6	ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΤΛΗΣΗΣ - ΤΑΜΙΕΥΣΗΣ - ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.....	73
6.	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	90
7.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	96
7.1	Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΤΙΣ ΑΠΕ	96
7.2	ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ.	97
7.2.1	ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ .....	98
7.2.2	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ .....	98
7.2.3	ΔΙΑΤΑΞΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ .....	98
7.2.4	ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ .....	98
7.2.5	ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ .....	99
7.2.6	ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ .....	99
7.2.7	ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ .....	99
7.2.8	ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ .....	100
7.2.9	ΑΓΩΓΟΙ.....	100
7.3	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ ..	101
7.3.1	ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ .....	101
7.3.2	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ .....	101
7.3.3	ΔΙΑΤΑΞΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ .....	101
7.3.4	ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ .....	102
7.3.5	ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ .....	102
7.3.6	ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ - ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ .....	102
7.4	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ .....	103
7.5	ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ .....	105
7.6	ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	106
8.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	108

8.1	ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΜΙΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	108
8.2	ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΗ ΕΛΕΓΞΙΜΩΝ ΑΠΕ .....	114
8.3	ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΕΛΕΓΞΙΜΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΕΛΕΓΞΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	118
8.3.1	ΜΗ ΕΛΕΓΞΙΜΕΣ ΑΠΕ ΚΑΙ ΒΙΟΑΕΡΙΟ .....	118
8.3.2	ΜΗ ΕΛΕΓΞΙΜΕΣ ΑΠΕ ΚΑΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ - ΑΝΤΛΗΣΟΤΑΜΙΕΥΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ 123	
8.3.3	ΜΗ ΕΛΕΓΞΙΜΕΣ ΑΠΕ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΖΑ .....	131
8.4	ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	135
8.5	ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ .....	138
8.6	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	141
8.6.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	143
8.7	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΤΑ ΣΗΜΕΡΙΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	190
8.8	ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ.....	192
9.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	197

Αυτή η σελίδα έχει αφαιρεθεί σκόπιμα λευκή.

## 1. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της αξιοπιστίας και της οικονομικής βιωσιμότητας ενός αυτόνομου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βασισμένο αποκλειστικά σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σε ένα μη διασυνδεδεμένο νησί του Αιγαίου, το νησί της Αστυπάλαιας. Η επιλογή του νησιού αυτού έγινε γιατί πρώτον, μέχρι και σήμερα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια γίνεται εξ ολοκλήρου από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς με καύση πετρελαίου, γεγονός που αυξάνει σημαντικά το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας στο νησί, καθώς το κόστος εισαγωγής και διανομής πετρελαίου είναι σαφώς μεγαλύτερο σε σχέση με τα αντίστοιχα κόστη στην ηπειρωτική χώρα. Επιπρόσθετα, το γεγονός ότι το πετρέλαιο είναι εισαγόμενο αγαθό καθιστά τα νησιά του Αιγαίου που το χρησιμοποιούν για ηλεκτροπαραγωγή, ενεργειακά εξαρτώμενα από τις χώρες που το εξάγουν όπως επίσης και από τις διεθνείς γεωπολιτικές εξελίξεις που επηρεάζουν άμεσα την τιμή του. Ακόμα, τα οξείδια του αζώτου και του θείου που εκπέμπονται κατά την καύση του πετρελαίου στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς επιβαρύνουν σημαντικά την ατμόσφαιρα σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιούνται τα απαραίτητα φίλτρα για την κατακράτησή τους. Δεύτερον γιατί, η Αστυπάλαια είναι ένα νησί του Αιγαίου αρκετά απομακρυσμένο από την ηπειρωτική χώρα, πράγμα που καθιστά τεχνικά απαιτητική και δαπανηρή την διασύνδεσή του με αυτήν και τρίτον, γιατί οι μόνιμοι κάτοικοι του νησιού αριθμούν τους 1334, με 72000 περίπου τουρίστες να το επισκέπτονται κάθε χρόνο, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει άρρηκτη σύνδεση της οικονομικής δραστηριότητας στο νησί με τον τουρισμό και κατά συνέπεια στην απόλυτη εξάρτηση της οικονομικής του ευημερίας από το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι ανανεώσιμες πηγές που εξετάστηκαν, τόσο για το ενεργειακό μείγμα του νησιού όσο και ως προς το κόστος εγκατάστασης και λειτουργία τους, είναι η αιολική, η ηλιακή, η κυματική, η ενέργεια από βιοαέριο, η υδροηλεκτρική και η ενέργεια από βιομάζα. Δόθηκε επίσης, έμφαση στο σχεδιασμό διάταξης αποθήκευσης της πλεονάζουσας ενέργειας από τον άνεμο, τον ήλιο και τα κύματα, καθώς η στοχαστικότητα των παραπάνω πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με την περιοδική αύξηση της ενεργειακής ζήτησης στο νησί, απαιτούν την αποθήκευση ενέργειας για την επίτευξη υψηλής αξιοπιστίας στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης. Η διάταξη που εξετάστηκε είναι αυτή της άντλησης θαλασσινού νερού και ταμίευσής του σε δεξαμενή κατάλληλου όγκου.

Δευτερευόντως αυτής προβλέφθηκε και η αποθήκευση βιοαερίου σε ειδική διάταξη αποθήκευσης, καθώς και η αποθήκευση της ετήσια παραγόμενης βιομάζας σε κατάλληλες εγκαταστάσεις αποθήκευσης.

Η διάρθρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξής:

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται ο σκοπός και η διάρθρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένα στοιχεία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια γενικά στοιχεία για το νησί της Αστυπάλαιας που αφορούν τη γεωγραφική της θέση, τη διοικητική της οργάνωση, τη διάρθρωση της τοπικής οικονομικής δραστηριότητας και τα ενεργειακά δεδομένα της.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη συλλογή των δεδομένων και την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση της λειτουργίας του υβριδικού συστήματος παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας του νησιού.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται οι διατάξεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που επιλέχθηκαν για το υβριδικό σύστημα που εξετάστηκε.

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την προσομοίωση της λειτουργίας του υβριδικού συστήματος παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας που εξετάστηκε.

Στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα οικονομικά στοιχεία, όπως το κόστος απόκτησης, εγκατάστασης και λειτουργίας των επιμέρους διατάξεων του υβριδικού συστήματος.

Στο 8<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διερεύνηση του συστήματος παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας τόσο σε επίπεδο αξιοπιστίας όσο και σε οικονομικό επίπεδο.

Στο 9<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη διερεύνηση που έγινε πάνω στη λειτουργία του υβριδικού συστήματος παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας που εξετάστηκε, αλλά και συμπεράσματα που αφορούν τα αυτόνομα συστήματα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας εν τω συνόλω.

## 2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΕ

### 2.1 ΑΠΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

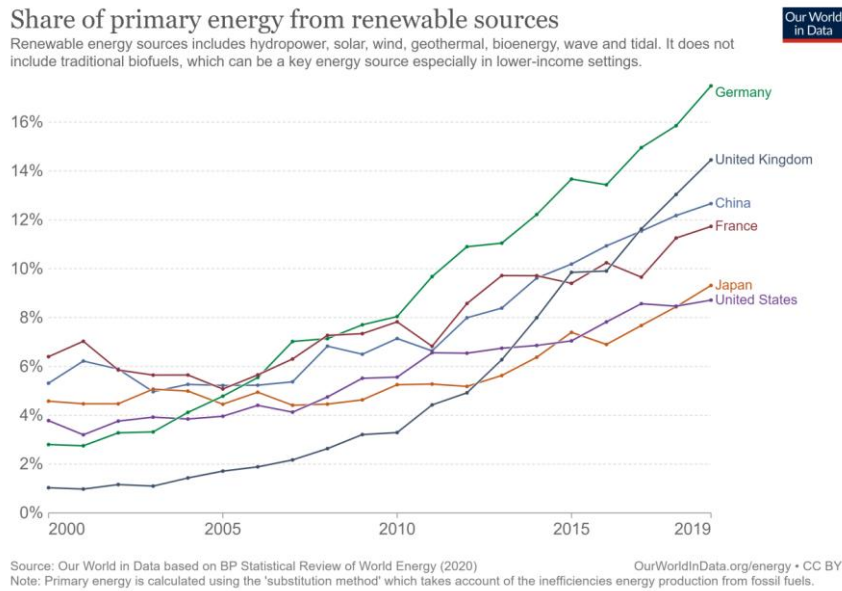
Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μορφές ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διεργασίες που επιτελούνται στον πλανήτη. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία 2009/28/ΕΚ [1], ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας νοούνται οι μη ορυκτές πηγές ενέργειας και συγκεκριμένα η αιολική, η ηλιακή, η αεροθερμική, η γεωθερμική, η υδροθερμική, η ενέργεια των ωκεανών, η υδροηλεκτρική, η ενέργεια από βιομάζα, η ενέργεια από τα εκλύόμενα στους χώρους υγειονομικής ταφής αέρια, από τα αέρια που παράγονται σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και η ενέργεια από τα βιοαέρια.

Το πρώτο ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας άρχισε να εκδηλώνεται τη δεκαετία του 1970 με αφορμή τις απανωτές πετρελαϊκές κρίσεις εκείνης της περιόδου και την ανάγκη που δημιουργήθηκε για απεξάρτηση από τη χρήση ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα πρώτα βήματα που έγιναν στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ήταν πειραματικά, με τις πρώτες διατάξεις παραγωγής ενέργειας, κυρίως από τον άνεμο και τον ήλιο, να έχουν ιδιαίτερα αυξημένο κόστος κατασκευής, καθώς και αρκετά περιορισμένη απόδοση κατά την ηλεκτροπαραγωγή. Όμως τα πολλαπλά οφέλη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έγιναν γρήγορα αντιληπτά και έτσι άρχισε να δίνεται όλο και μεγαλύτερη έμφαση στη χρηματοδότηση της έρευνας με σκοπό την ανάπτυξή τους.

Σήμερα, η τεχνολογική πρόοδος στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών, έχει οδηγήσει στην κατασκευή διατάξεων παραγωγής ενέργειας, αρκετά αποδοτικότερων και με σαφώς μειωμένο κόστος κατασκευής και λειτουργίας. Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την επιδίωξη των ανεπτυγμένων κρατών, για απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, έχουν οδηγήσει σε πολύ αυξημένη διεύρυνση των ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό μείγμα των ανεπτυγμένων κρατών.

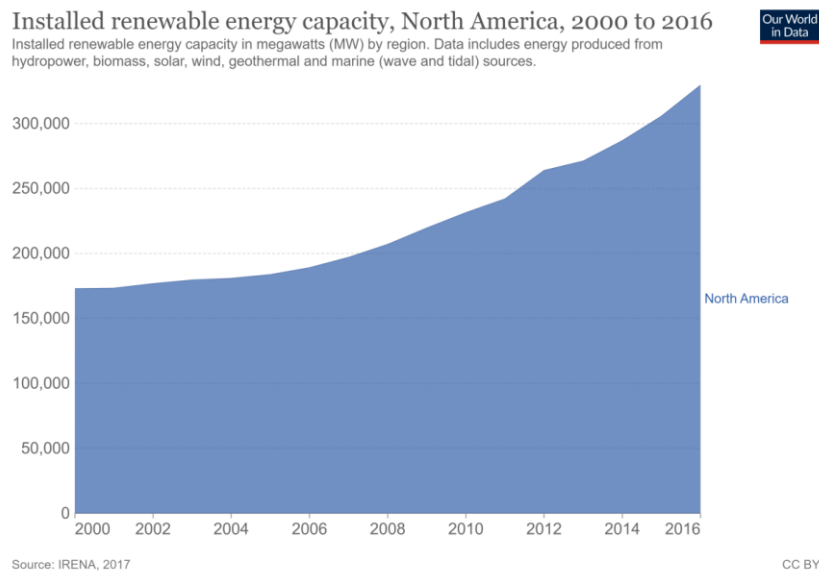
Στο Διάγραμμα 2.1 παρουσιάζεται το ποσοστό χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε ορισμένα ανεπτυγμένα κράτη, κατά την τελευταία εικοσαετία.





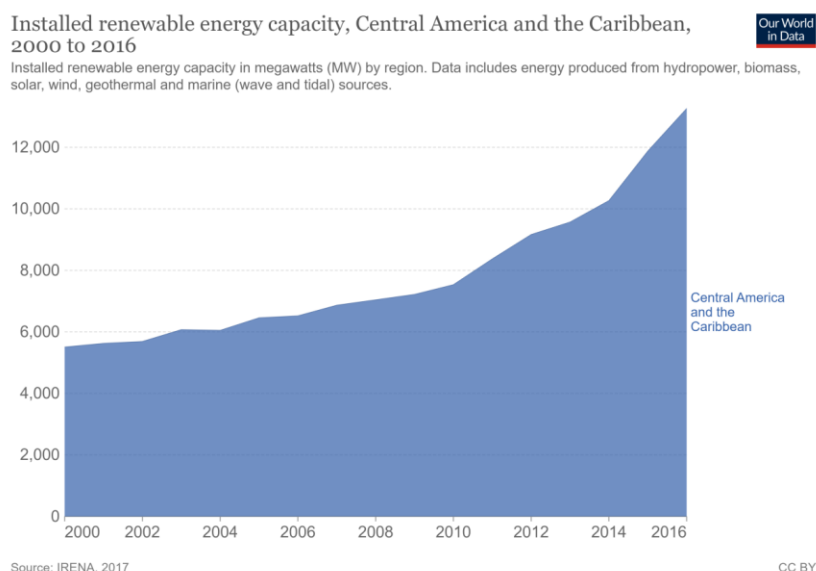
Διάγραμμα 2.1: Ποσοστό χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή πρωτογενούς ηλεκτρικής ενέργειας ορισμένων κρατών (Πηγή: ourworldindata.org)

Στο Διάγραμμα 2.2 παρουσιάζεται ενδεικτικά η αύξηση στην εγκατεστημένη ισχύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Βόρεια Αμερική, από το έτος 2000 έως το έτος 2016.



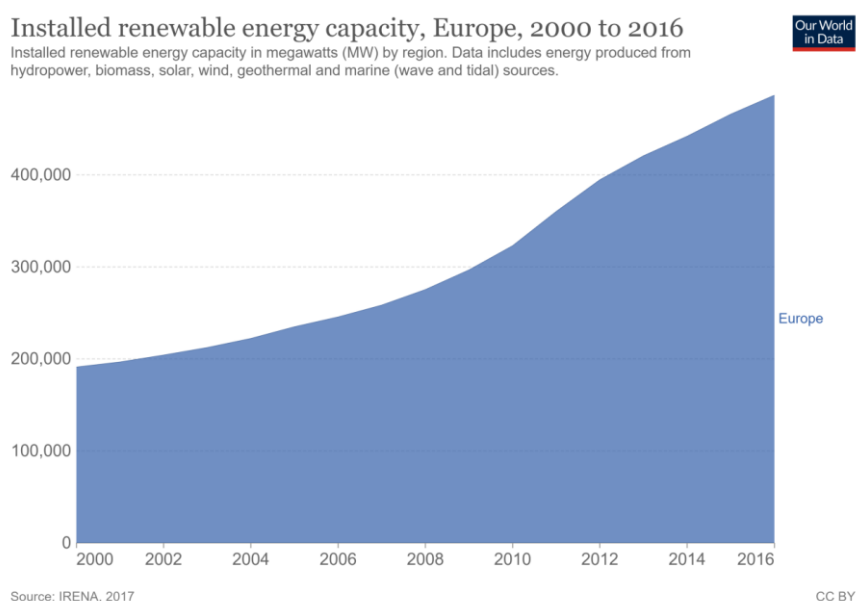
Διάγραμμα 2.2: Εγκατεστημένη ισχύς σε MW, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Βόρεια Αμερική (Πηγή: ourworldindata.org)

Στο Διάγραμμα 2.3 παρουσιάζεται ενδεικτικά η αύξηση στην εγκατεστημένη ισχύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην κεντρική Αμερική και την Καραϊβική, από το έτος 2000 έως το έτος 2016.



Διάγραμμα 2.3: Εγκατεστημένη ισχύς σε MW, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην κεντρική Αμερική και την Καραϊβική (Πηγή: ourworldindata.org)

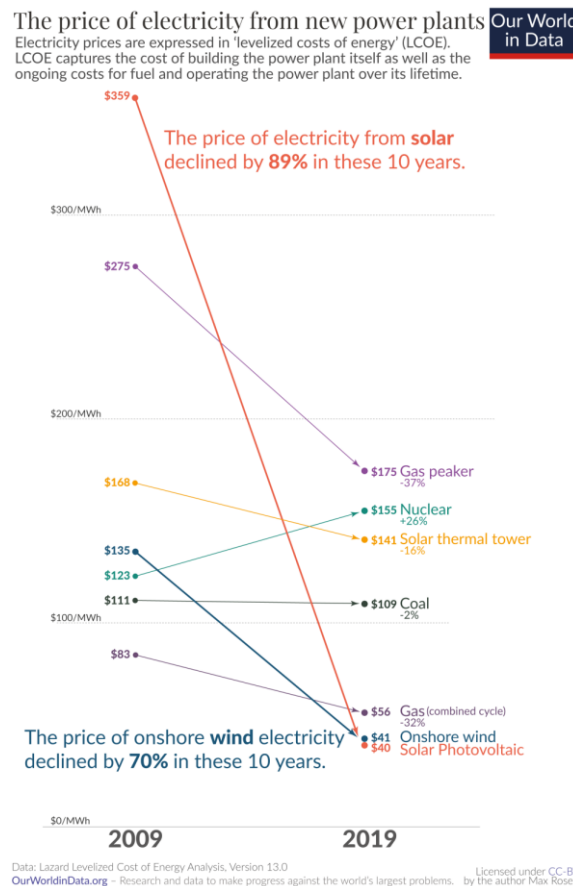
Στο Διάγραμμα 2.4 παρουσιάζεται ενδεικτικά η αύξηση στην εγκατεστημένη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη, από το έτος 2000 έως το έτος 2016.



Διάγραμμα 2.4: Εγκατεστημένη ισχύς σε MW, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη (Πηγή: ourworldindata.org)

Στο Διάγραμμα 2.5, παρουσιάζεται η εξέλιξη του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καινούργιες εγκαταστάσεις παραγωγής, μέσα στη δεκαετία 2009 - 2019 και στο οποίο φαίνεται η μεγάλη μείωση που επετεύχθη στο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής

ενέργειας με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών και συγκεκριμένα του ανέμου και του ηλίου μέσα στην παραπάνω δεκαετία.



Διάγραμμα 2.5: Εξέλιξη του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καινούργιες εγκαταστάσεις παραγωγής, για διάφορες πηγές ενέργειας (Πηγή: ourworldindata.org)

## 2.2 ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΕΝΩΣΗ

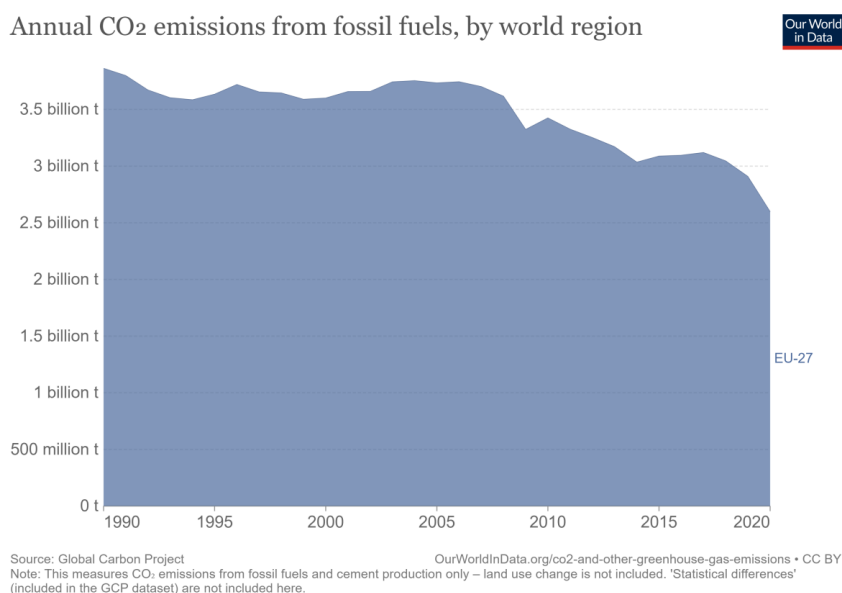
Την τελευταία δεκαετία η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δώσει μεγάλη έμφαση στη διεύρυνση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και τις μεταφορές. Μεγάλη επίσης έμφαση έχει δοθεί από την πλευρά της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Με την ευρωπαϊκή οδηγία 2009/28/EK [1], τέθηκαν συγκεκριμένοι στόχοι σε ότι αφορά τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό μείγμα κάθε κράτους μέλους, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη χρήση βιοκαυσίμων στις μεταφορές. Πιο συγκεκριμένα, η παραπάνω ευρωπαϊκή οδηγία προέβλεπε ότι μέχρι το 2020 το συνολικό μερίδιο ενέργειας που θα αντιστοιχεί στις ανανεώσιμες πηγές θα έπρεπε να είναι, ίσο με τουλάχιστον 20%, σε επίπεδο Ένωσης, ενώ το μερίδιο συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών στις μεταφορές θα έπρεπε να ανέλθει σε τουλάχιστον 10%. Ακόμα προέβλεπε τη βελτίωση, σε ποσοστό 20%, της ενεργειακής

απόδοσης σε επίπεδο Ένωσης έως το 2020, με στόχο την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Για κάθε κράτος μέλος θεσπίστηκε διαφορετικός στόχος συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό μείγμα, ανάλογα με την έως τότε πρόοδό του στη συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό του μείγμα, έτσι ώστε να είναι ρεαλιστικός και επιτεύξιμος ο στόχος.

Οι στόχοι που τίθενται έως το έτος 2030, στη νέα ευρωπαϊκή οδηγία 2018/2001/EK [2], προβλέπουν την περαιτέρω μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με αυτή που επετεύχθη το 2020, την αύξηση του μεριδίου ενέργειας των ανανεώσιμων πηγών, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την ενεργειακή διασύνδεση εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συγκεκριμένα στην οδηγία 2018/2001/EK [2] προβλέπεται έως το 2030 σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης:

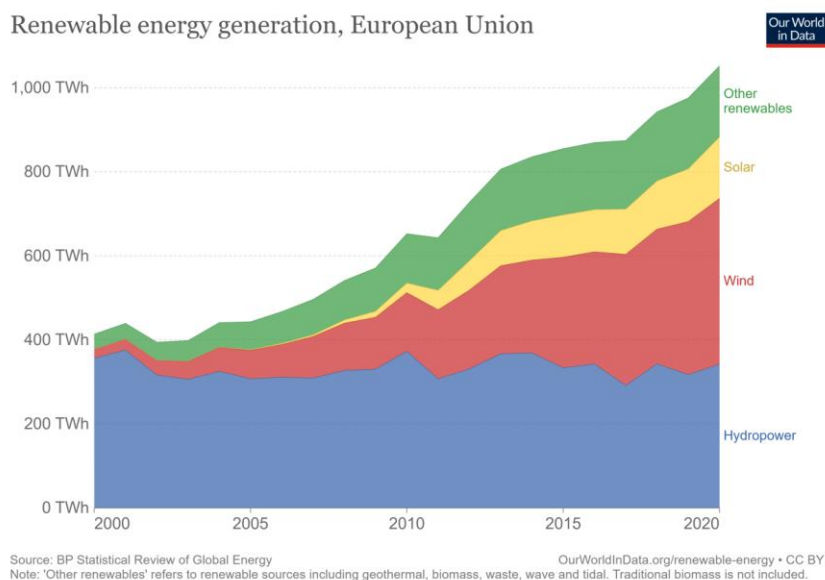
- μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 40% τουλάχιστον, σε σύγκριση με το 1990
- αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ενεργειακή κατανάλωση σε 32%
- βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 32.5%
- διασύνδεση του 15% κατ' ελάχιστον, των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας

Στο Διάγραμμα 2.6, φαίνεται η μείωση που άρχισε να επέρχεται στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, που είναι ένα από τα κύρια αέρια του θερμοκηπίου, στην Ευρωπαϊκή Ένωση μετά την ευρωπαϊκή οδηγία του 2009 [1] και την πιο εκτεταμένη χρήση των ανανεώσιμων πηγών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και στις μεταφορές.



Διάγραμμα 2.6: Εξέλιξη των εκπομπών CO<sub>2</sub> στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το 1900 έως σήμερα (Πηγή: ourworldindata.org)

Στο Διάγραμμα 2.7, φαίνεται η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τα τελευταία 20 περίπου χρόνια, όπου οι ανανεώσιμες πηγές αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν πιο εκτεταμένα και ιδιαίτερα μετά την εφαρμογή της ευρωπαϊκής οδηγίας του 2009 [1]. Εξαιρέση αποτελεί η υδροηλεκτρική ενέργεια της οποίας η συμμετοχή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρέμεινε σταθερή.

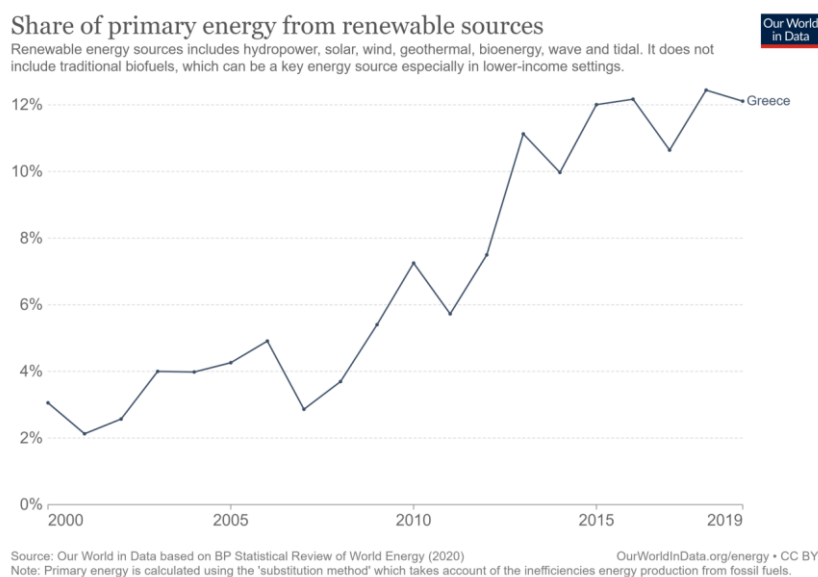


Διάγραμμα 2.7: Μεγάλη αύξηση στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μετά την οδηγία 2009/28/EK (Πηγή: ourworldindata.org)

## 2.3 ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

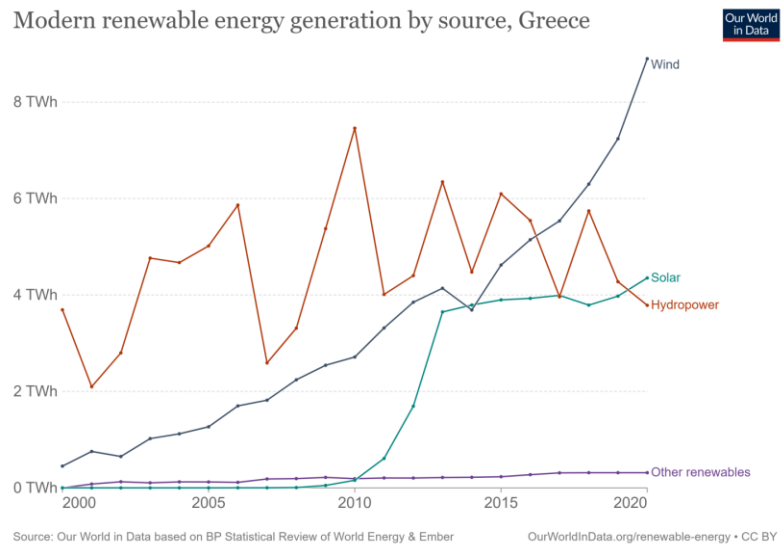
Στην Ελλάδα, τόσο η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και οι μεταφορές βασίζονταν σχεδόν εξ ολοκλήρου στα ορυκτά καύσιμα, με κυριότερα το πετρέλαιο και τον λιγνίτη. Μέχρι και το 2000, όπου και εισήλθαν στο ενεργειακό μείγμα της χώρας οι πρώτες ανεμογεννήτριες, η υδροηλεκτρική ήταν η μόνη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που συμμετείχε στο ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας. Στην ευρωπαϊκή οδηγία 2009/28/EK [1], θεσπίστηκε το ποσοστό του 18% για το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών στην Ελλάδα. Έτσι το 2019 το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών στην παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα ανήλθε στο 12.11%, από 5.40% που ήταν το 2009 (Διάγραμμα 2.8). Σήμερα, στην Ελλάδα, οι κυριότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αξιοποιούνται στο ενεργειακό μείγμα είναι η αιολική, η ηλιακή και η υδροηλεκτρική, ενώ δευτερευόντως χρησιμοποιείται η βιομάζα και λιγότερο το βιοαέριο.

Στο Διάγραμμα 2.8 φαίνεται η αυξητική τάση που παρουσιάζει το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή πρωτογενούς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, από το 2000 έως το 2019.



Διάγραμμα 2.8: Μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα (Πηγή: ourworldindata.org)

Στο Διάγραμμα 2.9 φαίνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις κυριότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αξιοποιούνται στην Ελλάδα, για τα έτη 2000 - 2020.



Διάγραμμα 2.9: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις διάφορες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που αξιοποιούνται στην Ελλάδα (Πηγή: ourworldindata.org)

### 3. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΤΥΠΑΛΑΙΑ

#### 3.1 ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Αστυπάλεια είναι το δυτικότερο και το τέταρτο μεγαλύτερο σε έκταση νησί των Δωδεκανήσων. Η συνολική έκταση του νησιού είναι 97 km<sup>2</sup>, το συνολικό μήκος της ακτογραμμής του είναι 110 km και σύμφωνα με την απογραφή του 2011 οι μόνιμοι κάτοικοι στο νησί αριθμούν τους 1334 [3]. Η Αστυπάλεια διοικητικά ανήκει στο νομό Δωδεκανήσου και αποτελείται από το δήμο της Αστυπάλαιας με πρωτεύουσα τον οικισμό της Αστυπάλαιας, που συγκεντρώνει και το σύνολο σχεδόν του πληθυσμού του νησιού. Όμως, γεωγραφικά και πολιτισμικά η Αστυπάλεια βρίσκεται στο μεταίχμιο ανάμεσα στις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα. Απέχει 117 ναυτικά μίλια από τον Πειραιά, ενώ στο νησί υπάρχει και ο Κρατικός Αερολιμένας Αστυπάλαιας που συνδέει αεροπορικώς την Αστυπάλεια με την Αθήνα και με άλλα νησιά των Δωδεκανήσων [4].

Το νησί αποτελείται από δύο τμήματα, το ανατολικό και το δυτικό, που ενώνονται με ένα στενό κομμάτι γης μερικά χιλιόμετρα ανατολικότερα της περιοχής Ανάληψη. Στο δυτικό τμήμα του νησιού υπάρχουν δύο παράλληλοι ορογραφικοί άξονες ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης. Οι πεδινές εκτάσεις καταλαμβάνουν πολύ μικρό ποσοστό της συνολικής έκτασης του νησιού και βρίσκονται κοντά στους οικισμούς Λιβάδι, Ανάληψη και Βαθύ [4].

Το ανάγλυφο του νησιού είναι ημιορεινό με δύο διακριτές πεδιάδες στο νοτιοδυτικό και βορειοανατολικό τμήμα του νησιού και συγκεκριμένα στις περιοχές Λιβάδι και Βαθύ, αντίστοιχα. Οι ψηλότερες κορυφές του νησιού είναι αυτές της Βάρδιας με μέγιστο υψόμετρο τα 482 m και του Καστελλάνου με μέγιστο υψόμετρο τα 366 m. Η πολυσχιδής ακτογραμμή που υπάρχει στο νησί, σχηματίζει πολλούς μικρούς κόλπους, ενώ σε πολλά σημεία τα υψώματα εκτείνονται περιμετρικά μέχρι τη θάλασσα, δημιουργώντας απόκρημνες ακτές [4].

Στην Εικόνα 3.1 φαίνεται η θέση της Αστυπάλαιας στον χάρτη της Ελλάδας.





Εικόνα 3.1: Θέση της νήσου Αστυπάλαια στον χάρτη της Ελλάδας (Πηγή: islandastypalaia.weebly.com)

Στην Εικόνα 3.2 απεικονίζεται ο χάρτης της Αστυπάλαιας, στον οποίο φαίνεται ο οικισμός της Αστυπάλαιας, η περιοχή Λιβάδι και Βαθύ, καθώς και ο Κρατικός Αερολιμένας Αστυπάλαιας. Από το χάρτη του νησιού διαπιστώνεται εύκολα το πολυσχιδές ανάγλυφο που διακρίνει την ακτογραμμή του νησιού.



Εικόνα 3.2: Χάρτης του νησιού της Αστυπάλαιας (Πηγή: astypalaiacamping.gr)

## 3.2 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σύμφωνα με τον μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία) που βρίσκεται στην Αστυπάλαια προκύπτουν τα ακόλουθα δεδομένα για τα έτη 1977-2013, τα οποία παρουσιάζονται και αναλυτικά στον πίνακα 3.1 [4].

- Η μέση ετήσια θερμοκρασία που καταγράφηκε στην Αστυπάλαια, την περίοδο 1977-2013, είναι 19.27 °C.
- Η μέση μηνιαία θερμοκρασία κυμαίνεται από 11.68 °C, που καταγράφηκε το μήνα Φεβρουάριο, έως 27.20 °C που καταγράφηκε το μήνα Ιούλιο.
- Η μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία που καταγράφηκε στον σταθμό είναι 7.73 °C, το μήνα Φεβρουάριο, ενώ η μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία που καταγράφηκε είναι 32.09 °C, το μήνα Ιούλιο.
- Η ελάχιστη απόλυτη θερμοκρασία που καταγράφηκε είναι -5.00 °C, το μήνα Φεβρουάριο, ενώ η μέγιστη απόλυτη θερμοκρασία που καταγράφηκε είναι 40.20 °C, το μήνα Ιούλιο.
- Η μέση ετήσια υγρασία που καταγράφεται στο σταθμό της Αστυπάλαιας είναι 70.13%.
- Οι άνεμοι που παρατηρήθηκαν σε ετήσια, αλλά και μηνιαία βάση στο σταθμό της Αστυπάλαιας είναι βόρειας διεύθυνσεως.
- Σχετικά με το μέσο ετήσιο ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο νησί της Αστυπάλαιας, αυτό κυμαίνεται, σύμφωνα με τη Διεύθυνση Αγροτικής Οικονομίας για τα έτη 1985 έως 2012, από 196.4 mm έως 620.9 mm, με μέση τιμή τα 400 mm.

**Πίνακας 3.1:** Δεδομένα θερμοκρασίας, υγρασίας και διεύθυνσης ανέμου στο μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ στην Αστυπάλαια για τα έτη 1977-2013, [4]

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία	12,26	11,68	12,96	15,31	18,97	23,81	27,20	26,13	22,77	20,26	15,07	13,56
Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία	14,80	14,53	15,95	17,97	21,41	28,25	32,09	30,53	25,77	21,19	17,96	16,67
Μέση Ελάχιστη Θερμοκρασία	8,57	7,73	9,30	10,98	15,73	19,37	22,25	21,67	18,29	16,42	13,09	9,66
Απολύτως Μέγιστη Θερμοκρασία	21,40	22,40	21,30	27,20	32,40	40,20	40,20	39,00	30,00	37,20	29,00	24,00
Απολύτως Ελάχιστη Θερμοκρασία	1,00	-5,00	0,60	5,00	10,00	14,00	13,20	12,30	11,20	9,00	7,60	2,00
Μέση Σχετική Υγρασία (%)	69,74	65,86	73,06	69,44	69,03	61,97	67,11	65,72	69,45	76,09	79,06	75,00
Μέση μηνιαία διεύθυνση ανέμων	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

### 3.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

#### 3.3.1 ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ

Λόγω του ανάγλυφου της Αστυπάλαιας, το οποίο είναι ημιορεινό, με μια μικρή πεδιάδα στην περιοχή Βαθύ και μια κοιλάδα στην περιοχή Λιβιάδι, ο πρωτογενής τομέας στο νησί είναι περιορισμένος. Τα γεωργικά προϊόντα που καλλιεργούνται στην Αστυπάλαια είναι κυρίως κηπευτικά και οπωροφόρα, ενώ όσον αφορά την κτηνοτροφία στο νησί, αυτή περιλαμβάνει την εκτροφή αιγοπροβάτων και την μελισσοκομία [4].

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.3, στην οποία παρουσιάζονται οι χρήσεις γης στην Αστυπάλαια, μόνο 3700 στρέμματα, που αντιστοιχούν σε ποσοστό 3.26 % της συνολικής έκτασης του νησιού, αποτελούν εκτάσεις που δύνανται να καλλιεργηθούν. Από τα 3700 στρέμματα η καλλιεργημένη γεωργική γη είναι περίπου 2300 στρέμματα, από τα οποία μόνο τα 300 περίπου στρέμματα αρδεύονται, είτε από ιδιωτικές γεωτρήσεις ή πηγάδια, είτε από το αρδευτικό φράγμα που έχει κατασκευαστεί στην περιοχή Λιβιάδι. Το μεγαλύτερο ποσοστό των εκτάσεων του νησιού αποτελείται από δάση με θαμνώδη ή/και ποώδη βλάστηση, που αποτελούν το 46.74 % της συνολικής έκτασης του νησιού και αντιστοιχούν σε 54000 στρέμματα. Ένα επίσης μεγάλο κομμάτι της συνολικής έκτασης του νησιού, και συγκεκριμένα 34600 στρεμμάτων, που αντιστοιχούν σε ποσοστό 30.60 %, είναι βοσκότοποι με αραιή θαμνώδη ή/και ποώδη βλάστηση. Τέλος υπάρχει και μια σημαντική έκταση στο νησί, στην οποία υπάρχει μόνο αραιή ή καθόλου βλάστηση, 21.600 στρεμμάτων, που αντιστοιχεί σε ποσοστό 19.05 % της συνολικής έκτασης του νησιού.

	Στρέμματα	Ποσοστό
Αρόσιμη γη	0,0	0,00%
Μόνιμες καλλιέργειες	0,0	0,00%
Βοσκότοποι - Μεταβατικές δασώδεις / θαμνώδεις εκτάσεις	0,0	0,00%
Βοσκότοποι - Συνδυασμοί θαμνώδους και / ή ποώδους βλάστησης	34000,0	30,07%
Βοσκότοποι - Εκτάσεις με αραιή ή καθόλου βλάστηση	600,0	0,53%
Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	3700,0	3,26%
Δάση	0,0	0,00%
Μεταβατικές δασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις	0,0	0,00%
Συνδυασμοί θαμνώδους και / ή ποώδους βλάστησης	53000,0	46,74%
Εκτάσεις με αραιή ή καθόλου βλάστηση	21600,0	19,05%
Εκτάσεις που καλύπτονται από νερά	100,0	0,09%
Τεχνητές εκτάσεις	300,0	0,26%

Εικόνα 3.3: Χρήσεις γης στην Αστυπάλαια, [4]

Σχετικά με την κτηνοτροφία, στην Αστυπάλαια εκτρέφονται 11062 ζώα. Από αυτά περίπου τα 3444 είναι πρόβατα και περίπου τα 7618 είναι αίγες. Τα ζώα αυτά είναι είτε οικόσιτα είτε σε κοπάδια και αξιοποιούνται για την παραγωγή κρέατος και γάλατος που χρησιμοποιείται για την παρασκευή τυροκομικών προϊόντων. Στο νησί δεν υπάρχουν κτηνοτροφικές μονάδες που να διαθέτουν άδεια λειτουργίας παρόλο που, σύμφωνα με το Μητρώο Κτηνιατρικής, υπάρχουν στο νησί 18 κτηνοτροφικές μονάδες μεγάλου μεγέθους που διαθέτουν περισσότερα από 150 ζώα. Οι κτηνοτροφικές μονάδες του νησιού λειτουργούν με υποτυπώδεις υποδομές, κυρίως ιδιοκατασκευασμένες και οι χώροι ενσταυλισμού που διαθέτουν είναι πρόχειροι και χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των ζώων [4]. Στην Εικόνα 3.4 φαίνονται οι εκμεταλλεύσεις που αφορούν τα αιγοπρόβατα στο νησί της Αστυπάλαιας.

	ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΖΩΩΝ	ΑΙΓΕΣ			ΠΡΟΒΑΤΑ		
				ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΗΛΥΚΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΗΛΥΚΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΡΣΕΝΙΚΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ
1	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΜΕ 1 ΕΩΣ 10 ΖΩΑ	0	0	0	0	0	0	0	0
2	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΜΕ 11 ΕΩΣ 150 ΖΩΑ	24	1.943	1.029	129	1.158	717	68	785
3	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΜΕ 151 ΕΩΣ 300 ΖΩΑ	5	1.172	756	67	823	318	31	349
4	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΜΕ 301 ΕΩΣ 500 ΖΩΑ	15	5.924	3.859	435	4.294	1.469	161	1.630
5	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΜΕ 501 ΚΑΙ ΑΝΩ	3	2.023	1.215	128	1.343	616	64	680
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>47</b>	<b>11.062</b>	<b>6.859</b>	<b>759</b>	<b>7.618</b>	<b>3.120</b>	<b>324</b>	<b>3.444</b>

Εικόνα 3.4: Εκμεταλλεύσεις αιγοπροβάτων στο νησί της Αστυπάλαιας, [4]

### 3.3.2 ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ

Ο δευτερογενής τομέας στο νησί της Αστυπάλαιας είναι αρκετά περιορισμένος. Συγκεκριμένα στο νησί δραστηριοποιούνται λίγα βιοτεχνικά καταστήματα ειδών διατροφής, ποτών και επεξεργασίας ξύλου, ενώ υπάρχουν επίσης σφαγεία και ένα λατομείο αδρανών. Ο δευτερογενής τομέας στην Αστυπάλαια όμως, έχει πολλά περιθώρια ανάπτυξης, που οφείλονται κυρίως στην κτηνοτροφική και μελισσοκομική δραστηριότητα που υπάρχει στο νησί και που αν αναπτυχθούν περαιτέρω και αυξηθούν οι παραγόμενες ποσότητες των κτηνοτροφικών αγαθών, θα δημιουργηθεί πρόσφορο έδαφος για την ανάπτυξη βιοτεχνιών που θα επεξεργάζονται αυτά τα αγαθά, θα τα συσκευάζουν και θα μπορούν έτσι να διατεθούν, τόσο στην τοπική αγορά όσο και στην αγορά της υπόλοιπης Ελλάδας [4].

### 3.3.3 ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ

Στην Αστυπάλαια πιο ανεπτυγμένος είναι ο τριτογενής τομέας, με το εμπόριο και τον τουρισμό να αποτελούν το σημαντικότερο κομμάτι της οικονομικής δραστηριότητας του νησιού. Η τουριστική δραστηριότητα αναπτύσσεται στους 4 κυριότερους οικισμούς της Αστυπάλαιας, που είναι η Μαλτεζάνα ή Ανάληψη, η Χώρα της Αστυπάλαιας, το Λιβάδι και το Βαθύ. Σε αυτούς τους 4 οικισμούς υπάρχουν τα περισσότερα τουριστικά καταλύματα (ξενοδοχεία, ενοικιαζόμενα δωμάτια, ξενώνες κλπ), οι επιχειρήσεις εστίασης (εστιατόρια, ταβέρνες, καφέ κλπ) αλλά και άλλες επιχειρήσεις που αφορούν τον τουρισμό, όπως γραφεία ενοικίασης οχημάτων μεταφοράς (αυτοκίνητα, μοτοσυκλέτες κλπ), τουριστικά γραφεία, τουριστικά καταστήματα και καταστήματα πώλησης ντόπιων παραδοσιακών προϊόντων [4].

### 3.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΥΠΑΛΑΙΑ

Η Αστυπάλαια αποτελεί ένα από τα μη διασυνδεδεμένα νησιά του Αιγαίου. Ως εκ τούτου η παραγωγή ενέργειας στο νησί γίνεται κατά κύριο λόγο από αυτόνομους πετρελαϊκούς σταθμούς που αξιοποιούν τη θερμογόνο δύναμη του diesel για να παραγάγουν ηλεκτρική ενέργεια. Οι σταθμοί αυτοί έχουν εγκατασταθεί στο νησί της Αστυπάλαιας ήδη από τη δεκαετία του 1960 και του 1970, και λόγω της εκτεταμένης χρήσης τους, αλλά και της παλαιότερης τεχνολογίας που διαθέτουν, ο βαθμός απόδοσής τους είναι χαμηλότερος από τον ήδη χαμηλό βαθμό απόδοσης που έχει το diesel στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Στο νησί της Αστυπάλαιας λειτουργούν 7 σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού), οι οποίοι λειτουργούν με την καύση πετρελαίου και έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ 4.66 MW και συνολική αποδιδόμενη ισχύ 3.9 MW [4].

Ο χαμηλός βαθμός απόδοσης των παραπάνω σταθμών έχει ως αποτέλεσμα την υπερφόρτωσή τους κατά τους θερινούς μήνες που η ζήτηση για ενέργεια στα νησιά του Αιγαίου είναι ιδιαίτερα αυξημένη, εξαιτίας του μεγάλου αριθμού τουριστών που τα επισκέπτονται, αλλά και των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν και που οδηγούν σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας κυρίως λόγω της έντονης χρήσης των κλιματιστικών.

Ένα ακόμα σοβαρό μειονέκτημα των πετρελαϊκών σταθμών παραγωγής ενέργειας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά του Αιγαίου είναι το υψηλό μέσο κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο είναι ασύγκριτα υψηλότερο από το αντίστοιχο μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας στην ηπειρωτική χώρα, εξαιτίας του υψηλού κόστους εισαγωγής και διανομής του πετρελαίου στα απομακρυσμένα νησιά του Αιγαίου. Σύμφωνα μάλιστα με επίσημα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας) για τον

Αύγουστο του 2017, το μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια ήταν 336.96 €/MWh, τη στιγμή που η μέση οριακή τιμή συστήματος στην ηπειρωτική Ελλάδα διαμορφώθηκε στα 51.77 €/MWh [5].

Στην Εικόνα 3.5 φαίνονται ενδεικτικά κάποια στοιχεία για το μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε ορισμένα νησιά του Αιγαίου το έτος 2016. Παρατηρείται ότι ακόμα και σε νησιά των Κυκλάδων, όπως η Πάρος, που η μεταφορά του πετρελαίου είναι ευκολότερη σε σχέση με πιο απομακρυσμένα νησιά, όπως η Αστυπάλαια, το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας είναι πάνω από δύο φορές μεγαλύτερο συγκριτικά με τη μέση οριακή τιμή συστήματος που διαμορφώθηκε στην ηπειρωτική Ελλάδα. Επίσης παρατηρείται ότι σε νησιά της άγονης γραμμής, όπως τα Αντικύθηρα, που και η μεταφορά του πετρελαίου είναι πιο δαπανηρή, αλλά και η απαιτούμενη ποσότητα είναι μικρή, σε σύγκριση με την αντίστοιχη ποσότητα πετρελαίου σε πιο πυκνοκατοικημένα νησιά, όπως η Πάρος, το μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εκτινάσσεται σε τιμές που είναι έως και 19 φορές μεγαλύτερες από την μέση οριακή τιμή συστήματος στην ηπειρωτική χώρα.

Νησί	Μέσο κόστος παραγωγής (€/MWh)
Αστυπάλαια	286,06
Ανάφη	390,2
Αντικύθηρα	945,72
Ικαρία	379,83
Σύμη	245,12
Ρόδος	173,77
Μήλος	146,20
Πάρος	114,49

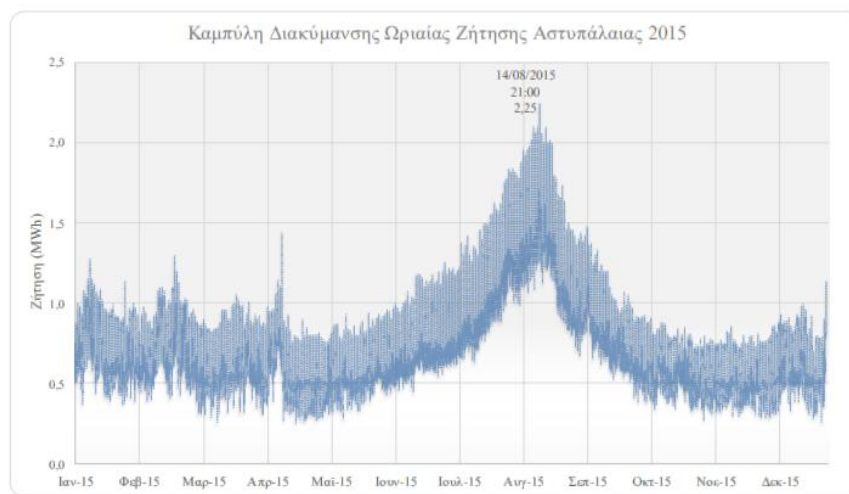
Εικόνα 3.5: Μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μη διασυνδεδεμένα νησιά του Αιγαίου, [5]

### 3.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΖΗΤΗΣΗ ΣΤΗΝ ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της ΔΕΗ, τα έτη 2014 και 2015 η συνολική ενεργειακή ζήτηση στο νησί της Αστυπάλαιας ήταν 6.19 GWh και 6.33 GWh αντίστοιχα. Επίσης, σύμφωνα με τα ίδια στοιχεία, η ωριαία αιχμή της ενεργειακής ζήτησης για τα έτη 2014 και 2015, ήταν 2.22 MWh και 2.25 MWh αντιστοίχως [6].

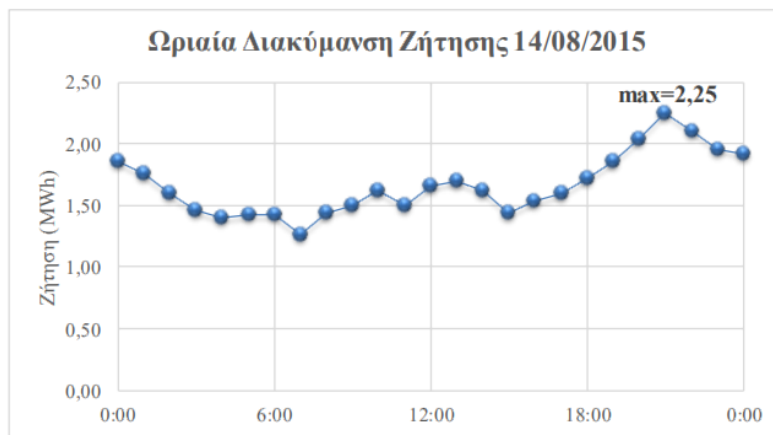
Στο Διάγραμμα 2.1 παρουσιάζεται η ωριαία διακύμανση της ενεργειακής ζήτησης για το έτος 2015. Στο διάγραμμα φαίνεται επίσης και η μηνιαία διακύμανση της ενεργειακής

ζήτησης μέσα στη διάρκεια του έτους. Όπως ήταν αναμενόμενο, παρατηρείται μια απότομη αύξηση της ενεργειακής ζήτησης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, με τη μέγιστη τιμή (2.25 MWh) να καταγράφεται στις 14 Αυγούστου στις 9:00 μ.μ. Από το διάγραμμα παρατηρείται επιπλέον, ότι η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης ξεκινά από την έναρξη της τουριστικής περιόδου, ήδη από τις αρχές Ιουνίου και πως η αποκλιμάκωσή της και η επιστροφή της ζήτησης στα προ του καλοκαιρού επίπεδα γίνεται στις αρχές Οκτωβρίου, όπου ολοκληρώνεται και η τουριστική περίοδος. Αυτό είναι απόλυτα αναμενόμενο αν αναλογιστεί κανείς τον αριθμό των τουριστών που επισκέπτονται κάθε καλοκαίρι την Αστυπάλαια καθώς επίσης και τη συνεχή ανάπτυξη που επιτελείται γενικότερα στο νησί, στον τομέα του τουρισμού.



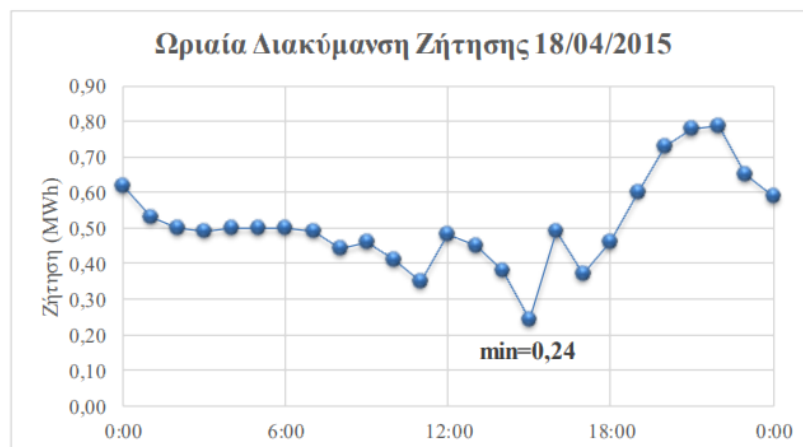
Διάγραμμα 3.1: Διακύμανσης της ωριαίας ενεργειακής ζήτησης στο νησί της Αστυπάλαιας για το έτος 2015, [4]

Στο Διάγραμμα 3.2 παρουσιάζεται η ωριαία διακύμανση της ενεργειακής ζήτησης στις 14 Αυγούστου του 2015, δηλαδή την ημέρα του έτους στην οποία σημειώθηκε η μεγαλύτερη ζήτηση για ενέργεια, με τιμή που έφτασε τις 2.25 MWh.



Διάγραμμα 3.2: Ωριαία διακύμανση της ενεργειακής ζήτησης στην Αστυπάλαια στις 14 Αυγούστου του 2015, [4]

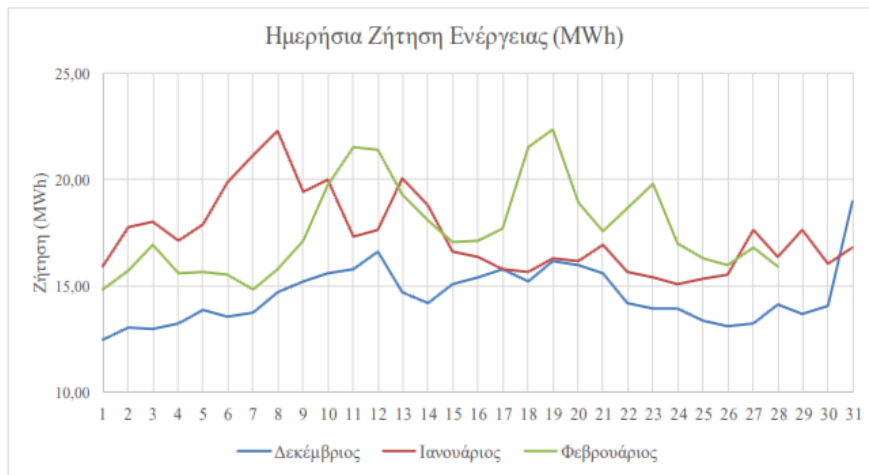
Στο Διάγραμμα 3.3 παρουσιάζεται η ωριαία διακύμανση της ενεργειακής ζήτησης στις 18 Απριλίου του 2015 που ήταν η μέρα του έτους στην οποία σημειώθηκε η ελάχιστη ζήτηση για ενέργεια, με τιμή που έφτασε τις 0.24 MWh.



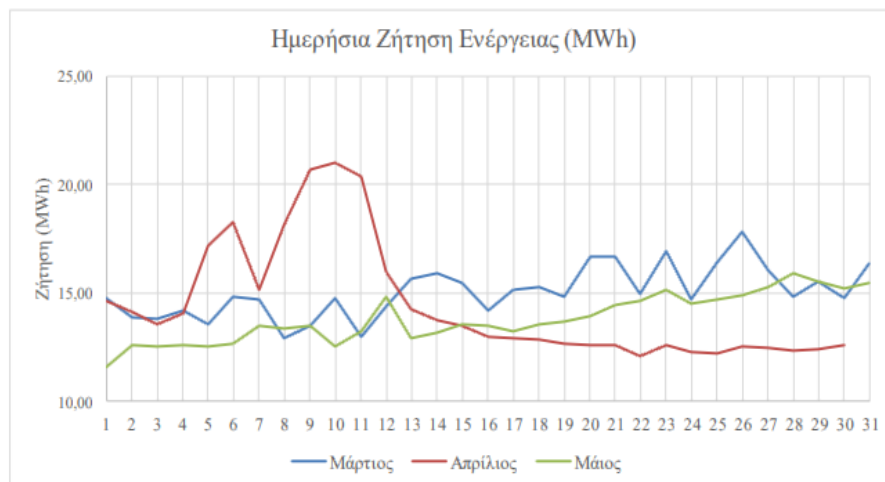
Διάγραμμα 3.3: Ωριαία διακύμανση της ενεργειακής ζήτησης στην Αστυπάλαια στις 18 Απριλίου του 2015, [4]

Στο διαγράμματα 3.4, 3.5, 3.6 και 3.7 παρουσιάζεται η ημερήσια διακύμανση της ενεργειακής ζήτησης στο νησί της Αστυπάλαιας κατά τους μήνες του Χειμώνα, της Άνοιξης, του Καλοκαιριού και του Φθινοπώρου αντιστοίχως. Η παρακάτω εποχιακή διαγραμματική παρουσίαση της ενεργειακής ζήτησης αφορά το έτος 2015.

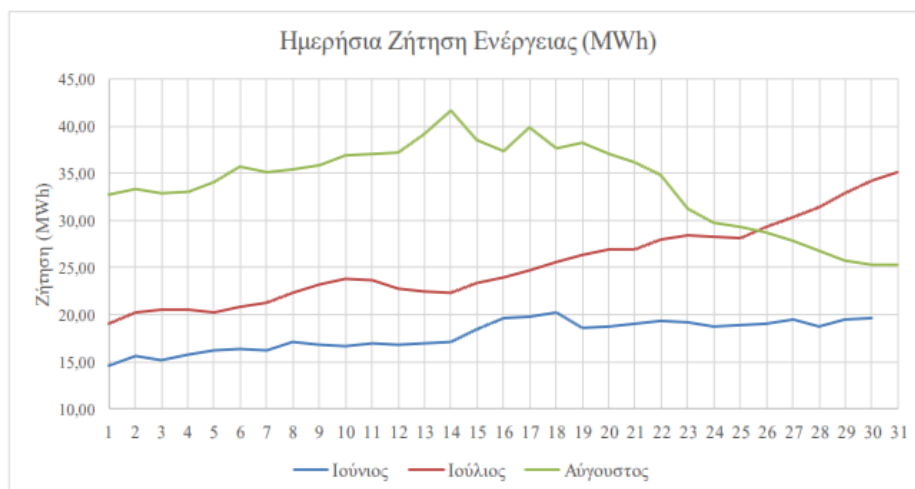




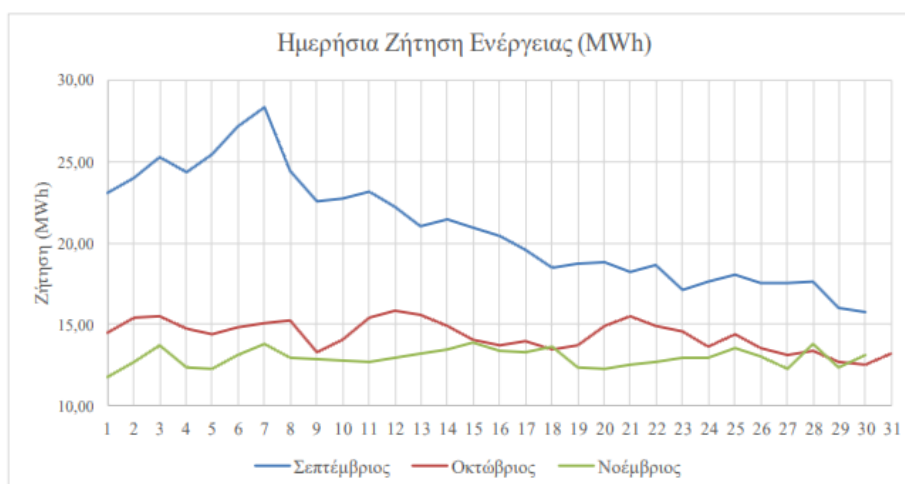
Διάγραμμα 3.4: Ημερήσια διακύμανση της ενεργειακής ζήτησης στην Αστυπάλεια κατά τους χειμερινούς μήνες του 2015, [4]



Διάγραμμα 3.5: Ημερήσια διακύμανση της ενεργειακής ζήτησης στην Αστυπάλεια τους μήνες της Άνοιξης του 2015, [4]



Διάγραμμα 3.6: Ημερήσια διακύμανση της ενεργειακής ζήτησης στην Αστυπάλεια κατά τους καλοκαιρινούς μήνες του 2015, [4]



Διάγραμμα 3.7: Ημερήσια διακύμανση της ενεργειακής ζήτησης στην Αστυπάλαια κατά τους φθινοπωρινούς μήνες του 2015, [4]

### 3.6 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΥΠΑΛΑΙΑ

Η εγκατεστημένη ισχύς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Αστυπάλαια ανέρχεται σύμφωνα με στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ για το έτος 2018, στα 320 kW και προέρχεται από ορισμένες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών μικρής εγκατεστημένης ισχύος. Η συνολική παραγόμενη ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές το έτος 2018 έφτασε, σύμφωνα με ίδια στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ, τις 518 MWh [5].

Ωστόσο το τελευταίο διάστημα έχει γίνει γνωστή η μεγάλη επένδυση που πρόκειται να γίνει στο νησί της Αστυπάλαιας, από τον όμιλο Volkswagen, συνολικού ύψους 20 εκ. ευρώ και η οποία έχει ως στόχο να μετατρέψει την Αστυπάλαια στο πρώτο λειτουργικά «έξυπνο» και ενεργειακά «πράσινο» νησί της Μεσογείου. Αυτή η μετάβαση της Αστυπάλαιας στην «πράσινη» ενέργεια θα γίνει σε δύο φάσεις:

Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την αντικατάσταση του συνόλου του στόλου των οχημάτων του νησιού, που χρησιμοποιούν κινητήρες εσωτερικής καύσης, από ηλεκτρικά κινούμενα οχήματα καθώς και η τοποθέτηση φορτιστών για την φόρτιση αυτών. Αυτή τη στιγμή ο στόλος των οχημάτων στην Αστυπάλαια αποτελείται από 1494 συμβατικά οχήματα. Σε αυτά ανήκουν τα ιδιωτικά αυτοκίνητα και οι μοτοσυκλέτες των κατοίκων του νησιού, οι εταιρικοί στόλοι, όπως οχήματα εταιριών ενοικίασεως οχημάτων, βαν που διαθέτουν ξενοδοχεία και καταλύματα για την μεταφορά των επισκεπτών τους καθώς και ο δημοτικός στόλος και τα μέσα μαζικής μεταφοράς του νησιού. Όλος αυτός ο στόλος θα αντικατασταθεί από 982 αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα (αυτοκίνητα, scooters, ασθενοφόρα, αστυνομικά, δημοτικά, επαγγελματικά και ενοικιαζόμενα οχήματα, ταξί, βαν και λεωφορεία), τα οποία θα έχουν τη

δυνατότητα φόρτισης μέσω των 60 φορτιστών που θα εγκατασταθούν σε διάφορα κεντρικά σημεία - κόμβους του νησιού. Τα παραπάνω θα επιτευχθούν με την εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας και συγκεκριμένα ενός φωτοβολταϊκού πάρκου συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 3 MWp, το οποίο θα συνδυαστεί με μπαταρίες για την αποθήκευση της ενέργειας, που δεν μπορεί να αξιοποιηθεί άμεσα, συνολικής χωρητικότητας τουλάχιστον 7.2 MWh και συνολικής ισχύος 2 MW. Το φωτοβολταϊκό πάρκο σε συνδυασμό με τις μπαταρίες εκτιμάται ότι θα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες φόρτισης του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων σε ποσοστό 100% καθώς και τις υπόλοιπες ενεργειακές ανάγκες του νησιού σε ποσοστό τουλάχιστον 50 % (Εικόνα 3.6, [7]).

Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει την επέκταση του υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας με την ενδεχόμενη εγκατάσταση 1 - 2 ανεμογεννητριών με σκοπό την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80 % (Εικόνα 3.6, [7]).

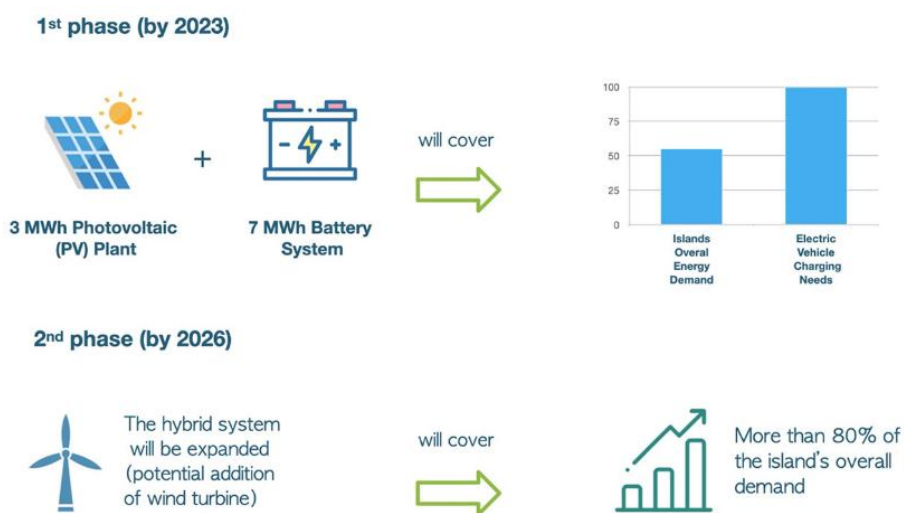
Επίσης τα ηλεκτρικά οχήματα, έχουν το πλεονέκτημα της σύνδεσης στο δίκτυο του νησιού με αποτέλεσμα, οι μπαταρίες τους να μπορούν να αξιοποιηθούν για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας που θα παράγεται στο νησί από το υβριδικό σύστημα ενέργειας. Ακόμα θα υπάρχει η δυνατότητα της αμφίδρομης φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων του νησιού, δηλαδή θα υπάρχει η δυνατότητα το ενεργειακό δίκτυο του νησιού, να χρησιμοποιεί σε περίπτωση ανάγκης, με κάποιον «έξυπνο» τρόπο και ως ένα βαθμό, ενέργεια από τις μπαταρίες των οχημάτων που εκείνη τη δεδομένη στιγμή δεν χρειάζονται το σύνολο της αποθηκευμένης, στις μπαταρίες τους, ενέργειας. Τέλος η μείωση του στόλου των οχημάτων στην Αστυπάλαια θα επέλθει λόγω της εισαγωγής νέων υπηρεσιών μεταφοράς αλλά και από την σημαντική βελτίωση που θα γίνει στο κομμάτι των μέσων μαζικής μεταφοράς του νησιού τα οποία προβλέπεται να λειτουργούν όλο το εικοσιτετράωρο και να καλύπτουν το σύνολο του νησιού, πράγμα που σήμερα δεν συμβαίνει [7].

Η μεγάλη αυτή επένδυση του ομίλου Volkswagen στην Αστυπάλαια, υλοποιώντας όλα τα παραπάνω, έχει ως στόχο μέχρι το 2026 (Εικόνα 3.7) [7]:

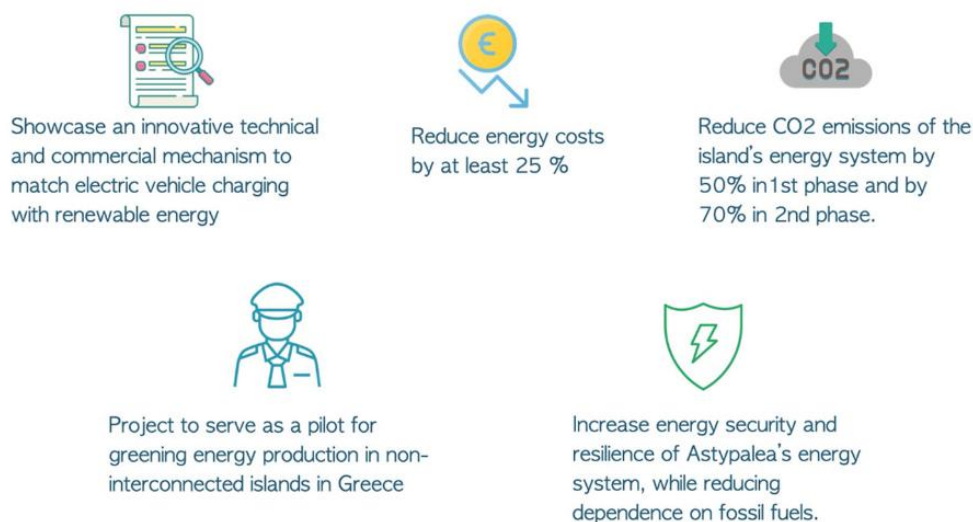
- η ενεργειακή ζήτηση του νησιού, που θα καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, να φτάσει σε ποσοστό μεγαλύτερο του 80%
- τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στο νησί κατά 70%
- την μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας στο νησί κατά 25%
- την απεξάρτηση, σε μεγάλο βαθμό, του νησιού από τα ορυκτά καύσιμα
- την διερεύνηση της λειτουργίας συστήματος φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων με την αποκλειστική χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ενεργειακή αυτονομία των μη διασυνδεδεμένων νησιών μέσω συστημάτων παραγωγής «πράσινης» ενέργειας

Η επένδυση της Volkswagen στην Αστυπάλεια καταδεικνύει πως το νησί αυτό αποτελεί έναν τόπο με μεγάλες δυνατότητες ως προς το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που διαθέτει, αλλά και ένα μεγάλο στοίχημα για το αν τελικά οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ικανές κάτω από κατάλληλες συνθήκες, μία εκ των οποίων είναι και η αποθήκευσή τους, να εξασφαλίσουν την ενεργειακή επάρκεια και να οδηγήσουν στην απεξάρτηση των σύγχρονων κοινωνιών από τα ορυκτά καύσιμα.

Στην Εικόνα 3.6 φαίνονται σχηματικά οι δύο φάσεις που περιλαμβάνει το σχέδιο της επένδυσης που θα γίνει από τον όμιλο Volkswagen στο νησί της Αστυπάλειας.



Εικόνα 3.6: Σχηματική αναπαράσταση των φάσεων της επένδυσης του ομίλου Volkswagen στην Αστυπάλεια (Πηγή: e-astypalea.gov.gr)



Εικόνα 3.7: Στόχοι στους οποίους αποσκοπεί η ανάπτυξη του υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλεια που πρόκειται να υλοποιηθεί στα πλαίσια της επένδυσης του ομίλου Volkswagen (Πηγή: e-astypalea.gov.gr)

## 4. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

Για να επιτευχθεί η προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας που εξετάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ήταν απαραίτητη η παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών μήκους 100 ετών και ωριαίας χρονικής κλίμακας. Οι χρονοσειρές που ήταν απαραίτητο να παραχθούν ήταν αυτές που σχετίζονται άμεσα με την παραγωγή ενέργειας από την κάθε μη ελέγξιμη πηγή ανανεώσιμη που συμμετέχει στο μοντέλο. Επίσης ήταν απαραίτητο να παραχθεί και η χρονοσειρά της ωριαίας ζήτησης ενέργειας, καθώς και οι χρονοσειρές της ημερήσιας βροχόπτωσης και ημερήσιας εξατμοδιαπνοής μήκους 100 ετών που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του αποθέματος της δεξαμενής άντλησης - ταμίευσης (Υποενότητα 5.2.6). Οι μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές που επιλέχθηκαν για το σύστημα της Αστυπάλαιας είναι ο άνεμος, ο ήλιος και η κυματική ενέργεια και συνεπώς οι αντίστοιχες χρονοσειρές που ήταν αναγκαίο να παραχθούν για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από κάθε πηγή είναι:

- Η ωριαία χρονοσειρά της ταχύτητας του ανέμου που πνέει στην Αστυπάλαια, μήκους 100 ετών.
- Η ωριαία χρονοσειρά της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην Αστυπάλαια, μήκους 100 ετών.
- Η ωριαίες χρονοσειρές του ύψους και της περιόδου του προσπίπτοντος κυματισμού στις ακτές της Αστυπάλαιας, μήκους 100 ετών.

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας οι παραπάνω 7 χρονοσειρές (ζήτηση ενέργειας, ταχύτητα ανέμου, ηλιακή ακτινοβολία, ύψος κύματος, περίοδος κύματος, ημερήσια βροχόπτωση και ημερήσια εξατμοδιαπνοή) ελήφθησαν ως δεδομένες. Παρόλα αυτά, σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται με περιληπτικό τρόπο: η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την συλλογή των απαραίτητων δεδομένων, η μεθοδολογία για τη στατιστική ανάλυσή τους, ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών και οι μέθοδοι που επιλέχθηκαν για την αξιολόγηση αυτών.

### 4.1 ΖΗΤΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για την παραγωγή της ωριαίας χρονοσειράς της ζήτησης ενέργειας στην Αστυπάλαια είναι τα δεδομένα της ωριαίας ζήτησης ενέργειας στο νησί για τα

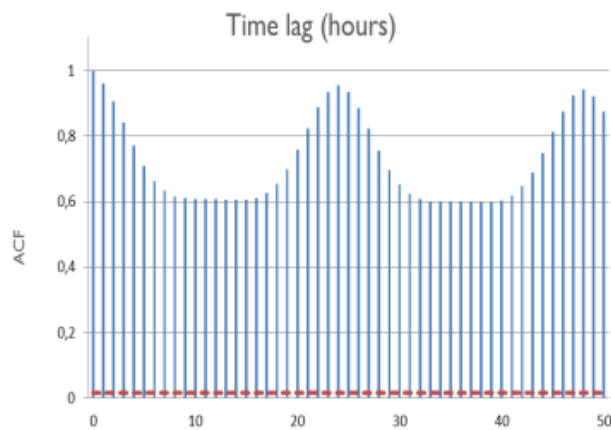
έτη 2014 - 2015 [8] [9]. Επίσης, λόγω απουσίας αξιόπιστων δεδομένων θερμοκρασίας στην Αστυπάλαια, αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα της θερμοκρασίας σε τρίωρη χρονική κλίμακα, από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Σαντορίνης και της Κω, που ελήφθησαν από την NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), καθώς είναι τα κοντινότερα νησιά στην Αστυπάλαια που διαθέτουν μετεωρολογικούς σταθμούς με αξιόπιστα δεδομένα [8] [9].

### ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

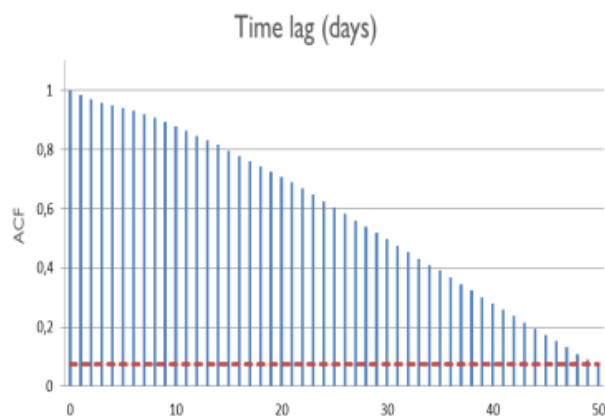
Για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία [8] [9]:

- Οπτικοποίηση των δεδομένων ενεργειακής ζήτησης, μέσω διαγραμμάτων, και ομαδοποίησή τους σε δύο χρονικές κλίμακες (ωριαία και ημερήσια) με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της ενεργειακής ζήτησης και των φαινομένων που συνδέονται με αυτήν.
- Υπολογισμός των βασικών στατιστικών χαρακτηριστικών της χρονοσειράς των δεδομένων ενεργειακής ζήτησης, έτσι ώστε να αναζητηθούν τυχόν περιοδικότητες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς.
- Ανάλυση των δεδομένων θερμοκρασίας για την αναζήτηση ενδεχόμενης συσχέτισης αυτής με την ενεργειακή ζήτηση.

Από την οπτικοποίηση των δεδομένων ενεργειακής ζήτησης που φαίνεται στο Διάγραμμα 3.1 (Κεφάλαιο 3), παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν υψηλές τιμές αυτής κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, εξαιτίας του τουρισμού, και επιπλέον παρατηρήθηκε ετήσια περιοδικότητα στην ενεργειακή ζήτηση. Ακόμα, μέσω των αυτοσυσχετογραμμάτων που φαίνονται στο Διάγραμμα 4.1 και στο Διάγραμμα 4.2, προέκυψε ότι υπάρχει έντονη ημερήσια περιοδικότητα στη ζήτηση ενέργειας, αλλά καθόλου ωριαία περιοδικότητα σε αυτήν. Τέλος, προέκυψε έντονα θετική συσχέτιση μεταξύ της ενεργειακής ζήτησης και της θερμοκρασίας [8] [9].



Διάγραμμα 4.1: Αυτοσυσχέτιση των δεδομένων ενεργειακής ζήτησης σε ωριαία κλίμακα, [9]



Διάγραμμα 4.2: Αυτοσυσχέτιση των δεδομένων ενεργειακής ζήτησης σε ημερήσια κλίμακα, [9]

### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ

Για την παραγωγή της ωριαίας χρονοσειράς της ενεργειακής ζήτησης ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία [8]:

- Εξαλείφθηκε η διπλή (ετήσια και ημερήσια) περιοδικότητα που εμφανίζεται στην ενεργειακή ζήτηση.
- Με τη μέθοδο block bootstrap επελέγησαν τυχαίες δέσμες τιμών, συγκεκριμένου μήκους, από την παραπάνω χρονοσειρά, και έτσι παράχθηκε μια χρονοσειρά με το επιθυμητό μήκος. Τα δύο κύρια χαρακτηριστικά της διαδικασίας που ακολουθήθηκε ήταν ότι το μήκος της κάθε δέσμης τιμών που επελέγη ακολουθεί γεωμετρική κατανομή και προέκυψε, μέσω βελτιστοποίησης από τη συνάρτηση b.star της γλώσσας προγραμματισμού R, ίσο με 336 στοιχεία και ότι η προσομοίωση βασίστηκε στην

διατήρηση της μέση τιμής και της τυπικής απόκλισης της εναπομείνουσας χρονοσειράς, σε κάθε βήμα.

- Τέλος εισήχθη στην παραπάνω παραχθείσα χρονοσειρά και η διπλή περιοδικότητα που είχε παρατηρηθεί και εξαλειφθεί στο πρώτο βήμα με αποτέλεσμα την παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς της ενεργειακής ζήτησης που χρησιμοποιήθηκε και για τη μοντελοποίηση του συστήματος παραγωγής ενέργειας της Αστυπάλαιας.

#### ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ

Η αξιολόγηση της συνθετικής χρονοσειράς έγινε με τον υπολογισμό των βασικών στατιστικών χαρακτηριστικών της και με τη σύγκρισή τους με τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ιστορικής χρονοσειράς, όπως παρουσιάζεται και παρακάτω στον Πίνακα 5.1 [8]:

Πίνακας 4.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά ιστορικής και συνθετικής χρονοσειράς ενεργειακής ζήτησης, [8]

	Historic data (MW)	Synthetic data (MW)
Mean	0.715	0.715
Standard deviation	0.297	0.297
Skewness	1.488	1.498
Maximum value	2.25	2.721
Minimum value	0.23	≈ 0

## 4.2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ

### ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Λόγω της απουσίας δεδομένων ωριαίας ταχύτητας ανέμου στο ίδιο το νησί της Αστυπάλαιας, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς της ωριαίας ταχύτητας του ανέμου ελήφθησαν από τους σημειακούς μετρητές των συνθηκών του θαλασσίου περιβάλλοντος (buoys) του συστήματος «Ποσειδών», που διαθέτει το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ), στη Σαντορίνη και τη Μύκονο. Οι μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου που ήταν αξιόπιστες και με μικρές ελλείψεις αφορούσαν τα έτη 2005 - 2011. Τα δεδομένα αυτά, από τους μετρητές του συστήματος «Ποσειδών», συγκρίθηκαν με τα δεδομένα του μοντέλου ERA - Interim που έχει παραχθεί από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μετεωρολογικών Προγνώσεων Μεσαίου Εύρους (ECMWF) για την ίδια περίοδο (2005 - 2011) και βρέθηκε ότι δεν είχαν ελλείψεις στις τιμές τους. Από την αξιολόγηση προέκυψε ότι τα δεδομένα του μοντέλου ERA - Interim είναι



αξιόπιστα σε σχέση με τα παρατηρημένα και συνεπώς χρησιμοποιήθηκαν ως ιστορική χρονοσειρά της ταχύτητας του ανέμου [10] [11].

### ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων της ταχύτητας του ανέμου ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Εξαλείφεται η διπλή περιodicότητα που χαρακτηρίζει την ταχύτητα του ανέμου (ημερήσια και εποχική) μέσω της διαδικασίας της ομογενοποίησης και έτσι μετατρέπεται η χρονοσειρά του ανέμου σε μια στάσιμη ανέλιξη [12].
- Γίνεται η προσαρμογή της παραπάνω ανέλιξης στην τριπαραμετρική κατανομή PBF (Pareto -Burr - Feller) και γίνεται στατιστική ανάλυση της προσαρμογής μέσω του δείκτη C [13] [12].
- Πραγματοποιείται το τεστ προσαρμογής ουράς, το οποίο γίνεται καθορίζοντας μία τιμή «κατώφλι» (threshold) [12].
- Υπολογίζεται η ωριαία ετεροσυσχέτιση της ταχύτητας του ανέμου σε επίπεδο ημέρας και σε επίπεδο εποχής και προκύπτει ότι η ετεροσυσχέτιση είναι πιο ισχυρή σε επίπεδο ημέρας απ' ό τι σε επίπεδο εποχής.
- Γίνεται υπολογισμός της μακροπρόθεσμης εμμονής της ταχύτητας του ανέμου με τον υπολογισμό της τιμής της παραμέτρου Hurst, μέσω του κλιμακογράμματος, το οποίο είναι το διάγραμμα της τυπικής απόκλισης της μέσης τιμής συναρτήσεως της κλίμακας σε διπλό λογαριθμικό άξονα. Συγκεκριμένα η τιμή της παραμέτρου Hurst δίνεται αν η αρνητική τιμή της κλίσης του κλιμακογράμματος αφαιρεθεί από τη μονάδα.

### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ

Για την παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς της ταχύτητας του ανέμου ακολουθείται ένα μοντέλο διπλής κυκλοστασιμότητας [14] [15] [16] [12] [10], το οποίο διατηρεί τη διπλή περιodicότητα της ταχύτητας του ανέμου και τη μακροπρόθεσμη εμμονή της ανέλιξης. Για την παραγωγή της ωριαίας χρονοσειράς της ταχύτητας του ανέμου μήκους 100 ετών, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος SAR που ακολουθεί την τεχνική των τυχαίων διακυμάνσεων πολλαπλής κλίμακας, μέσω 7 μοντέλων Markov (AR(1)) και μέσω του οποίου μπορεί να παραχθεί χρονοσειρά οποιουδήποτε μήκους [17].

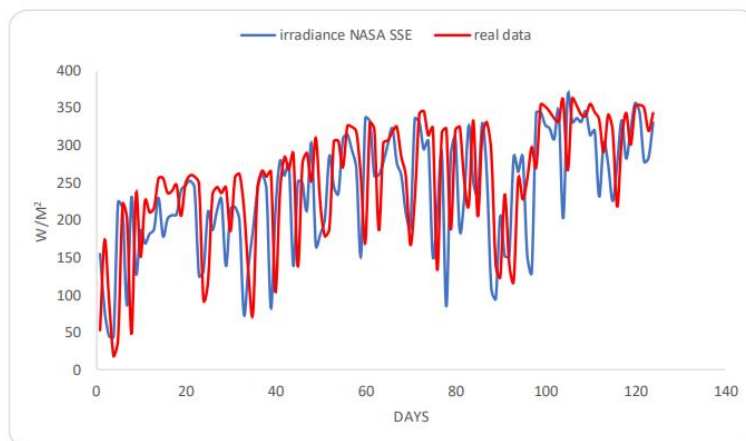
## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ

Η αξιολόγηση της εξαγόμενης συνθετικής χρονοσειράς της ταχύτητας του ανέμου γίνεται μέσω της σύγκρισης των τεσσάρων πρώτων στατιστικών ροπών της με τις αντίστοιχες στατιστικών ροπές της ιστορικής χρονοσειράς [12].

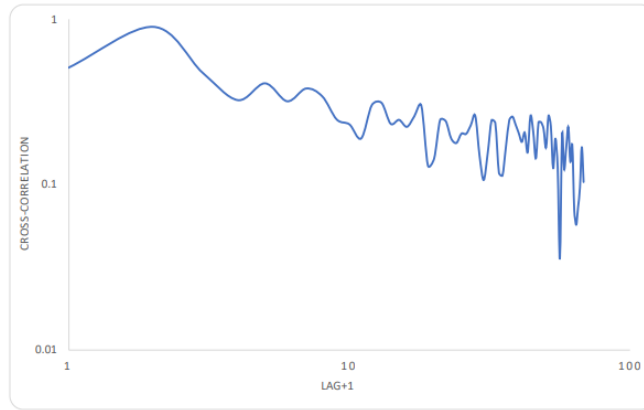
### 4.3 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

#### ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για την παραγωγή της ωριαίας χρονοσειράς της ηλιακής ακτινοβολίας στην Αστυπάλαια προήλθαν από τη βάση δεδομένων NASA - SSE (Surface meteorology and Solar Energy) και από το Υδρολογικό Παρατηρητήριο Αθηνών. Τα πρώτα αφορούν ημερήσια δεδομένα περισσότερων από 8000 ημερών και περίπου 22 ετών χρονικού μήκους που έχουν παραχθεί μέσω ενός μοντέλου ανάλυσης δορυφορικών εικόνων, το οποίο είναι βαθμονομημένο με πραγματικά παρατηρημένες τιμές. Τα δεδομένα αυτά ελέγχθηκαν με τις παρατηρημένες τιμές του σταθμού του Αγίου Κοσμά που ανήκει στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY). Από την ανάλυση προέκυψε ότι οι τιμές που προκύπτουν από το μοντέλο είναι αρκετά αξιόπιστες, όπως φαίνεται και από τα παρακάτω δύο διαγράμματα [18] [19].



Διάγραμμα 4.3: Σύγκριση της χρονοσειράς της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που παράγεται από το μοντέλο NASA - SSE και των παρατηρημένων τιμών από την EMY, [18]

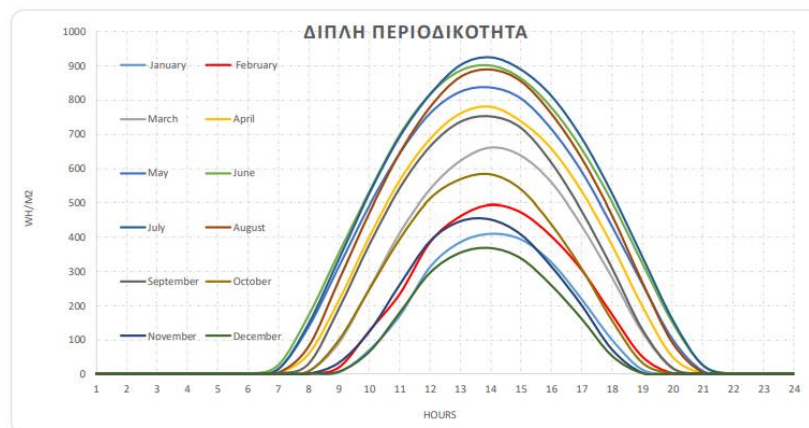


Διάγραμμα 4.4: Έτεροσυσχέτιση μεταξύ των δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας του μοντέλου NASA - SSE και των παρατηρημένων τιμών, [18]

Τα δεδομένα από το Υδρολογικό Παρατηρητήριο Αθηνών αποτελούν ωριαία παρατηρημένα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας χρονικής κλίμακας δεκαλέπτου και χρονικού μήκους 12 ετών τα οποία χρησιμοποιήθηκαν έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η ωριαία ανάλυση της ηλιακής ακτινοβολίας [18] [20].

#### ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Όπως όλες οι ατμοσφαιρικές διεργασίες έτσι και η ηλιακή ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από διπλή περιοδικότητα (ημερήσια και εποχιακή) [18] [21]. Αυτή είναι εμφανής από την οπτικοποίηση των ωριαίων και ημερήσιων χρονοσειρών που φαίνεται στο Διάγραμμα 4.5.



Διάγραμμα 4.5: Διπλή περιοδικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στον σταθμό της Ψυττάλειας, [18]

Η εποχική περιοδικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας εξαλείφεται με τον υπολογισμό του ωριαίου συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ), που υπολογίζεται ως το πηλίκο της μετρημένης ηλιακής ακτινοβολίας με την εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία που προέκυψε από τη βάση δεδομένων της NRLE - NSRDB (National Renewable Energy Laboratory - National Solar

Radiation Database). Η διπλή περιοδικότητα η οποία συνεχίζει να υπάρχει στον συντελεστή αιθριότητας, λόγω διάφορων παραγόντων και κυρίως της νέφωσης και του πάχους της ατμόσφαιρας, εξαλείφεται με τον διαχωρισμό της χρονοσειράς σε  $12 \times 24$  (μήνες  $\times$  ώρες) [18] [21], δηλαδή σε 288 χρονοσειρές.

Έπειτα γίνεται η προσαρμογή της στάσιμης, πλέον, χρονοσειράς του συντελεστή αιθριότητας σε μία σύνθετη κατανομή που προκύπτει ως το άθροισμα δύο περιθώριων κατανομών Kumaraswamy [18] [21].

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι ωριαίες ετεροσυσχετίσεις με υστέρηση μίας ώρας του συντελεστή αιθριότητας ( $K_T$ ) σε μηνιαία κλίμακα. Από τον υπολογισμό αυτό προκύπτει ότι δεν υπάρχει κάποια συσχέτιση που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην εφαρμογή του μοντέλου διπλής κυκλοστασιμότητας που θα εφαρμοστεί για την παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας [18] [21].

Τέλος, γίνεται ο έλεγχος της μακροπρόθεσμης εμμονής του συντελεστή αιθριότητας και κατ' επέκταση της ηλιακής ακτινοβολίας, από τον υπολογισμό της παραμέτρου Hurst, που προέκυψε από την κλίση του κλιμακογράμματος ίση με  $H=0.75$ . Το κλιμακόγραμμα είναι το διάγραμμα που συσχετίζει τη διασπορά της μέσης τιμής του συντελεστή αιθριότητας με την κλίμακα του χρόνου σε διπλό λογαριθμικό άξονα [18] [21].

#### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ

Η παραγωγή της ωριαίας συνθετικής χρονοσειράς, των 100 ετών, της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται με τη χρήση του μοντέλου SAR, που ακολουθεί την τεχνική των τυχαίων διακυμάνσεων πολλαπλής κλίμακας, μέσω 7 μοντέλων Markov ( $AR(1)$ ) [17] και με διατήρηση της διπλής περιοδικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και της μακροπρόθεσμης εμμονής (Hurst) που αυτή παρουσιάζει [14]. Τέλος εισάγονται στην παραχθείσα χρονοσειρά οι περιοδικότητες που διακρίνουν τόσο τον συντελεστή αιθριότητας όσο και την ηλιακή ακτινοβολία, ακολουθώντας τις αντίστροφες διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την εξαγωγή τους και έτσι προκύπτει η τελική συνθετική χρονοσειρά, 100 ετών, της ηλιακής ακτινοβολίας [18] [21] [14].

#### ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ

Για την αξιολόγηση της συνθετικής χρονοσειράς έγινε ο υπολογισμός και η σύγκριση των τεσσάρων πρώτων κεντρικών ροπών με τις αντίστοιχες της ιστορικής χρονοσειράς. Βρέθηκε ότι οι τέσσερις πρώτες κεντρικές ροπές (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, ασυμμετρία και

κύρτωση) της ιστορικής χρονοσειράς της ηλιακής ακτινοβολίας διατηρούνται και στη συνθετική [18].

#### 4.4 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

##### ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Λόγω της απουσίας μετεωρολογικού σταθμού στο ίδιο το νησί της Αστυπάλαιας, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς του ύψους και της περιόδου των κυματισμών ελήφθησαν από τους σημειακούς μετρητές των συνθηκών του θαλασσίου περιβάλλοντος (buoys) του συστήματος «Ποσειδών», που διαθέτει το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ), στη Σαντορίνη και τη Μύκονο. Οι μετρήσεις που ήταν αξιόπιστες και με μικρές ελλείψεις αφορούσαν τα έτη 2005 - 2011. Τα δεδομένα αυτά, χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο αριθμητικό φασματικό κυματικό μοντέλο MIKE - 21 SW, που είναι φτιαγμένο και βαθμονομημένο έτσι ώστε να προσομοιάζει στις συνθήκες του νοτιοανατολικού Αιγαίου και τις ακτογραμμές κοντά στην Αστυπάλαια. Το μοντέλο χρειάζεται ως δεδομένα εισόδου το ύψος, την περίοδο, τη κατεύθυνση του κύματος καθώς και τη διεύθυνση μετάδοσης του κύματος, τα οποία και αποκτήθηκαν, με τρίωρο χρονικό βήμα, από τους παραπάνω μετρητές του συστήματος «Ποσειδών». Η έξοδος του μοντέλου ήταν ωριαίες χρονοσειρές μήκους 7 ετών, του ύψους του κύματος στα βαθιά νερά ( $H_s$ ), της μέσης περιόδου του κύματος ( $T$ ), της μέσης κατεύθυνσης του κύματος ( $M_{dir}$ ) και της ταχύτητας του ανέμου στα 10 m ( $U_{10}$ ) [11].

##### ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για τη στατιστική ανάλυση των χρονοσειρών του ύψους και της περιόδου του κύματος ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία [11] [10]:

- Η διπλή περιοδικότητα (ωριαία και εποχική), που είναι κοινό χαρακτηριστικό των υδρομετεωρολογικών διεργασιών, παρατηρείται και στις ιστορικές χρονοσειρές των χαρακτηριστικών των κυματισμών. Έτσι εξαλείφεται η διπλή περιοδικότητα από τις χρονοσειρές, με σκοπό να απαλλαγούν από το στοχαστικό τους μέρος και να παραμείνει μόνο το ντετερμινιστικό.
- Γίνεται η προσαρμογή των χρονοσειρών σε μία περιθώρια συνάρτηση κατανομής. Συγκεκριμένα το ύψος κύματος προσαρμόζεται στη διπαραμετρική κατανομή Weibull, ενώ η περίοδος του κύματος στη διπαραμετρική κατανομή Log - normal [11] [10].

- Υπολογίζεται η ωριαία ετεροσυσχέτιση με υστέρηση μίας ώρας, σε μηναία κλίμακα, μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου ( $U_{10}$ ) και του ύψους του κύματος ( $H_s$ ) και η οποία προκύπτει ίση με 0.75. Ακόμα προκύπτει έντονη ετεροσυσχέτιση μεταξύ του ύψους κύματος ( $H_s$ ) και της περιόδου του κύματος ( $T$ ).
- Υπολογίζεται η τιμή της παραμέτρου Hurst που δείχνει τη μακροπρόθεσμη εμμονή του ύψους και της περιόδου του κύματος, μέσω της κλίσης του κλιμακογράμματος, δηλαδή του διπλού λογαριθμικού διαγράμματος της διασποράς της μέσης τιμής σε συνάρτηση με την κλίμακα και η οποία προκύπτει ίση με  $H=0.72$ .

#### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

Η παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών του ύψους κύματος και της περιόδου του κύματος γίνεται μέσω ενός ψευδο-κυκλοστάσιμου μοντέλου μακροπρόθεσμης εμμονής, που διατηρεί τη διπλή περιοδικότητα της ανέλιξης (ημερήσια και εποχική) [14] [10]. Τέλος, γίνεται χρήση του αλγορίθμου CSAR, (Cyclostationary Sum of finite independent AR(1) processes) [17], για την παραγωγή των ωριαίων χρονοσειρών ύψους κύματος και περιόδου κύματος, μήκους 100 ετών, με διατήρηση της Hurst - Kolmogorov συμπεριφοράς αυτών των μεγεθών [11] [10].

#### ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

Η αξιολόγηση των συνθετικών χρονοσειρών γίνεται μέσω του υπολογισμού και της σύγκρισης των στατιστικών τους χαρακτηριστικών. Προκύπτει ότι οι συνθετικές χρονοσειρές διατηρούν τις πρώτες δύο κεντρικές ροπές (μέση τιμή και τυπική απόκλιση), την αυτοσυσχέτιση πρώτης τάξης καθώς και τις ετεροσυσχετίσεις μεταξύ ύψους κύματος - περιόδου κύματος ( $H_s - T$ ) και ύψους κύματος - ταχύτητας ανέμου ( $H_s - U_{10}$ ) [10].

### 4.5 ΒΡΟΧΗ - ΕΞΑΤΜΟΔΙΑΠΝΟΗ

#### ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Εξαιτίας της απουσίας αξιόπιστων δεδομένων ημερήσιας βροχόπτωσης και μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στο νησί της Αστυπάλαιας, τα δεδομένα των ιστορικών χρονοσειρών που ελήφθησαν υπόψη για την παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς της ημερήσιας βροχόπτωσης και της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας προήλθαν από μετρήσεις

των δύο αυτών μεγεθών που αφορούν την περίοδο Ιουνίου 2009 - Φεβρουαρίου 2017, στο γειτονικό νησί της Καλύμνου [22] [23].

#### ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ / ΠΑΡΑΓΩΓΗ / ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

Η στατιστική ανάλυση και η παραγωγή των συνθετικών χρονοσειρών της ημερήσιας βροχόπτωσης και της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας έγινε μέσω του λογισμικού Castalia. Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιεί τις πλέον εξελιγμένες στοχαστικές μεθοδολογίες και παράγει στατιστικά συνεπείς συνθετικές χρονοσειρές. Συνεπώς μέσω του λογισμικού Castalia παρήχθησαν οι χρονοσειρές ημερήσιας βροχόπτωσης και μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, μήκους 100 ετών και οι οποίες διατηρούν τα κύρια στατιστικά χαρακτηριστικά της ιστορικής χρονοσειράς από την οποία έχουν προκύψει, σε τρεις χρονικές κλίμακες (ετήσια, μηνιαία, ημερήσια) την μακροχρόνια εμμονή, δηλαδή την Hurst - Kolmogorov συμπεριφορά που διακρίνει όλες τις υδρομετεωρολογικές διεργασίες, σε ετήσια και υπερετήσια κλίμακα, την περιοδικότητα των δύο μεγεθών σε μηνιαία κλίμακα καθώς και τη διαλείπουσα συμπεριφορά της βροχόπτωσης σε ημερήσια κλίμακα, δηλαδή την ύπαρξη μεγάλου ποσοστού μηδενικών τιμών στη χρονοσειρά [22] [23]. Η παραγωγή της συνθετικής χρονοσειράς της ημερήσιας εξατμοδιαπνοής προκύπτει μέσω της χρονοσειράς της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας από την έκφραση που συνδέει την εξατμοδιαπνοή με την θερμοκρασία [23].

## 5. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται αναλυτικά οι διατάξεις παραγωγής ενέργειας που επιλέχθηκαν για το υβριδικό σύστημα της Αστυπάλαια στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έτσι ώστε να διερευνηθεί η ενεργειακή αυτονομία του νησιού για τα επόμενα 100 έτη. Επίσης, γίνεται λεπτομερής ανάλυση και για το σύστημα αποθήκευσης της πλεονάζουσας ενέργειας που επιλέχθηκε. Ακόμα, για κάθε διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συμμετέχει στο υβριδικό σύστημα του νησιού αναλύονται τα επιμέρους τεχνικά της χαρακτηριστικά και γίνεται περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από αυτήν.

### 5.2 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ - ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Για το υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας που εξετάζεται στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συγκεκριμένα η αιολική, η ηλιακή, η κυματική, η ενέργεια από το βιοαέριο, η υδροηλεκτρική και η ενέργεια από τη βιομάζα. Η επιλογή των συγκεκριμένων πηγών ενέργειας έγινε με κριτήριο τα μετεωρολογικά δεδομένα του νησιού, τα υφιστάμενα γεωργικά και κτηνοτροφικά δεδομένα του νησιού και τη μορφολογία του εδάφους της Αστυπάλαιας. Ως διάταξη αποθήκευσης της ενέργειας που παράγεται από τις μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (άνεμος, ήλιος, κύματα) που συμμετέχουν στο σύστημα και δεν μπορεί να αξιοποιηθεί άμεσα από δίκτυο του νησιού, επιλέχθηκε αυτή της άντλησης - ταμίευσης. Τα κύρια κριτήρια επιλογής αυτής της διάταξης αποθήκευσης ενέργειας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσής της και η μεγάλη αποθηκευτική της ικανότητα.

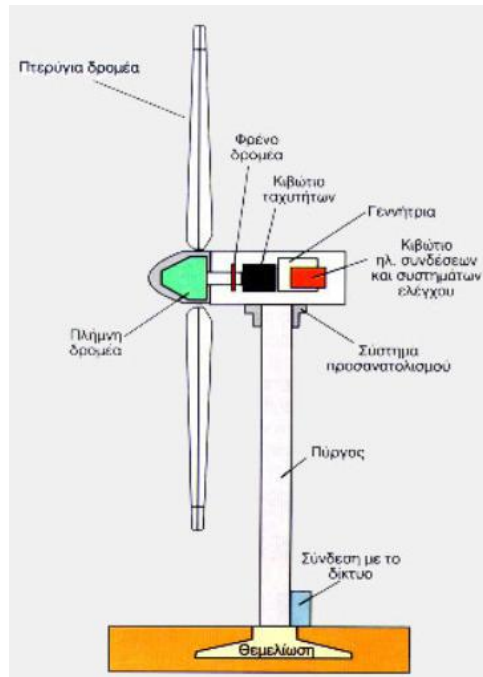
#### 5.2.1 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

##### ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

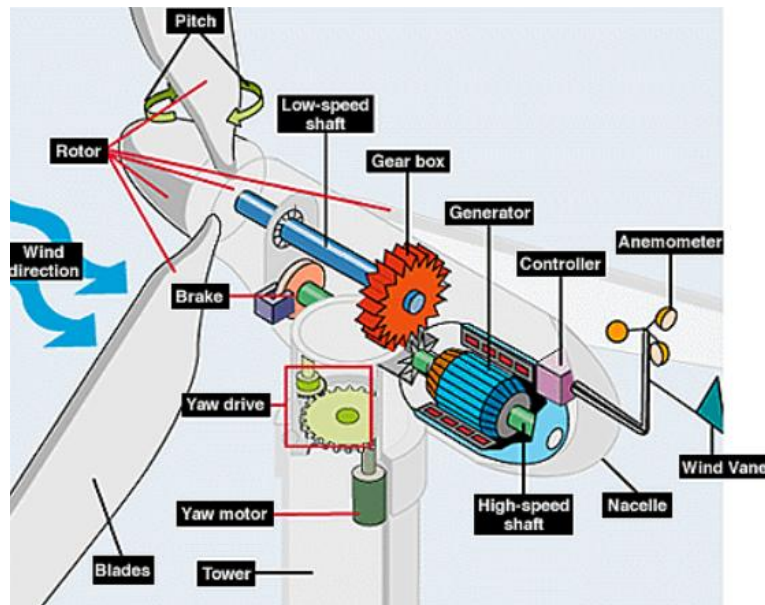
Για την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού που υπάρχει στο νησί της Αστυπάλαιας και την παραγωγή «καθαρής» ενέργειας, από μία εκ των πλέον αξιοποιήσιμων, στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ανανεώσιμων πηγών όπως είναι ο άνεμος,



χρησιμοποιήθηκαν οι διατάξεις των ανεμογεννητριών. Οι ανεμογεννήτριες είναι διατάξεις, που εκμεταλλεύόμενες την κινητική ενέργεια που μεταφέρει ο άνεμος, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου και τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, ανάλογα με το που είναι στραμμένος ο άξονας του ρότορά τους σε σχέση με το έδαφος. Για τις ανάγκες του παρόντος υβριδικού συστήματος χρησιμοποιήθηκαν ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα με τρία πτερύγια, δύο ενδεικτικά σχέδια των οποίων, φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 5.1: Τα κύρια μέρη μιας τυπικής ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα με τρία πτερύγια (Πηγή: cres.gr)

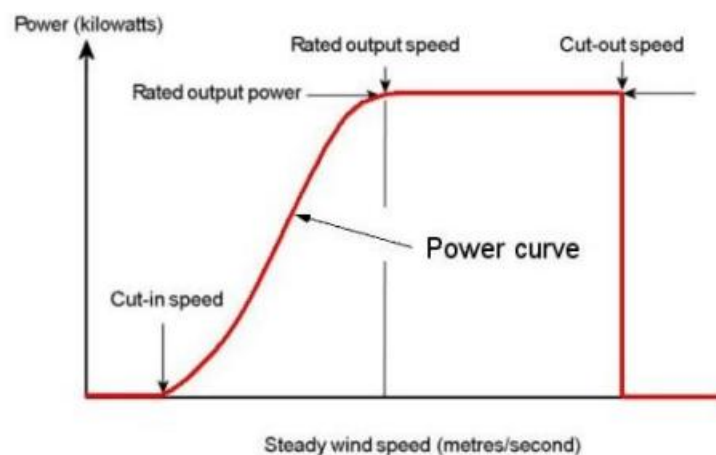


Εικόνα 5.2: Τα κύρια μέρη του κουβουκλίου μιας τυπικής ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα με τρία πτερύγια (Πηγή: wikipedia.org)

### ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Εκείνο που διακρίνει την κάθε ανεμογεννήτρια είναι η καμπύλη ισχύος της. Η καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας είναι το διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται η αποδιδόμενη ισχύς της συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου. Η καμπύλη ισχύος της κάθε ανεμογεννήτριας προσδιορίζεται από τον κατασκευαστή της.

Παρακάτω, στο Διάγραμμα 5.1, φαίνεται μια τυπική καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας. Η καμπύλη ισχύος παρατηρούμε ότι είναι χωρισμένη σε τέσσερα κύρια τμήματα ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου.

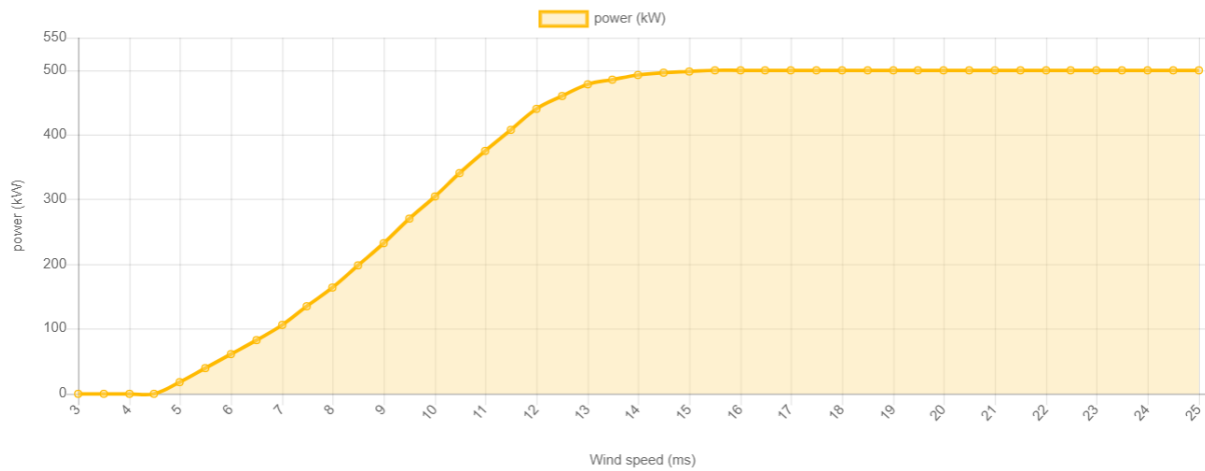


Διάγραμμα 5.1: Τυπική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας (Πηγή: wind-power-program.com)

- Το πρώτο τμήμα είναι από την αρχή του διαγράμματος έως την «ταχύτητα εισόδου» (Cut - in speed), που είναι η περιοχή των ταχυτήτων του ανέμου για τις οποίες η ανεμογεννήτρια δεν δύναται να αποδώσει κάποια ισχύ, καθώς δεν υπάρχει η απαραίτητη ενέργεια από τον άνεμο που θα οδηγήσει στην κίνηση των πτερυγίων και κατ' επέκταση του ρότορά της.
- Το δεύτερο τμήμα είναι από την «ταχύτητα εισόδου» (Cut - in speed) έως την «ονομαστική ταχύτητα» (Rated output speed), το οποίο είναι η περιοχή των ταχυτήτων του ανέμου για τις οποίες η ανεμογεννήτρια τίθεται σε λειτουργία και αποδίδει ισχύ, μικρότερη όμως από την ονομαστική της.
- Το τρίτο τμήμα είναι από την «ονομαστική ταχύτητα» (Rated output speed) έως την «ταχύτητα εξόδου» (Cut - out speed), στο οποίο ανήκει το εύρος των ταχυτήτων του ανέμου για τις οποίες η ανεμογεννήτρια αποδίδει την ονομαστική της ισχύ.
- Το τέταρτο τμήμα είναι από την «ταχύτητα εξόδου» (Cut - out speed) έως το τέλος του διαγράμματος, όπου είναι η περιοχή των ταχυτήτων του ανέμου για τις οποίες η ανεμογεννήτρια, μέσω του φρένου που διαθέτει στο κουβούκλιό της, διακόπτει την περιστροφή της και κατ' επέκταση σταματάει να αποδίδει ισχύ. Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί η πρόκληση ζημιάς σε κάποιον από τους μηχανισμούς ή τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, από την μεγάλη ταχύτητα που αναπτύσσει ο ρότοράς της.

### ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Στο υβριδικό σύστημα που εξετάστηκε για την Αστυπάλαια, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκαν ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 550 kW, ύψους 75 m, διαμέτρου πύργου 54 m και διαμέτρου ρότορα 39 m. Η καμπύλη ισχύος της κάθε ανεμογεννήτριας που επιλέχθηκε απεικονίζεται παρακάτω, στο Διάγραμμα 5.2.



Διάγραμμα 5.2: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιήθηκε στο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας της Αστυπάλαιας (Πηγή: en.wind-turbine-models.com)

Για το συγκεκριμένο μοντέλο ανεμογεννήτριας ισχύει ότι:

- Η ταχύτητα εισόδου (Cut - in speed) είναι 4.0 m/s, για την οποία η ανεμογεννήτρια αποδίδει μόλις 3.5 kW.
- Η ονομαστική ταχύτητα (Rated output speed) είναι 15.0 m/s, για την οποία η ανεμογεννήτρια αποδίδει την ονομαστική της ισχύ, δηλαδή 500 kW.
- Η ταχύτητα εξόδου (Cut - out speed) είναι 25.0 m/s, για την οποία η ανεμογεννήτρια διακόπτει τη λειτουργία της για λόγους ασφαλείας.

### ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Έχοντας ως δεδομένη την παραχθείσα ωριαία χρονοσειρά της ταχύτητας του ανέμου, χρονικού εύρους 100 ετών (Κεφάλαιο 4), βρίσκεται, για κάθε τιμή της ταχύτητας του ανέμου, η αποδιδόμενη ισχύς της ανεμογεννήτριας μέσω της καμπύλης ισχύος της. Ακολουθώντας την απλοποιητική παραδοχή, για λόγους ευκολίας των υπολογισμών, ότι ο άνεμος πνέει με τη δεδομένη ταχύτητα για χρονικό διάστημα μίας ώρας, υπολογίζεται η ωριαία παραγόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να σημειωθεί ότι η μετρήσεις που ελήφθησαν για την εξαγωγή της ωριαίας χρονοσειράς 100 ετών της ταχύτητας του ανέμου, είναι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικό υψόμετρο από το υψόμετρο της ανεμογεννήτριας. Έτσι για τον σωστό υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από την ανεμογεννήτρια είναι πρώτα αναγκαίο να γίνει η αναγωγή της ταχύτητας του ανέμου στο υψόμετρο της ανεμογεννήτριας. Αυτή η αναγωγή γίνεται μέσω της παρακάτω σχέσης [24]:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\ln\left(\frac{Z_2}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_1}{Z_0}\right)} \quad (5.1)$$

Όπου:

$V_2$ , είναι η ταχύτητα του ανέμου στο υψόμετρο της ανεμογεννήτριας

$V_1$ , είναι η ταχύτητα του ανέμου στο υψόμετρο που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις

$Z_2$ , είναι το υψόμετρο της ανεμογεννήτριας, το οποίο για το μοντέλο ανεμογεννήτριας που επιλέχθηκε στην Αστυπάλαια είναι ίσο με 75 m

$Z_1$ , είναι το υψόμετρο στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις του ανέμου και το οποίο θεωρήθηκε ίσο με 3 m

$Z_0$ , είναι παράμετρος που εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους στο οποίο πνέει ο άνεμος και η οποία θεωρήθηκε ίση με 0.02 m με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 5.1 και με δεδομένο ότι στην Αστυπάλαια η βλάστηση είναι θαμνώδης και ποώδης και επομένως δεν ξεπερνάει σε ύψος τα 50 cm

Πίνακας 5.1: Τυπικές τιμές της παραμέτρου τραχύτητας  $Z_0$  για διάφορες φυσικές επιφάνειες, [24]

Πάγος	0.001
Ασφαλτοστρωμένη επιφάνεια	0.002
Υδάτινη επιφάνεια	0.01-0.06
Χλόη ύψους μέχρι 1cm	0.1
Χλόη ύψους μέχρι 1-10 cm	0.1-0.2
Χλόη-σιτηρά ύψους 10-50 cm	2-5
Φυτοκάλυψη ύψους 1-2 m	20
Δένδρα ύψους 10-15 m	40-70

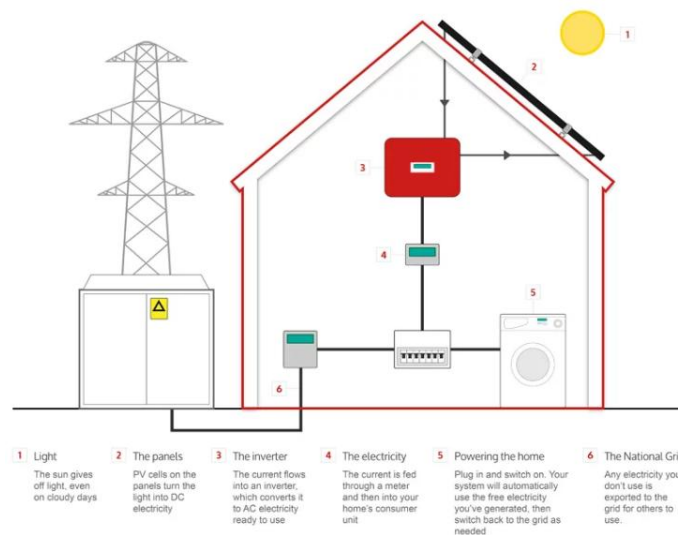
## 5.2.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

### ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

Για την αξιοποίηση της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας στην Αστυπάλαια, η οποία όπως και γενικότερα στη χώρα μας, κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα, τόσο την καλοκαιρινή όσο και την χειμερινή περίοδο, χρησιμοποιήθηκαν φωτοβολταϊκά πλαίσια. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ανάλογα με το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένα τα «ηλιακά κελιά» που φέρουν, διακρίνονται σε 4 τύπους: τα πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου, πολυκρυσταλλικού πυριτίου, άμορφου πυριτίου και χαλκοπυρητών.

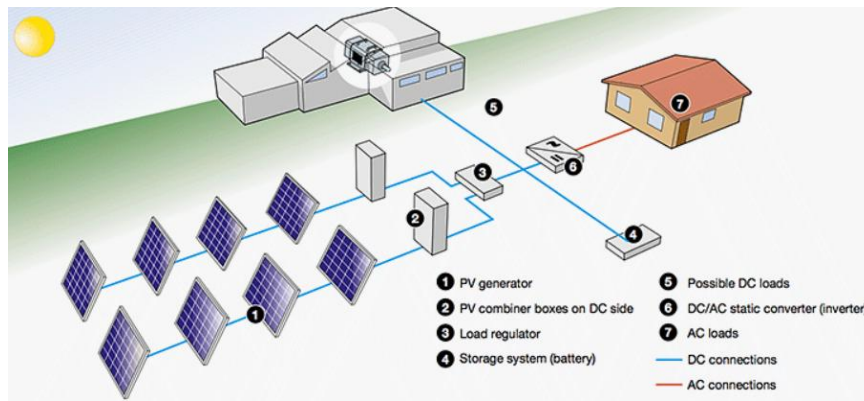
Ο πιο διαδεδομένος και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τύπος φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι τα πλαίσια από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο. Η ευρεία χρήση τους στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξηγείται από το γεγονός ότι επιτυγχάνουν έναν ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης, της τάξης του 13 - 16%, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι είναι σημαντικά φθηνότερα σε σύγκριση με τα πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυρίτιου που επιτυγχάνουν λίγο μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, περίπου 15 - 18%. Τα πλαίσια άμορφου πυρίτιου επιτυγχάνουν πολύ χαμηλό βαθμό απόδοσης, της τάξης του 6 - 8%, ενώ τα πλαίσια χαλκοπυριτών αν και επιτυγχάνουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης που φτάνουν μέχρι και 22%, είναι πολύ ακριβά [4].

Στην Εικόνα 5.3 παρουσιάζονται τα βασικά μέρη μιας οικιακής εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων.



Εικόνα 5.3: Βασικά μέρη οικιακής εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων (Πηγή: [evoenergy.co.uk](http://evoenergy.co.uk))

Στην Εικόνα 5.4 παρουσιάζεται η πορεία που ακολουθείται για την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ένα φωτοβολταϊκό πάρκο, από τη στιγμή που η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια των πλαισίων μέχρι την παροχή και διανομή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.

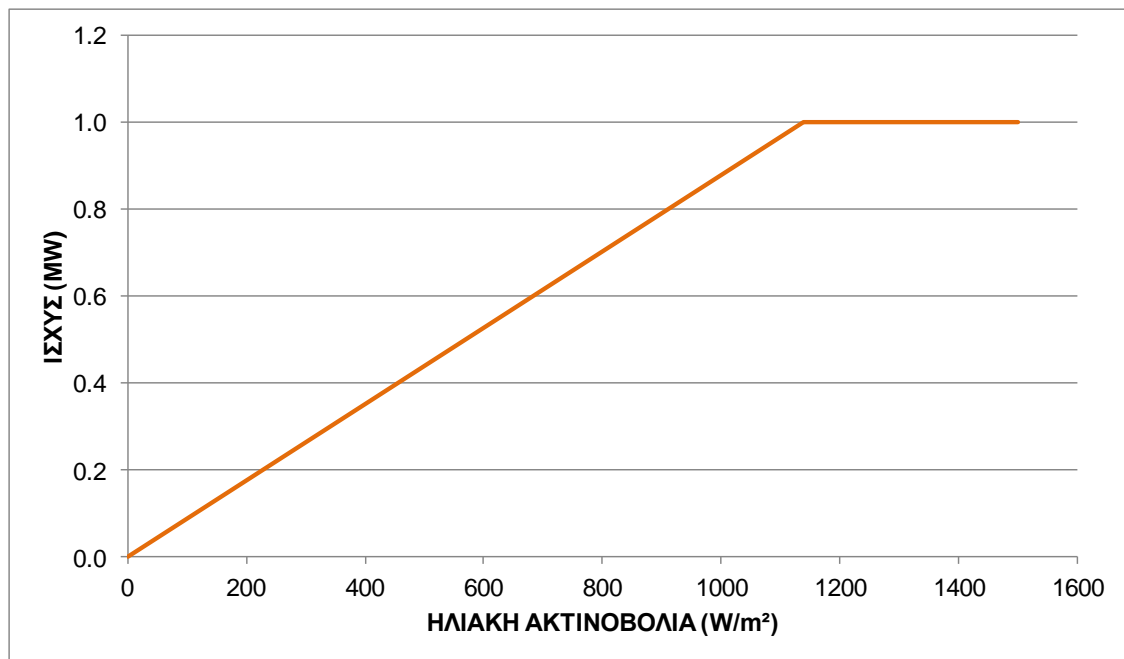


Εικόνα 5.4: Πορεία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ένα φωτοβολταϊκό πάρκο  
(Πηγή: electrical-engineering-portal.com)

### ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΙΣΧΥΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Όπως και οι ανεμογεννήτριες, έτσι και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια διακρίνονται από το διάγραμμα ισχύος τους. Το διάγραμμα ισχύος ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου απεικονίζει την αποδιδόμενη ισχύ του συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό και προσδιορίζεται από τον κατασκευαστή του. Από το διάγραμμα ισχύος κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου μπορεί εύκολα να κατασκευαστεί το διάγραμμα ισχύος ενός φωτοβολταϊκού πάρκου.

Η μορφή ενός τυπικού διαγράμματος ισχύος φωτοβολταϊκού πάρκου εγκατεστημένης ισχύος 1 MW<sub>p</sub> (ενδεικτική τιμή), φαίνεται παρακάτω στο Διάγραμμα 5.3. Το διάγραμμα αυτό είναι απλοποιημένο σε σχέση με την πραγματικότητα και αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι η αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος μέχρι η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας να φτάσει τα 1100 W/m<sup>2</sup>, στην οποία τα πλαίσια του πάρκου αποδίδουν τη μέγιστη ισχύ τους, δηλαδή το 1 MW, είναι γραμμική. Για τις τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας που ξεπερνούν τα 1138 W/m<sup>2</sup> τα φωτοβολταϊκά πλαίσια εξακολουθούν να αποδίδουν τη μέγιστη ισχύ τους.



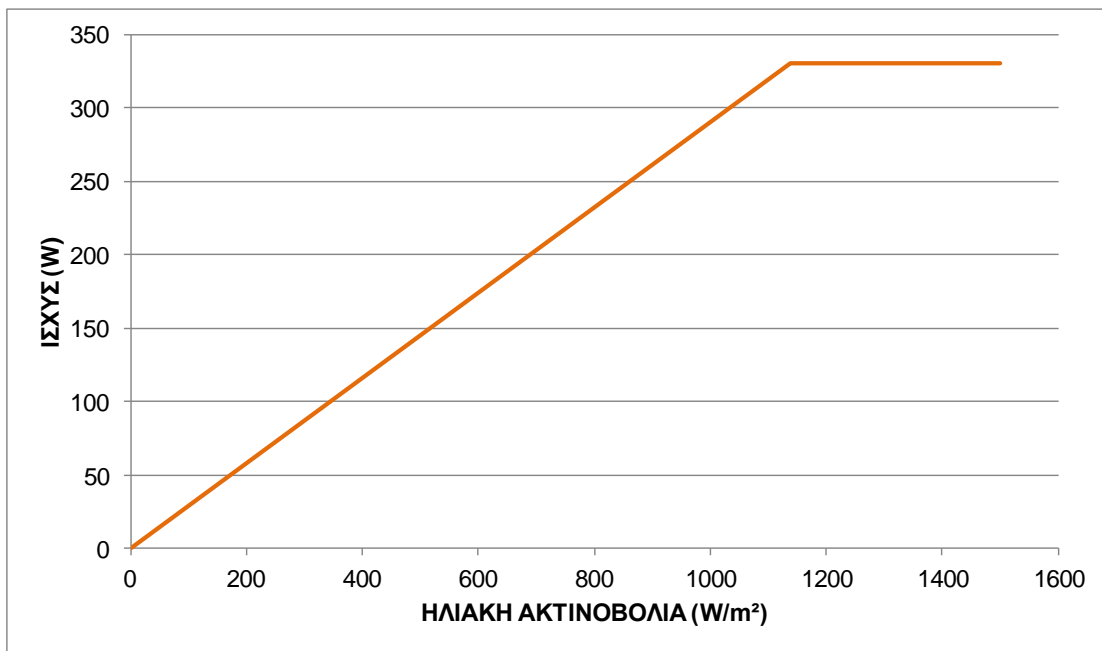
Διάγραμμα 5.3: Τυπικό διάγραμμα ισχύος φωτοβολταϊκού πάρκου εγκατεστημένης ισχύος 1 MWp (ενδεικτική τιμή)

#### ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Για το υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εξετάστηκε, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκαν φωτοβολταϊκά πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου, κάθε ένα από τα οποία έχει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά [4] και διάγραμμα ισχύος που φαίνεται στο Διάγραμμα 5.4:

- Επιφάνεια: 1.611 m<sup>2</sup>
- Εγκατεστημένη ισχύς: 330 W
- Απαιτούμενη επιφάνεια: 10 m<sup>2</sup>/εγκατεστημένο kW
- Βαθμός απόδοσης: 15 %
- Βάρος: 18.6 kg
- Θερμικός συντελεστής ισχύος: -0.44 %/°C





Διάγραμμα 5.4: Διάγραμμα ισχύος του φωτοβολταϊκού πλαισίου το οποίο επιλέχθηκε για την κατασκευή του φωτοβολταϊκού πάρκου στην Αστυπάλαια

#### ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

Έχοντας ως δεδομένη την παραχθείσα ωριαία χρονοσειρά της ηλιακής ακτινοβολίας, χρονικού εύρους 100 ετών (Κεφάλαιο 4), βρίσκεται, για την κάθε τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας, η αποδιδόμενη ισχύς του φωτοβολταϊκού πάρκου μέσω του διαγράμματος ισχύος του. Ακολουθώντας, κάνοντας την απλοποιητική θεώρηση, ότι η ηλιακή ακτινοβολία παραμένει σταθερή για το χρονικό διάστημα της μίας ώρας, αλλά και ότι η επίδραση της θερμοκρασίας είναι αμελητέα στην απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, καθώς αυτό θα απαιτούσε επιπλέον την παραγωγή της ωριαίας χρονοσειράς της θερμοκρασίας, εύρους 100 ετών και θα περιέπλεκε ακόμα περισσότερο τους υπολογισμούς, υπολογίζεται η ωριαία παραγόμενη, από το φωτοβολταϊκό πάρκο, ενέργεια.

## 5.2.3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

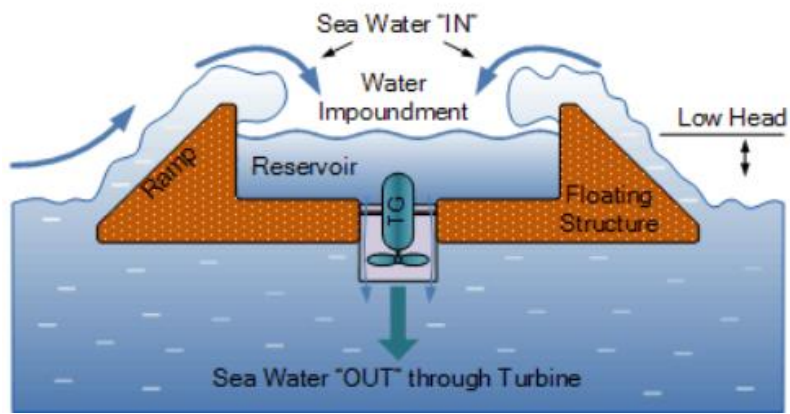
### ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για την αξιοποίηση του διαθέσιμου δυναμικού της θαλάσσιας ενέργειας που διαθέτει η Αστυπάλαια, χρησιμοποιήθηκε διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα κύματα. Η Αστυπάλαια, ούσα ένα απομακρυσμένο νησί του Αιγαίου έχει βασικά πλεονεκτήματα που καθιστούν το κυματικό της δυναμικό εξαιρετικά ικανό προς αξιοποίηση και γι' αυτό στο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας του νησιού της Αστυπάλαιας εξετάστηκε και η συνεισφορά μίας διάταξης αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή.

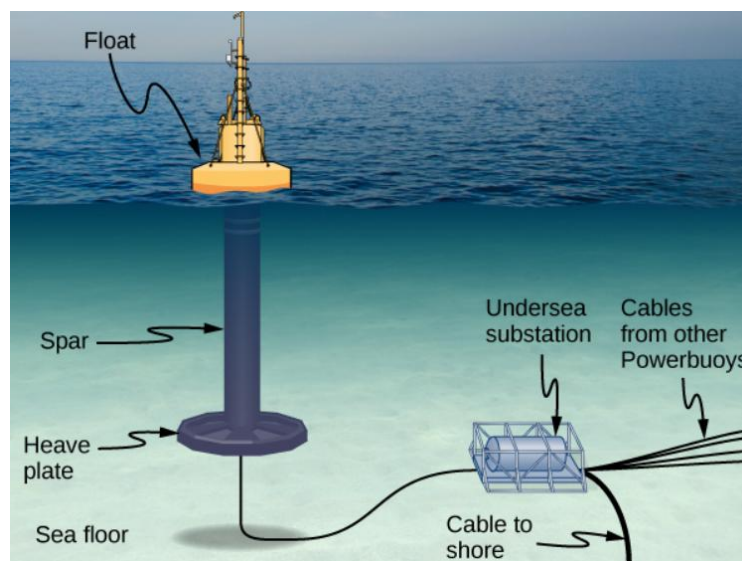
Υπάρχουν τρεις βασικές μορφές της θαλάσσιας ενέργειας που μπορούν να αξιοποιηθούν από την υπάρχουσα τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη θάλασσα: η ενέργεια από τα κύματα, από τις παλίρροιες και από τις θερμοκρασιακές μεταβολές της θάλασσας. Η πιο ενεργειακά πυκνή μορφή θαλάσσιας ενέργειας από τις τρεις είναι η ενέργεια των κυμάτων.

Αυτός είναι και ο λόγος που οι διατάξεις παραγωγής ενέργειας που αξιοποιούν την ενέργεια των κυμάτων είναι αυτές που επιτυγχάνουν και τους υψηλότερους βαθμούς απόδοσης σε σχέση με τις διατάξεις που αξιοποιούν τις άλλες δύο μορφές θαλάσσιας ενέργειας. Ο υψηλός βαθμός απόδοσης, σε συνδυασμό με το χαμηλότερο κατ' αναλογία κόστος εγκατάστασης, συντήρησης και σύνδεσης των εν λόγω διατάξεων στο δίκτυο είναι που τις καθιστά και πιο προτιμητέες για την αξιοποίηση της θαλάσσιας ενέργειας. Οι διατάξεις εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας χωρίζονται σε 4 βασικές κατηγορίες, ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιούν για τη «συλλογή» της ενέργειας: τις διατάξεις υπερπήδησης - ανύψωσης (Overtopping devices), τους σημειακούς «απορροφητές» (Power buoy), τους «εξασθενητές» κυματισμών (Wave attenuator) και τους ταλαντευόμενους μετατροπείς κυματικών κλυδωνισμών (Oscillating wave surge converters) [4].

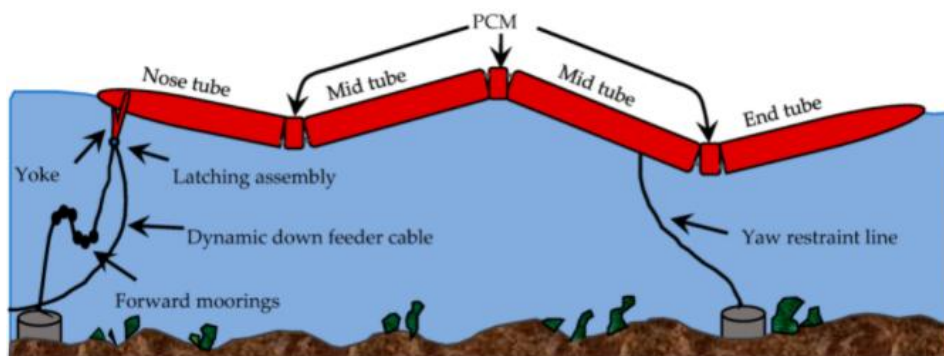
Στις παρακάτω 4 εικόνες φαίνονται τα βασικά μέρη κάθε μιας εκ των παραπάνω διατάξεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εκμεταλλεύεται την ενέργεια των κυμάτων.



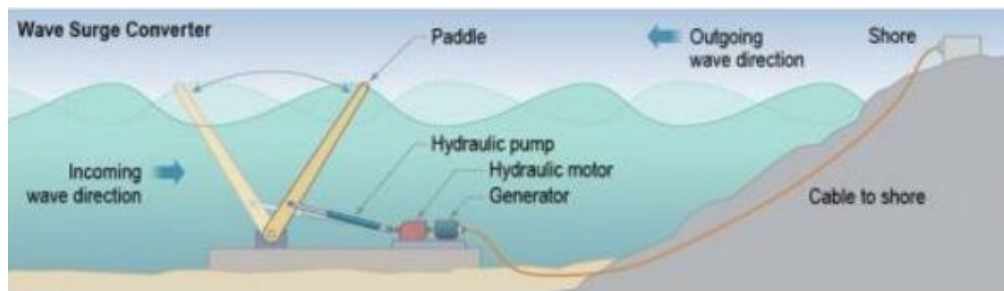
Εικόνα 5.5: Βασικά μέρη διάταξη υπερπήδησης - ανύψωσης (Wave dragon overtopping device) (Πηγή: [alternative-energy-tutorials.com](http://alternative-energy-tutorials.com))



Εικόνα 5.6: Βασικά μέρη σημειακού απορροφητή (Power buoy) (Πηγή: [phys.libretexts.org](http://phys.libretexts.org))



Εικόνα 5.7: Βασικά μέρη εξασθενητή κυματισμών (Wave attenuator) (Πηγή: [researchgate.net](http://researchgate.net))



Εικόνα 5.8: Βασικά μέρη διάταξης ταλαντευόμενου μετατροπέα κυματικών κλυδωνισμών (Oscillating wave surge converter), [25]

### ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για το υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας της Αστυπάλαιας επιλέχθηκε να εγκατασταθεί μία διάταξη υπερπήδησης - ανύψωσης για την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας. Αυτή η επιλογή έγινε διότι οι διατάξεις που χρησιμοποιούν αυτήν την τεχνολογία έχουν τη δυνατότητα της αποθήκευσης ορισμένου όγκου θαλασσινού νερού στις δεξαμενές που διαθέτουν, το οποίο παροχετεύουν στον υδροστρόβιλο της εγκατάστασης για την παραγωγή ενέργειας. Η αποθήκευση του θαλασσινού νερού έχει πολλαπλά οφέλη που αφορούν τόσο στη μείωση της αβεβαιότητας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας τον κίνδυνο για ενδεχόμενα προβλήματα στο δίκτυο διανομής της παραγόμενης ενέργειας του νησιού, όσο και στη συνεισφορά στην κάλυψη των ενεργειακών αιχμών του καλοκαιριού, πράγμα που αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για το σύστημα παραγωγής ενέργειας ενός τουριστικού προορισμού, όπως είναι η Αστυπάλαια, που διακρίνεται από έντονη αύξηση της ενεργειακής ζήτησης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Επίσης, οι διατάξεις υπερπήδησης - ανύψωσης κυμάτων, λόγω της φύσης της λειτουργίας τους, αλλά και λόγω της κατασκευής τους συνεισφέρουν δραστικά στην προστασία της ακτής μέσω της απορρόφησης της ενέργειας των προσπιπτόντων κυματισμών [26]. Τέλος, από τη λεπτομερή οικονομική σύγκριση μίας διάταξης υπερπήδησης (SSG) και μίας διάταξης απορρόφησης κυματισμών (Wave Star) στην περιοχή της Αστυπάλαιας, προέκυψε το συμπέρασμα ότι το συνολικό κόστος εγκατάστασης της διάταξης υπερπήδησης είναι μικρότερο, συγκριτικά με το αντίστοιχο κόστος της διάταξης απορρόφησης κυματισμών [26].

Πιο συγκεκριμένα, η διάταξη υπερπήδησης - ανύψωσης που επιλέχθηκε για το παρόν υβριδικό σύστημα ενέργειας διαθέτει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά [4]:

- Βαθμό απόδοσης, κατά την ηλεκτροπαραγωγή, ίσο με 32%
- Μήκος 125 m
- Ύψος της ράμπας ανύψωσης ίσο με 1 m από την επιφάνεια της θάλασσας

## ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ

Ο υπολογισμός της ενέργειας που μεταφέρει κάθε κυματισμός έγινε με τη χρήση της παρακάτω σχέσης που υπολογίζει τη ροή ενέργειας ανά μήκος κύματος του κυματισμού [27]:

$$P = \frac{\rho g^2 T H^2}{32 \pi} \quad (5.2)$$

Όπου:

$P$ : είναι η ροή ενέργειας ανά μήκος κύματος του προσπίπτοντος κυματισμού σε W/m

$\rho$ : είναι η πυκνότητα του θαλασσινού νερού και ελήφθη ίση με  $1025 \text{ kg/m}^3$

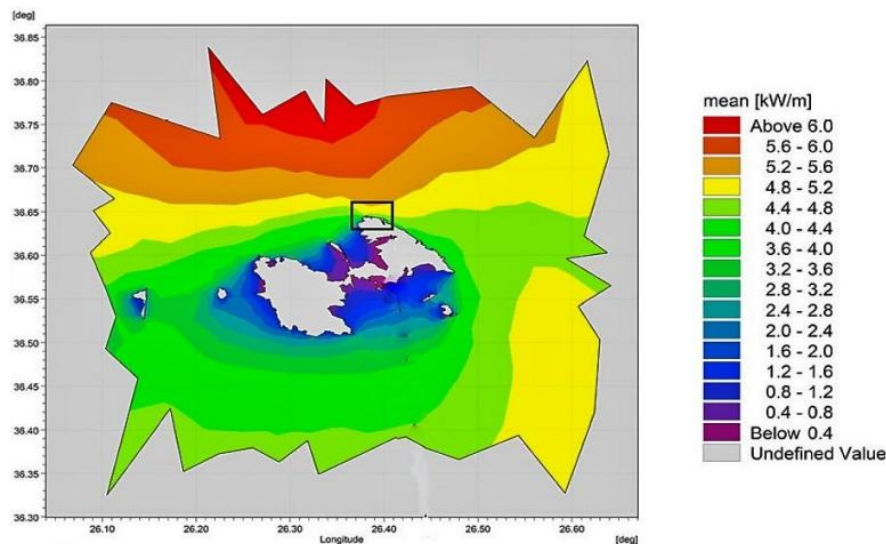
$g$ : είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και είναι ίση με  $9.81 \text{ m/s}^2$

$T$ : είναι η περίοδος του κύματος, σε s

$H$ : είναι το ύψος του κύματος στα βαθιά νερά, σε m

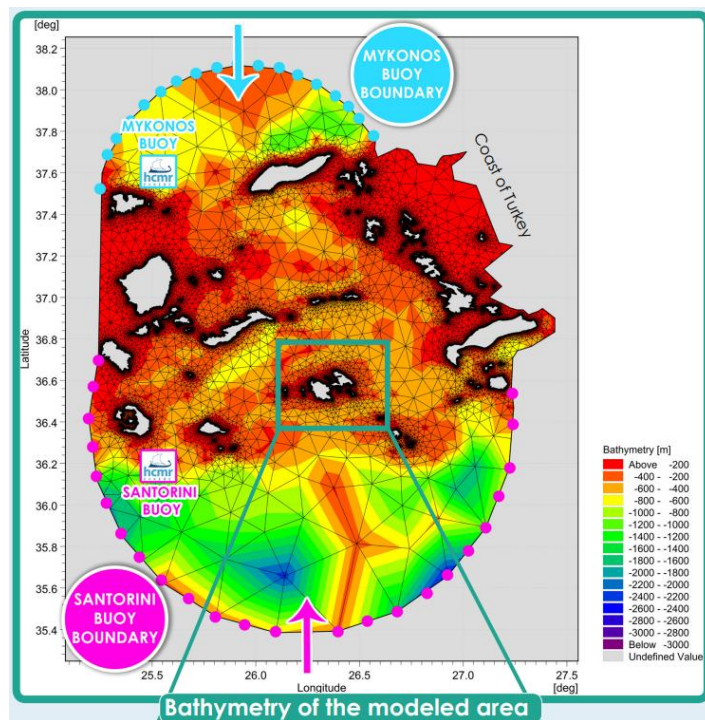
Με δεδομένες τις παραχθείσες ωριαίες χρονοσειρές της περιόδου  $T$  και του ύψους του κύματος στα βαθιά νερά  $H$  (Κεφάλαιο 4), εύρους 100 ετών, υπολογίζεται με τη χρήση του παραπάνω τύπου η ωριαία ροή ενέργειας ανά μήκος κύματος, με την παραδοχή ότι τα δύο αυτά χαρακτηριστικά του κυματισμού δεν μεταβάλλονται μέσα στη χρονική διάρκεια της μίας ώρας και με την παραδοχή ότι η διάταξη υπερπήδησης - ανύψωσης είναι εγκατεστημένη στα βαθιά νερά για τα οποία ισχύει η σχέση  $d/L_0 \geq 0.5$ , μεταξύ βάθους πυθμένα της θάλασσας  $d$  και μήκους κύματος στα βαθιά  $L_0$ .

Η τοποθεσία εγκατάστασης της διάταξης παραγωγής ενέργειας αποτελεί ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης ανάμεσα στην παραγόμενη ενέργεια, που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των κυματισμών (ύψος, περίοδος, μήκος κύματος) στην περιοχή της εγκατάστασης και από το κόστος σύνδεσης της διάταξης με το υφιστάμενο δίκτυο του νησιού, το κόστος εγκατάστασής της και το κόστος για την συντήρησή της. Λόγω του πολυπαραμετρικού χαρακτήρα του παραπάνω προβλήματος βελτιστοποίησης δεν δόθηκε μεγάλη λεπτομέρεια στην επιλογή τοποθεσίας της διάταξης παραγωγής ενέργειας από τα κύματα, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Παρόλα αυτά η περιοχή που πληροί ταυτόχρονα το κριτήριο της υψηλής δυναμικά παραγόμενης ενέργειας και το κριτήριο της μικρότερης κατά το δυνατό απόστασης από την ακτή της Αστυπάλαιας, βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του νησιού [10] και φαίνεται στην Εικόνα 5.9.



Εικόνα 5.9: Βέλτιστο σημείο τοποθέτησης της εγκατάστασης υπερπήδησης κυματισμών στην περιοχή της Αστυπάλαιας, [10]

Η παραδοχή πως η διάταξη υπερπήδησης βρίσκεται εγκατεστημένη σε βαθιά νερά έγινε λόγω του γεγονότος ότι τα βάθη του πυθμένα της θάλασσας στο σημείο που προκρίνεται ως το βέλτιστο για την εγκατάσταση της διάταξης είναι αρκετά μεγάλα σε μικρή σχετικά απόσταση από την ακτή. Αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι μια τέτοια διάταξη παραγωγής ενέργειας από τα κύματα, λόγω του όγκου της, αλλά και του θορύβου που μπορεί να παράγει, δεν μπορεί να εγκατασταθεί σε παράκτιο μέρος, με ρηχά δηλαδή νερά, ενός τουριστικού νησιού όπως είναι η Αστυπάλεια, σημαίνει ότι η πιθανότητα να συναντήσουν οι προσπίπτοντες στη διάταξη υπερπήδησης κυματισμοί βαθιά νερά είναι πολύ αυξημένη και συνεπώς η παραπάνω παραδοχή της ύπαρξης βαθέων υδάτων είναι εύλογη. Στην Εικόνα 5.10 φαίνεται η βυθομετρία στην περιοχή της Αστυπάλαιας στον οποίο διαπιστώνεται το μεγάλο βάθος του πυθμένα της θάλασσας σε μικρή απόσταση από τις βόρειες ακτές του νησιού, που είναι και το βέλτιστο σημείο για την κατασκευή της διάταξης υπερπήδησης - ανύψωσης κυμάτων.



Εικόνα 5.10: Βυθομετρία στην ευρύτερη περιοχή της Αστυπάλαιας, [10]

Για τον υπολογισμό της συνολικής ενέργειας που μεταφέρεται σε μήκος ενός μήκους κύματος, υπολογίστηκε το μήκος κύματος στα βαθιά για κάθε ωριαία τιμή της περιόδου  $T$ , με τη χρήση της σχέσης [27]:

$$L_0 = \frac{g T^2}{2 \pi} \quad (5.3)$$

Όπου:

$L_0$ : είναι το μήκος κύματος στα βαθιά νερά, σε m

$g$ : είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και είναι ίση με  $9.81 \text{ m/s}^2$

$T$ : είναι η περίοδος του κύματος, σε s

Με τον υπολογισμό και του μήκους κύματος, υπολογίζεται και η συνολική ωριαία ποσότητα ενέργειας που φτάνει στην διάταξη υπερπήδησης - ανύψωσης, ως το γινόμενο μεταξύ της ροής ενέργειας ανά μήκος κύματος  $P$  (Σχ. 5.2) επί το μήκος του κυματισμού στα βαθιά νερά  $L_0$  (Σχ. 5.3). Από αυτήν την ποσότητα η διάταξη αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας που επελέγη να εγκατασταθεί μπορεί να αξιοποιήσει το 32% για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση τα δεδομένα που παρέχει ο κατασκευαστής για τον βαθμό απόδοσής της. Επομένως, η τελική ωριαία παραγόμενη ενέργεια από τη διάταξη υπερπήδησης προκύπτει από το γινόμενο της συνολικής ενέργειας των κυματισμών που

φτάνουν στην εγκατάσταση επί το βαθμό απόδοσης αυτής κατά την ηλεκτροπαραγωγή, σύμφωνα με τη σχέση:

$$E_w = \frac{P}{1000} L_0 n_{wod} \quad (5.4)$$

Όπου:

$E_w$ , είναι η ενέργεια που παράγεται από τη διάταξη υπερπήδησης, σε kWh

$L_0$ : είναι το μήκος κύματος στα βαθιά νερά, σε m

$P$ : είναι η ροή ενέργειας ανά μήκος κύματος του προσπίπτοντος στη διάταξη κυματισμού σε W/m

$n_{wod}$ , είναι ο βαθμός απόδοσης της επιλεγείσας διάταξης υπερπήδησης και ισούται με 32%



## 5.2.4 ΜΟΝΑΔΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (CHP) ΜΕ ΚΑΥΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Λόγω της κτηνοτροφικής δραστηριότητας που υπάρχει στο νησί της Αστυπάλαιας, κρίθηκε σκόπιμο να εισαχθεί στο μείγμα του υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εξετάστηκε για το νησί, μια μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - θερμότητας (CHP, Combined Heat and Power) που θα λειτουργεί με την αξιοποίηση βιοαερίου. Αυτό έγινε για να μπορέσει να διερευνηθούν, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η ενδεχόμενη συνεισφορά του βιοαερίου που παράγεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες από τα απόβλητα των ζώων στην κάλυψη μέρους της ενεργειακής ζήτησης του νησιού, αλλά και οι δυνατότητες αξιοποίησης και συνεισφοράς του κτηνοτροφικού δυναμικού της Αστυπάλαιας για ηλεκτροπαραγωγή. Τα δύο κύρια μέρη της μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας που εξετάστηκε είναι ο αναερόβιος χωνευτής, στον οποίο παράγεται το βιοαέριο μέσω των βιοχημικών διεργασιών της αναερόβιας χώνευσης των κτηνοτροφικών αποβλήτων και η μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας μέσω της καύσης του βιοαερίου σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης. Συμπληρωματικά στις παραπάνω δύο κύριες διατάξεις της εγκατάστασης υπάρχουν και διατάξεις καθαρισμού των εισερχόμενων λυμάτων και του παραγόμενου βιοαερίου που δεν εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας από τεχνικής πλευράς, παρά μόνο στον υπολογισμό του συνολικού κόστους της εγκατάστασης.

### 5.2.4.1 ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΣ ΧΩΝΕΥΤΗΣ

Ο αναερόβιος χωνευτής είναι μια κλειστή κυλινδρική δεξαμενή εξοπλισμένη με σύστημα τροφοδοσίας, θέρμανσης και μίξης του υγρού μείγματος αποβλήτων και νερού που ονομάζεται ιλύς, αλλά και με σύστημα απαγωγής τόσο της χωνεμένης ιλύος που παράγεται από τα κτηνοτροφικά απόβλητα, όσο και του παραγόμενου αερίου μείγματος μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) και διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) [28].

Στη δεξαμενή αυτή, επικρατούν συνθήκες πλήρους απουσίας οξυγόνου και είναι το μέρος στο οποίο γίνεται η διάσπαση των οργανικών στερεών που περιέχονται στα απόβλητα, σε δύο βασικά στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι η μετατροπή των οργανικών στερεών των αποβλήτων σε οργανικά οξέα. Στο στάδιο αυτό αναερόβιοι μικροοργανισμοί μετατρέπουν τις πολύπλοκες οργανικές ενώσεις σε απλά οργανικά οξέα. Το δεύτερο στάδιο είναι η παραγωγή μεθανίου από τη διάσπαση των οργανικών οξέων. Στο στάδιο αυτό μια άλλη κατηγορία μικροοργανισμών, που ονομάζονται μεθανογενείς και που αναπτύσσονται και δρουν κάτω από αυστηρά αναερόβιες συνθήκες, μετατρέπουν τα οργανικά οξέα που δημιουργήθηκαν στο

πρώτο στάδιο σε μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Το αέριο αυτό μείγμα ονομάζεται βιοαέριο και η σύστασή του είναι κατά 60 - 70% μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και κατά 30 - 40% διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Το βιοαέριο έχει σημαντική ενεργειακή αξία που ισούται με περίπου  $5500 \text{ kcal/m}^3$  [28].

Έχει παρατηρηθεί ότι η ταχύτητα της αναερόβιας διάσπασης των οργανικών στερεών των αποβλήτων και η παραγωγή βιοαερίου, που είναι εν γένει χαμηλή, αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση της θερμοκρασίας των αποβλήτων. Συγκεκριμένα έχουν βρεθεί δυο περιοχές θερμοκρασιών στις οποίες η ανάπτυξη των μικροοργανισμών παραγωγής μεθανίου γίνεται υπό βέλτιστες συνθήκες. Η πρώτη περιοχή θερμοκρασιών είναι μεταξύ 30 - 35 °C και η δεύτερη είναι μεταξύ 50 - 55 °C. Όταν η θερμοκρασία των αποβλήτων στον χωνευτή είναι στην πρώτη περιοχή η χώνευση ονομάζεται μεσοφιλική, ενώ όταν η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι στη δεύτερη περιοχή η χώνευση ονομάζεται θερμοφιλική. Η συνηθέστερη πρακτική που ακολουθείτε είναι οι χωνευτές να λειτουργούν με μεσοφιλική χώνευση, καθώς αυτή εξασφαλίζει αύξηση στην ταχύτητα της αναερόβιας χώνευσης χωρίς όμως να απαιτούνται μεγάλες ποσότητες ενέργειας για τη θέρμανση των αποβλήτων που εισέρχονται στον χωνευτή [28].

Το κύριο πλεονέκτημα ενός αναερόβιου χωνευτή είναι πως το παραγόμενο σε αυτόν βιοαέριο είναι στις περισσότερες, αν όχι σε όλες τις περιπτώσεις, ικανό για να καλύψει τις ανάγκες του για θέρμανση και επιπλέον επαρκεί και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμα, η χωνεμένη ιλύς που περισσεύει στον χωνευτή μετά από κατάλληλη επεξεργασία που έχει σκοπό τη μείωση του όγκου του νερού που περιέχεται σε αυτήν και που ονομάζεται αφυδάτωση, μπορεί να διατεθεί για τη βελτίωση του εδάφους ως λίπασμα. Αυτό γιατί στην αφυδατωμένη ιλύ περιέχονται σημαντικές ποσότητες χρήσιμων, για την ανάπτυξη των φυτών, στοιχείων όπως ο φώσφορος (P), το άζωτο (N) και το μαγνήσιο (Mg) [28].

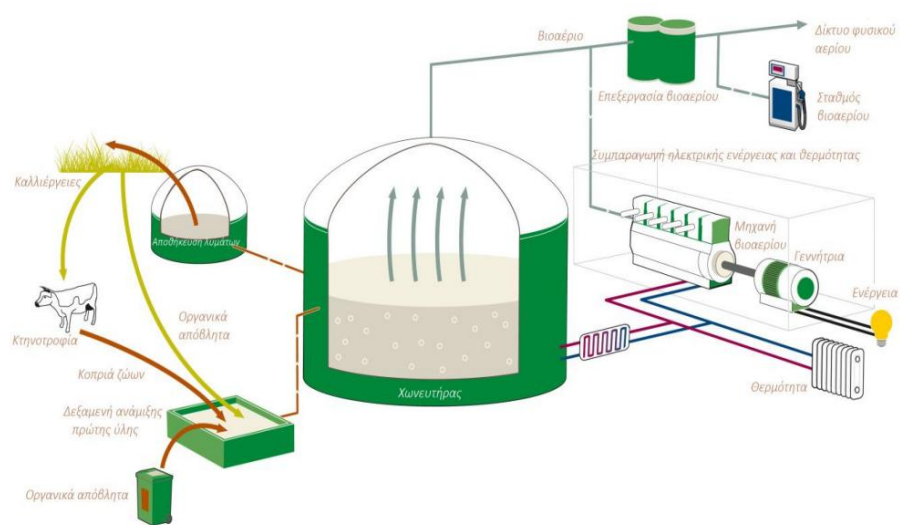
#### 5.2.4.2 ΜΗΧΑΝΗ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ - ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (CHP)

Η καύση του βιοαερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης. Αυτή η μηχανή εσωτερικής καύσης περιστρέφει μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Από τη μηχανή εσωτερικής καύσης παράγεται θερμότητα με τη μορφή ζεστού νερού το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί για την ψύξη της και με τη μορφή θερμών καυσαερίων που είναι τα παράγωγα της καύσης του βιοαερίου. Η προερχόμενη από τα καυσαέρια θερμότητα μπορεί να ανακτηθεί με τη βοήθεια εναλλακτών για την αύξηση της απόδοσης της μηχανής, ενώ το ζεστό νερό από την ψύξη της μηχανής μπορεί να αξιοποιηθεί

για την κάλυψη άλλων θερμικών απαιτήσεων, όπως η θέρμανση κτηρίων ή άλλων εγκαταστάσεων [28].

Η απόδοση κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μιας τέτοιας μηχανής εσωτερικής καύσης κυμαίνεται γύρω στο 40%, ενώ η θερμική της απόδοση κυμαίνεται γύρω στο 50%. Το υπόλοιπο 10 % της ενέργειας είναι οι ολικές απώλειες της μηχανής και των υπόλοιπων συστημάτων που συμμετέχουν στην ηλεκτροπαραγωγή.

Στην Εικόνα 5.11 φαίνεται μια τυπική μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας που λειτουργεί με την καύση του βιοαερίου που παράγεται τόσο από τα κτηνοτροφικά, όσο και από τα γεωργικά απόβλητα.

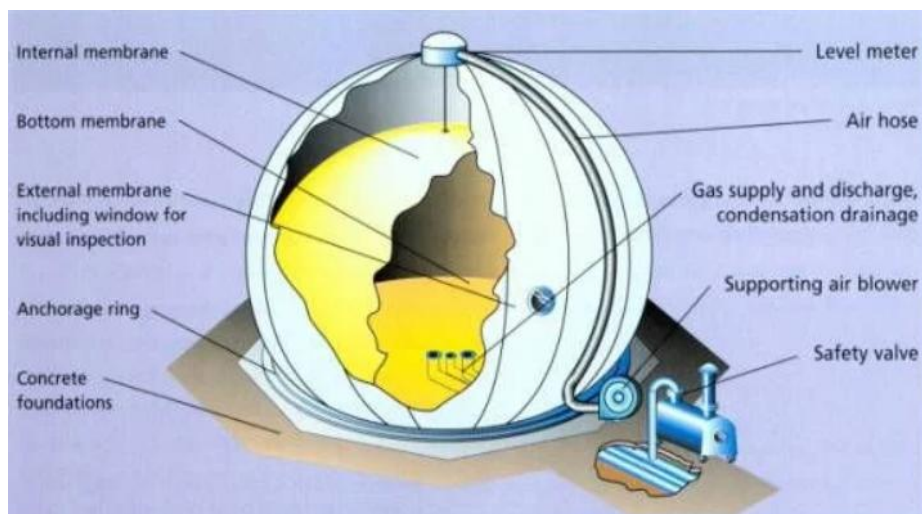


Εικόνα 5.11: Τυπική εγκατάσταση συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας (CHP) με αξιοποίηση βιοαερίου, [29]

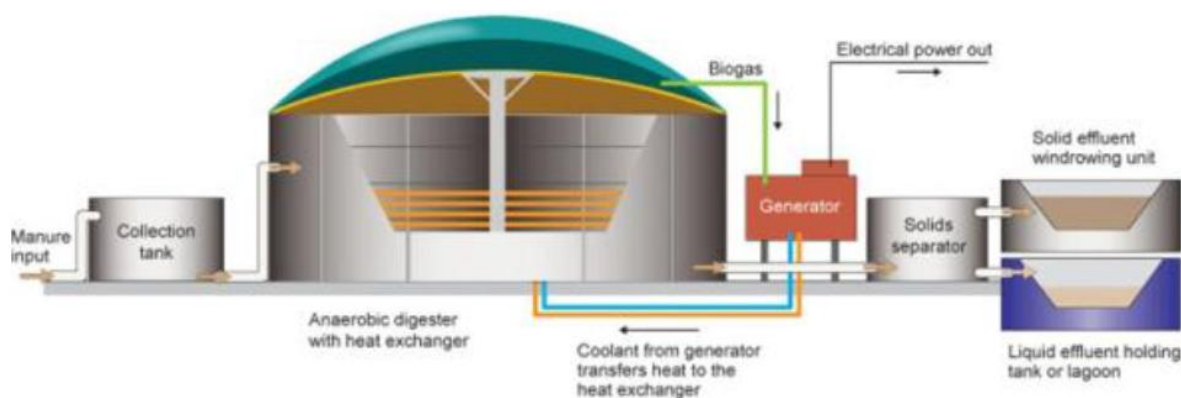
Εκτός όμως από τον αναερόβιο χωνευτή στον οποίο γίνονται οι απαραίτητες βιοχημικές διεργασίες για την παραγωγή του βιοαερίου και τη μονάδα καύσης του βιοαερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, αποφασίστηκε να αξιοποιηθεί και μια διάταξη αποθήκευσης βιοαερίου που ονομάζεται αεριοφυλάκιο βιοαερίου. Πρόκειται για μια σφαίρα ή έναν κύλινδρο που αποτελείται από διάφορα στρώματα μεμβρανών και στο οποίο διοχετεύεται και αποθηκεύεται υπό συνθήκες χαμηλής, μέσης ή υψηλής πίεσης, το παραγόμενο στον χωνευτή βιοαέριο, αφού πρώτα έχει υποστεί επεξεργασία για την απομάκρυνση του θείου (αποθείωση). Αυτή η διάταξη αποθήκευσης του παραγόμενου βιοαερίου μπορεί να είναι κατασκευασμένη είτε στην οροφή του αναερόβιου χωνευτή αντί για κάλυμμα είτε ξεχωριστά από αυτόν ως ανεξάρτητη κατασκευή [28].

Στην Εικόνα 5.12 φαίνεται ένα τυπικό αεριοφυλάκιο αποθήκευσης βιοαερίου που είναι κατασκευασμένο ανεξάρτητα από τον χωνευτή, ενώ στην Εικόνα 5.13 φαίνονται τα τυπικά

μέρη μιας εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας μέσω βιοαερίου με αεροφυλάκιο αποθήκευσης που είναι κατασκευασμένο στην οροφή ενός χωνευτή.



Εικόνα 5.12: Τυπικό αεροφυλάκιο βιοαερίου (Πηγή: bioenergyconsult.com)



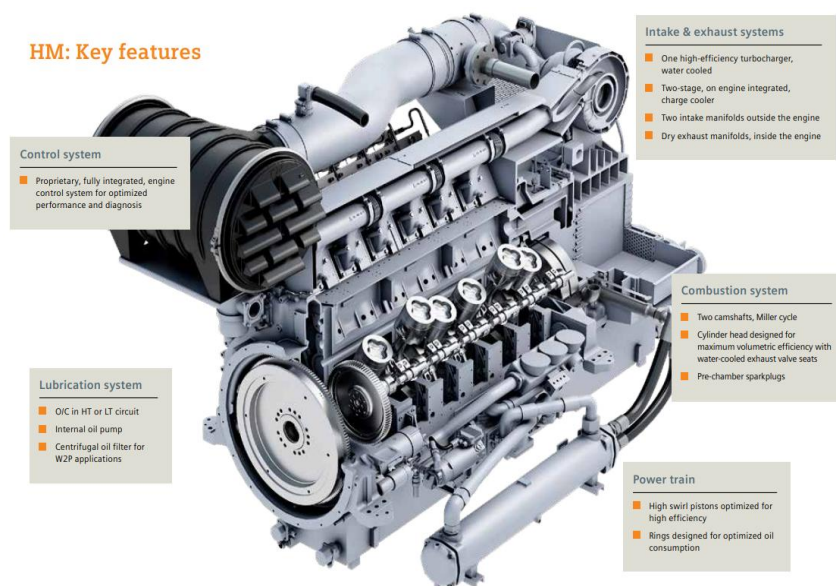
Εικόνα 5.13: Τυπική διάταξη εγκατάστασης βιοαερίου με αεροφυλάκιο κατασκευασμένο στην οροφή του χωνευτή (Πηγή: enameltank.com)

#### 5.2.4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΥΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Για την αξιοποίηση του παραγόμενου από τα κτηνοτροφικά απόβλητα βιοαερίου και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αυτό, επιλέχθηκε να τοποθετηθεί στην μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας (CHP) μια μηχανή καύσης βιοαερίου με τα παρακάτω χαρακτηριστικά (Εικόνα 5.14) [30]:

- Βαθμός απόδοσης κατά την ηλεκτροπαραγωγή ίσος με 41%
- Θερμικός βαθμός απόδοσης ίσος με 47%
- Απώλειες ίσες με 12%
- Συνολικός βαθμός απόδοσης ίσος με 88%

Στην Εικόνα 5.14 φαίνονται τα βασικά μέρη και τα κύρια χαρακτηριστικά της μηχανής καύσης βιοαερίου που επιλέχθηκε να τοποθετηθεί στη μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας (CHP).



Εικόνα 5.14: Τα κύρια μέρη και χαρακτηριστικά της επιλεγείσας, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια, μηχανής καύσης βιοαερίου (Πηγή: [assets.new.siemens.com](https://assets.new.siemens.com))

#### 5.2.4.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΕΡΟΒΙΟΥ ΧΩΝΕΥΤΗ

Ο υπολογισμός του όγκου του αναερόβιου χωνευτή γίνεται μέσω του υπολογισμού της συνολικής παραγόμενης ποσότητας των αποβλήτων των ζώων που εκτρέφονται στην οργανωμένη κτηνοτροφική μονάδα της οποίας τα απόβλητα οδηγούνται προς χώνευση. Όπως έχει αναφερθεί στο νησί εκτρέφονται πρόβατα και αίγες. Επομένως, για τις ανάγκες του υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας που εξετάστηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, θεωρήθηκε ότι αυτά θα είναι τα ζώα των οποίων τα απόβλητα θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας.

Τα δεδομένα για τον υπολογισμό του όγκου του αναερόβιου χωνευτή είναι:

- Ο συνολικός αριθμός ζώων (προβάτων και αιγών).
- Η ημερήσια ποσότητα αποβλήτων που παράγεται από τα πρόβατα και τις αίγες. Συγκεκριμένα θεωρήθηκε ότι από το κάθε πρόβατο παράγονται 3 kg αποβλήτων/d και από την κάθε αίγα 2.7 kg αποβλήτων/d [31].
- Η πυκνότητα των ζωικών αποβλήτων. Θεωρήθηκε ίση με  $400 \text{ kg/m}^3$ .

- Ο συντελεστής αραίωσης. Θεωρήθηκε ότι θα χρησιμοποιηθούν  $0.2 \text{ m}^3 \text{ νερού/m}^3$  αποβλήτων για την αραίωσή τους.
- Η θερμοκρασία λειτουργίας του χωνευτή και χρόνος παραμονής των αποβλήτων σε αυτόν. Επιλέχθηκε ο χωνευτής να είναι μεσοφιλικός, δηλαδή η θερμοκρασία των αποβλήτων σε αυτόν να είναι στους  $30 - 35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Με βάση αυτό έγινε και η επιλογή του χρόνου παραμονής των αποβλήτων στον χωνευτή,  $T_c=20 \text{ d}$  [28].
- Το ωφέλιμο ύψος του αναερόβιου χωνευτή που επελέγη ίσο με  $6 \text{ m}$  [28].

Η υπολογιστική διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη διαστασιολόγηση του αναερόβιου χωνευτή είναι η εξής:

Με δεδομένο τον αριθμό των ζώων (αριθμός προβάτων και αιγών), τα απόβλητα των οποίων θα κατευθυνθούν προς τον αναερόβιο χωνευτή, υπολογίζεται η συνολική ημερήσια ποσότητα των αποβλήτων που παράγεται από αυτά (σε  $\text{kg/d}$ ) με τη χρήση της σχέσης:

$$m_{\text{TMD}} = S m_{\text{SMD}} + G m_{\text{GMD}} \quad (5.5)$$

Όπου:

$S$ , είναι ο αριθμός των προβάτων

$G$ , είναι ο αριθμός των αιγών

$m_{\text{TMD}}$ , είναι τα συνολικά ημερήσια παραγόμενα ζωικά απόβλητα, σε  $\text{kg/d}$

$m_{\text{SMD}}$ , είναι τα συνολικά ημερήσια παραγόμενα απόβλητα των προβάτων, σε  $\text{kg/d}$

$m_{\text{GMD}}$ , είναι τα συνολικά ημερήσια παραγόμενα απόβλητα των αιγών, σε  $\text{kg/d}$

Υπολογίζεται η ημερήσια παροχή των αποβλήτων (σε  $\text{m}^3/\text{d}$ ), μέσω της πυκνότητας αυτών, από τη σχέση:

$$Q_{\text{MD}} = \frac{m_{\text{TMD}}}{\rho_{\text{TMD}}} \quad (5.6)$$

Όπου:

$Q_{\text{MD}}$ , είναι η ημερήσια παροχή των ζωικών αποβλήτων, σε  $\text{m}^3/\text{d}$

$m_{\text{TMD}}$ , είναι τα συνολικά ημερήσια παραγόμενα ζωικά απόβλητα, σε  $\text{kg/d}$

$\rho_{\text{TMD}}$ , είναι η πυκνότητα των ζωικών αποβλήτων, σε  $\text{kg/m}^3$

Υπολογίζεται η ημερήσια παροχή των αποβλήτων (σε  $\text{m}^3/\text{d}$ ) λαμβάνοντας υπόψη και την αραίωση που θα γίνει στα απόβλητα μετά την ανάμειξή τους με νερό, από τη σχέση:

$$Q_{\text{TMD}} = Q_{\text{MD}} c_D \quad (5.7)$$

Όπου:

$Q_{DM}$ , είναι η συνολική ημερήσια παροχή των ζωικών αποβλήτων μετά την αραίωσή τους με νερό, σε  $m^3/d$

$Q_{DM}$ , είναι η ημερήσια παροχή των ζωικών αποβλήτων πριν την αραίωση, σε  $m^3/d$

$C_D$ , είναι ο συντελεστής αραίωσης των αποβλήτων και ισούται με 1.2

Υπολογίζεται ο όγκος του χωνευτή μέσω του χρόνου παραμονής των αποβλήτων σε αυτόν, από τη σχέση:

$$V_{AD} = Q_{TMD} T_c \quad (5.8)$$

Όπου:

$V_{AD}$ , είναι ο όγκος του αναερόβιου χωνευτή, σε  $m^3$

$Q_{TMD}$ , είναι η συνολική ημερήσια παροχή των ζωικών αποβλήτων μετά την αραίωσή τους με νερό, σε  $m^3/d$

$T_c$ , είναι ο χρόνος παραμονής των ζωικών αποβλήτων στον αναερόβιο χωνευτή, σε d

Υπολογίζεται η διάμετρος του χωνευτή με δεδομένο ότι το βάθος του χωνευτή θα είναι ίσο με 6 m, από τη σχέση:

$$D_{AD} = \sqrt{\frac{4 V_{AD}}{\pi h_{AD}}} \quad (5.9)$$

Όπου:

$D_{AD}$ , είναι η διάμετρος του αναερόβιου χωνευτή, σε m

$V_{AD}$ , είναι ο όγκος του αναερόβιου χωνευτή, σε  $m^3$

$h_{AD}$ , είναι το ωφέλιμο ύψος του αναερόβιου χωνευτή, σε m

#### 5.2.4.5 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Το πρώτο βήμα για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας από το βιοαέριο είναι η εύρεση της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου. Στη συνέχεια απαιτείται ο υπολογισμός της απαιτούμενης ενέργειας για τη θέρμανση του αναερόβιου χωνευτή μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία και τέλος απαιτείται ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών του χωνευτή. Ο υπολογισμός της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση του χωνευτή έγινε με βάση τα δεδομένα του χειμώνα, που είναι και η δυσμενέστερη ενεργειακά εποχή όσον αφορά τις απαιτήσεις για θέρμανση, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν.

## ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του παραγόμενου βιοαερίου είναι:

- Η συνολική ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων (σε kg/d).
- Το ποσοστό των βιοδιασπάσιμων οργανικών στερεών (VSS) που περιέχονται στα απόβλητα κάθε ζώου. Εδώ συγκεκριμένα θεωρήθηκε ότι περίπου το 30% των αποβλήτων των προβάτων και περίπου το 55% των αποβλήτων των κατσικιών είναι οργανικά διασπώμενα στερεά [32].
- Το ποσοστό των οργανικών στερεών που διασπώνται στον αναερόβιο χώνευτή. Εδώ θεωρήθηκε ίσο με 50%, με δεδομένο ότι ο αναερόβιος χώνευτής επιλέχθηκε να λειτουργεί με μεσοφιλική χώνευση (30 - 35 °C) και ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων σε αυτόν επιλέχθηκε ίσος με 20 d [28].
- Η ποσότητα του βιοαερίου που παράγεται από τα οργανικά στερεά των αποβλήτων που διασπώνται για κάθε ζώο και που ελήφθη ίση με 0.37 m<sup>3</sup> παραγόμενου βιοαερίου/kg οργανικού υλικού που διασπάται για τα πρόβατα [33] και 0.37 m<sup>3</sup> παραγόμενου βιοαερίου/kg οργανικού υλικού που διασπάται για τις αίγες [34].

Η υπολογιστική διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

Υπολογίζεται η συνολική ποσότητα των βιοδιασπάσιμων οργανικών στερεών (σε kg VSS/d) που περιέχονται στα απόβλητα των προβάτων και των αιγών, μέσω των σχέσεων:

$$m_{TVSS,S} = S m_{SMD} VSS_S \quad (5.10)$$

$$m_{TVSS,G} = G m_{GMD} VSS_G \quad (5.11)$$

Όπου:

$m_{TVSS,S}$ , είναι το σύνολο των οργανικών βιοδιασπάσιμων στερεών στα απόβλητα των προβάτων, σε kg VSS/d

$m_{TVSS,G}$ , είναι το σύνολο των οργανικών βιοδιασπάσιμων στερεών στα απόβλητα των αιγών, σε kg VSS/d

$S$ , είναι ο αριθμός των προβάτων

$G$ , είναι ο αριθμός των αιγών

$m_{SMD}$ , είναι τα συνολικά ημερήσια παραγόμενα απόβλητα των προβάτων, σε kg/d

$m_{GMD}$ , είναι τα συνολικά ημερήσια παραγόμενα απόβλητα των αιγών, σε kg/d



$VSS_S$ , είναι το ποσοστό των οργανικών βιοδιασπάσιμων στερεών στα απόβλητα των προβάτων, που ισούται με 30%

$VSS_G$ , είναι το ποσοστό των οργανικών βιοδιασπάσιμων στερεών στα απόβλητα των αιγών, που ισούται με 55%

Υπολογίζεται η συνολική ποσότητα των οργανικών στερεών που διασπάστηκαν στον αναερόβιο χωνευτή (σε kg οργανικών στερεών/d), μέσω των σχέσεων:

$$m_{DVSS,S} = m_{TVSS,S} c_{AD} \quad (5.12)$$

$$m_{DVSS,G} = m_{TVSS,G} c_{AD} \quad (5.13)$$

Όπου:

$m_{DVSS,S}$ , είναι το σύνολο των οργανικών βιοδιασπάσιμων στερεών των αποβλήτων των προβάτων που διασπάστηκαν στον αναερόβιο χωνευτή, σε kg VSS/d

$m_{DVSS,G}$ , είναι το σύνολο των οργανικών βιοδιασπάσιμων στερεών των αποβλήτων των προβάτων που διασπάστηκαν στον αναερόβιο χωνευτή, σε kg VSS/d

$m_{TVSS,S}$ , είναι το σύνολο των οργανικών βιοδιασπάσιμων στερεών στα απόβλητα των προβάτων, σε kg VSS/d

$m_{TVSS,G}$ , είναι το σύνολο των οργανικών βιοδιασπάσιμων στερεών στα απόβλητα των αιγών, σε kg VSS/d

$c_{A.D.}$ , είναι ο συντελεστής διάσπασης των οργανικών βιοδιασπάσιμων στερεών στον αναερόβιο χωνευτή, που ισούται με 50%.

Υπολογίζεται η συνολική ημερήσια ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου (σε  $m^3$  παραγόμενου βιοαερίου/d), μέσω της σχέσης:

$$B_{tot} = m_{DVSS,S} B_S + m_{DVSS,G} B_G \quad (5.14)$$

Όπου:

$B_{tot}$ , είναι η συνολική ημερήσια παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου, σε  $m^3/d$

$m_{DVSS,S}$ , είναι το σύνολο των οργανικών βιοδιασπάσιμων στερεών των αποβλήτων των προβάτων που διασπάστηκαν στον αναερόβιο χωνευτή, σε kg VSS/d

$m_{TVSS,G}$ , είναι το σύνολο των οργανικών βιοδιασπάσιμων στερεών στα απόβλητα των αιγών, σε kg VSS/d

$B_S$ , είναι η ποσότητα του βιοαερίου που παράγεται από τα οργανικά στερεά που περιέχονται στα απόβλητα των προβάτων και διασπάστηκαν στον αναερόβιο χωνευτή, σε  $m^3$  παραγόμενου βιοαερίου/kg VSS που διασπάστηκε

$B_G$ , είναι η ποσότητα του βιοαερίου που παράγεται από τα οργανικά στερεά που περιέχονται στα απόβλητα των αιγών και διασπάστηκαν στον αναερόβιο χωνευτή, σε  $m^3$  παραγόμενου βιοαερίου/kg VSS που διασπάστηκε

### ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΧΩΝΕΥΤΗ

Τα δεδομένα για τον υπολογισμό της ενέργειας που απαιτείται για την θέρμανση του αναερόβιου χωνευτή είναι:

- Η ροή μάζας αποβλήτων. Δηλαδή η συνολική μάζα των αποβλήτων που εισέρχεται σε ημερήσια βάση στον χωνευτή μετά την αραίωσή τους με νερό (σε kg/d).
- Ειδική θερμοχωρητικότητα των αποβλήτων, η οποία θεωρήθηκε ίση με την ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού λόγω της περιπλοκότητας του υπολογισμού της ειδικής θερμοχωρητικότητας των αποβλήτων (σε kcal/kg °C).
- Θερμοκρασία των αποβλήτων τον χειμώνα (σε °C).
- Επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας του χωνευτή (σε °C), δεδομένου ότι αυτός θα είναι μεσοφιλικός.

Ο υπολογισμός της ημερήσιας απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση του χωνευτή τον χειμώνα γίνεται με βάση τον παρακάτω τύπο [28]:

$$Q_{\theta} = W C (T_1 - T_2) \quad (5.15)$$

Όπου:

$Q_{\theta}$ , είναι η ημερήσια απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση του χωνευτή, σε kcal/d

$W$ , είναι η ροή μάζας των αποβλήτων, σε kg/d

$C$ , είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα των αποβλήτων, που ελήφθη ίση με 1 kcal/kg °C

$T_1$ , είναι η επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας του χωνευτή που είναι ίση με 35 °C

$T_2$ : είναι η θερμοκρασία των αποβλήτων τον χειμώνα που θεωρήθηκε ίση με 16 °C

Επισημαίνεται σε αυτό το σημείο ότι η θέρμανση του χωνευτή θα γίνει με boiler το οποίο θα καίει βιοαέριο για να ζεστάνει νερό. Το ζεστό αυτό νερό θα διοχετεύεται σε εναλλάκτες θερμότητας που βρίσκονται εξωτερικά του χωνευτή και έχουν τη μορφή ομόκεντρων σωλήνων. Στον εσωτερικό σωλήνα ρέει η ιλύς η οποία επανακυκλοφορείται με τη βοήθεια αντλίας, ενώ στον εξωτερικό σωλήνα ρέει με αντίθετη κατεύθυνση το ζεστό νερό από το

boiler. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η θέρμανση της ιλύος έως την επιθυμητή θερμοκρασία [28].

### ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΧΩΝΕΥΤΗ

Τα δεδομένα για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών του αναερόβιου χωνευτή είναι:

- Η διάμετρος του χωνευτή (σε m).
- Το τμήμα του χωνευτή που είναι εντός του εδάφους και το τμήμα του χωνευτή που είναι εκτός του εδάφους (σε m).
- Επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας του χωνευτή (σε °C), δεδομένου του ότι αυτός θα είναι μεσοφιλικός.
- Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου με το οποίο έρχεται σε επαφή το κάθε στοιχείο του χωνευτή τον χειμώνα (σε °C) και συγκεκριμένα του αέρα και του εδάφους.
- Οι συντελεστές θερμικών απωλειών των στοιχείων του χωνευτή (σε kcal/h m<sup>2</sup> °C), δηλαδή της οροφής, των τοιχωμάτων, και του δαπέδου.

Ο υπολογισμός των ωριαίων θερμικών απωλειών του χωνευτή κατά τον χειμώνα έγινε με τη χρήση της σχέσης [28]:

$$Q_a = \sum(U_i A_i (T_1 - T_0)) \quad (5.16)$$

Όπου:

$Q_a$ , είναι οι ωριαίες θερμικές απώλειες του χωνευτή, σε kcal/h

$A_i$ , είναι το εμβαδόν του κάθε τμήματος του χωνευτή (οροφή, τοιχώματα, δάπεδο) δεδομένης της διαστασιολόγησής του, η οποία έχει προηγηθεί

$U_i$ , είναι ο συντελεστής θερμικών απωλειών για κάθε τμήμα του χωνευτή (οροφή, τοιχώματα, δάπεδο). Συγκεκριμένα θεωρήθηκε ότι ο χωνευτής βρίσκεται κατά το ήμισυ μέσα στο έδαφος. Για την οροφή του χωνευτή θεωρήθηκε συντελεστής θερμικών απωλειών ίσος με 1 kcal/h m<sup>2</sup> °C, για τα τοιχώματα του χωνευτή που είναι εκτός του εδάφους (υπέργειο τμήμα) θεωρήθηκε συντελεστής θερμικών απωλειών ίσος με 0.6 kcal/m<sup>2</sup> °C και για τα τοιχώματα και το δάπεδο του χωνευτή (υπόγειο τμήμα) θεωρήθηκε συντελεστής θερμικών απωλειών ίσος με 0.5 kcal/m<sup>2</sup> °C [28].

$T_1$ , είναι η επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας του χωνευτή που είναι ίση με 35 °C.

$T_0$ , είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος (αέρα και εδάφους) του κάθε στοιχείου του χωνευτή τον χειμώνα. Για τον αέρα θεωρήθηκε θερμοκρασία ίση με 5 °C, ενώ για το έδαφος θεωρήθηκε θερμοκρασία ίση με 10 °C.

Αφού γίνει ο υπολογισμός των ωριαίων θερμικών απωλειών του χωνευτή κατόπιν γίνεται η αναγωγή τους σε ημερήσιες απώλειες  $Q_{a,d}$  (σε kcal/d).

### ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ

Τα δεδομένα για τον υπολογισμό της ωριαία παραγόμενης ενέργειας από τον χωνευτή είναι:

- Η ημερήσια παραγωγή βιοαερίου (σε m<sup>3</sup> βιοαερίου/d).
- Η ενέργεια που απαιτείται ημερησίως για τη θέρμανση του χωνευτή (σε kcal/d).
- Οι θερμικές απώλειες του χωνευτή (σε kcal/d).
- Η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου (σε kcal/m<sup>3</sup> βιοαερίου).
- Ο βαθμός απόδοσης της μηχανής εσωτερικής καύσης του βιοαερίου κατά την ηλεκτροπαραγωγή.
- Ο συντελεστής μετατροπής των kcal σε kWh.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της ημερήσιας παραγόμενης ενέργειας από το βιοαέριο είναι η εξής:

Υπολογίζεται η ενεργειακή δυναμικότητα του ημερήσια παραγόμενου βιοαερίου, μέσω της σχέσης.

$$E_{BG,tot} = B_{tot} CV_{BG} \quad (5.17)$$

Όπου:

$E_{BG,tot}$ , είναι η συνολική ημερήσια παραγόμενη ενέργεια από το βιοαέριο, σε kcal/d

$B_{tot}$ , είναι η συνολική ημερήσια παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου, σε m<sup>3</sup>/d

$CV_{BG}$ , είναι η θερμιδική αξία του βιοαερίου και ισούται με 5500 kcal/m<sup>3</sup>

Υπολογίζεται η διαθέσιμη ενεργειακή δυναμικότητα του βιοαερίου που μπορεί να διοχετευτεί στη μηχανή εσωτερικής καύσης της εγκατάστασης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της σχέσης:

$$E_{BG} = E_{BG,tot} - Q_{\theta} - Q_{\alpha,d} \quad (5.18)$$

Όπου:

$E_{BG}$ , είναι η συνολική ενέργεια του βιοαερίου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ηλεκτροπαραγωγή, σε kcal/d

$E_{BG,tot}$ , είναι η συνολική ημερήσια παραγόμενη ενέργεια από το βιοαέριο, σε kcal/d

$Q_{\theta}$ , είναι η ημερήσια απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση του χωνευτή, σε kcal/d

$Q_{a,d}$ , είναι οι ημερήσιες θερμικές απώλειες του χωνευτή, σε kcal/d

Υπολογίζεται, βάσει του βαθμού απόδοσης της μηχανής συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας με καύση βιοαερίου, η συνολική ημερήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο, μέσω της σχέσης:

$$E_{BG,elec} = E_{BG} n_{bg} \quad (5.19)$$

Όπου:

$E_{BG,elec}$ , είναι η ημερήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη μηχανή συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας, σε kcal/d

$E_{BG}$ , είναι η συνολική ημερήσια παραγόμενη ενέργεια από το βιοαέριο, σε kcal/d

$n_{bg}$ , είναι ο βαθμός απόδοσης της μηχανής συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας κατά την ηλεκτροπαραγωγή, που είναι ίσος με 41%

Γίνεται αναγωγή της ημερήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το βιοαέριο σε ωριαία παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια  $E_{BG,h}$  (σε kcal/h).

Μέσω του συντελεστή μετατροπής, γίνεται η αναγωγή της ωριαία παραγόμενης ενέργειας από το βιοαέριο από kcal/h σε kWh, μέσω της σχέσης:

$$E_{BG,f} = E_{BG,h} UC \quad (5.20)$$

Όπου:

$E_{BG,f}$ , είναι η τελικά παραγόμενη ωριαία ηλεκτρική ενέργεια από τη μηχανή συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας, σε kcal/h

$E_{BG,h}$ , είναι η ημερήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη μηχανή συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας, σε kcal/h

UC, είναι ο συντελεστής μετατροπής των kcal σε kWh και ισούται με 0.0011622 kWh/kcal

#### 5.2.4.6 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Για την αποθήκευση του παραγόμενου βιοαερίου χρησιμοποιήθηκαν αεριοφυλάκια βιοαερίου. Αυτό δίνει περαιτέρω βαθμούς αυτονομίας στο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας της Αστυπάλαιας, καθώς θα υπάρχει η δυνατότητα τροφοδοσίας του δικτύου με ενέργεια με ελέγξιμο τρόπο, μειώνοντας την αβεβαιότητα στην παραγωγή ενέργειας και κατ' επέκταση στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης. Επίσης η παραγωγή ενέργειας από τη μηχανή συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας βιοαερίου έχει το πλεονέκτημα της γρήγορης απόκρισης, κάτι που μπορεί να αξιοποιηθεί σε συνδυασμό με την αποθήκευση του βιοαερίου για να καλυφθούν οι μεγάλες αιχμές στην ενεργειακή ζήτηση του νησιού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

## 5.2.5 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΚΑΥΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

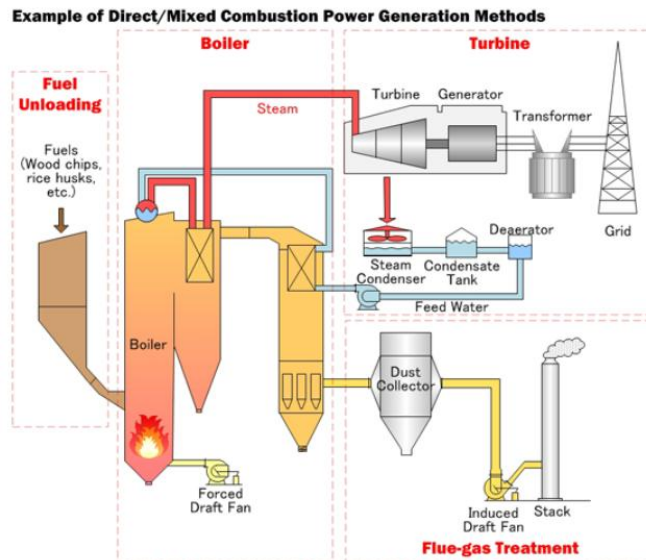
### ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Για τη σταθεροποίηση του υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας της Αστυπάλαιας αλλά και την αξιοποίηση των υπολειμμάτων και των υποπροϊόντων των φυτικών καλλιεργειών του νησιού επιλέχθηκε να εγκατασταθεί μια μονάδα παραγωγής ενέργειας που θα λειτουργεί με καύση βιομάζας. Η βιομάζα επιλέχθηκε καθότι αποτελεί πηγή ενέργειας με σημαντική θερμογόνο δύναμη και ταυτόχρονα αποτελεί και μια ελέγξιμη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με πολύ μικρότερη αβεβαιότητα συγκριτικά με τον άνεμο, τον ήλιο ή τα κύματα. Για όλους τους παραπάνω λόγους επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στο εξεταζόμενο υβριδικό σύστημα μια εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αξιοποίηση βιομάζας, για την παραγωγή ενέργειας βάσης καθώς και την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης σε περίπτωση που καμία άλλη διάταξη του υβριδικού συστήματος δεν μπορεί να το πραγματοποιήσει.

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας με καύση βιομάζας διακρίνονται από δύο παράλληλα συστήματα που συνεργάζονται μεταξύ τους. Ένα σύστημα τροφοδοσίας της εγκατάστασης με καύσιμο κατάλληλα επεξεργασμένο και ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της βιομάζας είναι το γεγονός ότι μπορεί να αξιοποιηθεί ως καύσιμο και σε εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας [4].

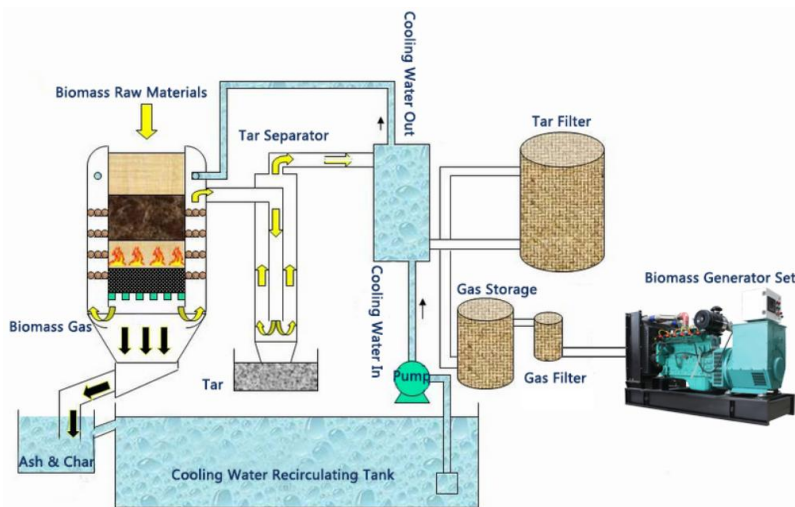
Υπάρχουν τρεις κύριες μέθοδοι για την αξιοποίηση της βιομάζας: η άμεση καύση, η αεριοποίηση και η πυρόλυση. Ανάλογα τη μέθοδο εκμετάλλευσης της βιομάζας η κάθε εγκατάσταση έχει διαφορετικό εξοπλισμό και ακολουθεί διαφορετικές διεργασίες για την αξιοποίησή της και την παραγωγή ενέργειας από αυτήν [4].

Στην Εικόνα 5.15 παρουσιάζεται μια τυπική εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αξιοποίηση βιομάζας μέσω της μεθόδου της άμεσης καύσης.



Εικόνα 5.15: Τα βασικά μέρη μια εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας με τη χρήση βιομάζας και με αξιοποίηση της μεθόδου της άμεσης καύσης (Πηγή: yokogawa.com)

Στην Εικόνα 5.16 παρουσιάζονται τα κύρια μέρη μιας τυπικής εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αξιοποίηση βιομάζας μέσω της μεθόδου της αεριοποίησης.



Εικόνα 5.16: Τα βασικά μέρη μια εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας με τη χρήση βιομάζας και με αξιοποίηση της μεθόδου της αεριοποίησης (Πηγή: hitepower.com)

### ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΠΟΥ ΕΠΙΛΕΧΘΗΚΕ

Για τις ανάγκες του υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εξετάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκε η εγκατάσταση μίας διάταξης παραγωγής ενέργειας με χρήσης βιομάζας και με αξιοποίηση της μεθόδου της αεριοποίησης.



Τα βασικά μέρη μιας τέτοιας εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία φαίνονται και παραπάνω στην Εικόνα 5.16 είναι [4]:

- Η μονάδα ξήρανσης της βιομάζας, που έχει ως στόχο την απομάκρυνση της υγρασίας από αυτήν και την μετατροπή της σε καύσιμη βιομάζα.
- Ο αποθηκευτικός χώρος, στον οποίο θα τοποθετείται η καύσιμη πλέον βιομάζα ούτως ώστε να διατηρεί της ιδιότητές της αναλλοίωτες μέχρι τη στιγμή που θα διοχετευτεί στον αεριοποιητή.
- Ο αεριοποιητής, στον οποίο διοχετεύεται η καύσιμη βιομάζα και μέσω θερμικών διεργασιών που επιτελούνται εκεί κάτω από πολύ υψηλές θερμοκρασίες (700 - 1100 °C) η βιομάζα μετατρέπεται από ένα στερεό καύσιμο σε ένα εύφλεκτο αέριο μείγμα (syngas).
- Το σύστημα καθαρισμού ή φιλτραρίσματος, μέσω του οποίου γίνεται ο καθαρισμός του παραγόμενου σύνθετου αερίου, από διάφορα επιβλαβή χημικά που περιέχονται σε αυτό, με τη χρήση ειδικών φίλτρων.
- Το σύστημα ψύξης, το οποίο αποτελείται από μία δεξαμενή ύδατος που τροφοδοτεί το σύστημα καθαρισμού με νερό για την ψύξη και τον καθαρισμό του παραγόμενου από τον αεριοποιητή σύνθετου αερίου.
- Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, δηλαδή τη διάταξη γεννήτριας και μηχανής εσωτερικής καύσης. Το αέριο μετά τον καθαρισμό και την ψύξη του διοχετεύεται σε μία μηχανή εσωτερικής καύσης στην οποία καίγεται και σε συνδυασμό με τη γεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

#### Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΠΟΥ ΘΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΘΕΙ

Για τη συνεισφορά της βιομάζας στο υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια εξετάστηκε η αξιοποίηση της παραγόμενης βιομάζας από τα υπολείμματα των γεωργικών καλλιεργειών που υπάρχουν στο νησί. Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζεται η έκταση κάθε καλλιέργειας, η διαθέσιμη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ποσότητα υπολειμμάτων και η θερμογόνος δύναμη ανά καλλιέργεια που υπάρχει στην Αστυπάλαια [4].

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά των διαθέσιμων υπολειμμάτων κάθε καλλιέργειας της Αστυπάλαιας που μπορεί να αξιοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας, [4]

Καλλιέργειες	Έκταση (στρέμματα)	Παραγωγή Υπολειμμάτων (tn)	Θερμογόνος Δύναμη (MJ/kg)
Αμπέλια	25	0,8	18,7
Ελαιόδεντρα	181	28,5	19,6
Δενδρόδεις	125	6,5	18,5
Καλαμπόκι	5	5,1	18
Σιτάρι	20	4,3	18,5
Κριθάρι	350	42,0	18,2
Βρώμη	50	17,8	18
<b>Σύνολο</b>	<b>756</b>	<b>104,9</b>	<b>-</b>

Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνεται ότι η διαθέσιμη ποσότητα βιομάζας από τις ήδη υπάρχουσες καλλιέργειες είναι μικρή για να μπορέσει να εξεταστεί η πραγματική συνεισφορά της βιομάζας ως πηγής ενέργειας στο υβριδικό σύστημα της Αστυπάλαιας. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε σκόπιμο να καλλιεργηθεί στο νησί και κάποια ενεργειακή καλλιέργεια που θα εισφέρει σημαντικά στην αύξηση της διαθέσιμης ποσότητας βιομάζας.

Ένας ακόμα λόγος που οδήγησε στη διερεύνηση της συνεισφοράς μιας ενεργειακής καλλιέργειας, είναι το γεγονός ότι στην Αστυπάλεια η συνολική έκταση που δύναται να καλλιεργηθεί είναι 3700 στρέμματα. Από αυτά η συνολική δεσμευμένη έκταση υπολογίζεται σε 2267 στρέμματα, αφήνοντας έτσι ένα μεγάλο περιθώριο για νέες καλλιέργειες. Στον πίνακα 5.3 φαίνεται η κατανομή της γεωργικής γης στην Αστυπάλεια ανάλογα με το είδος των καλλιεργειών και τη χρήση της γης [4].

Πίνακας 5.3: Κατανομή γεωργικής γης στην Αστυπάλεια, [4]

Κατηγορίες Καλλιεργειών	Σύνολο έκτασης (στρέμματα)
<b>Φυτά μεγάλης καλλιέργειας (αροτριαία κτλ)</b>	973
<b>Κηπευτικά-Θερμοκήπια</b>	109
<b>Αμπέλια</b>	25
<b>Δενδρόδεις καλλιέργειες</b>	306
<b>Αγροανάπαυση</b>	854
<b>Σύνολο</b>	<b>2267</b>

### ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Η επιλογή της ενεργειακής καλλιέργειας που θα αξιοποιηθεί για την αύξηση του διαθέσιμου δυναμικού του νησιού σε βιομάζα, έγινε με κύριο γνώμονα τις κλιματικές

συνθήκες που επικρατούν στην Αστυπάλαια και με γνώμονα τις αρδευτικές ανάγκες της καλλιέργειας, με δεδομένο ότι παρόλο που υπάρχει αρδευτικό φράγμα στο νησί, αυτό χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των υφιστάμενων γεωργικών καλλιεργειών, αλλά και με δεδομένο ότι η ζήτηση για νερό στα περισσότερα νησιά του Αιγαίου σε σχέση με την προσφορά του νερού σε αυτά είναι μεγάλη και επομένως η διαχείριση των υδατικών πόρων στα νησιά αυτά θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Τέλος η επιλογή της κατάλληλης ενεργειακής καλλιέργειας έγινε προφανώς και με κριτήριο την ενεργειακή της απόδοση, αλλά και την απόδοσή της σε παραγόμενη βιομάζα, δηλαδή την ξηρή ουσία που παράγεται ανά καλλιεργούμενο στρέμμα.

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια, επελέγη η ενεργειακή καλλιέργεια της αγριαγκινάρας. Αυτό διότι η αγριαγκινάρα αποτελεί ένα είδος καλλιέργειας που προσαρμόζεται εύκολα στις κλιματολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής, μπορεί να αναπτυχθεί χωρίς άρδευση εκμεταλλεύόμενο το νερό από τις βροχοπτώσεις του φθινοπώρου και του χειμώνα παράγοντας μια πολύ αξιόλογη ποσότητα ξηρής ουσίας που φτάνει περίπου τον 1-2 tn ξηρής ουσίας/στρέμμα που έχει θερμογόνο δύναμη της τάξης των 19 MJ/kg ξηρής ουσίας (περίπου 5.3 kWh/kg) [4].

#### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗ ΒΙΟΜΑΖΑ

Η βιομάζα αξιοποιείται στο υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας της Αστυπάλαιας με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η παραγωγή της ενέργειας βάσης του νησιού, δηλαδή της ελάχιστης ενέργειας που θα πρέπει να διατίθεται κάθε ώρα στο δίκτυο του νησιού από το σύστημα παραγωγής ενέργειας και που εδώ υπολογίστηκε ως η ελάχιστη ωριαία ενεργειακή ζήτηση των 100 ετών. Η εξασφάλιση της παραγωγής της ενέργειας βάσης του νησιού κρίθηκε σκόπιμο να γίνει με τη χρήση της βιομάζας, καθώς είναι η ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που αξιοποιείται στο υβριδικό σύστημα με την μικρότερη αβεβαιότητα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες, αλλά και η ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία έχει τον μεγαλύτερο χρόνο απόκρισης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες που εξετάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Αυτό σημαίνει ότι η εγκατάσταση που παράγει ηλεκτρική ενέργεια με αξιοποίηση της βιομάζας δεν είναι εφικτό να εκκινεί την παραγωγή ενέργειας τη στιγμή που αυτό θα απαιτηθεί, διότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη μέθοδο της αεριοποίησης, που επιλέχθηκε, απαιτεί χρόνο από τη στιγμή που θα ξεκινήσει η διαδικασία της αεριοποίησης μέχρι τη στιγμή που η εγκατάσταση θα είναι σε θέση να τροφοδοτεί το δίκτυο του νησιού με ηλεκτρική ενέργεια. Γι' αυτό το λόγο η εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αξιοποίηση της βιομάζας, εκτός από τις περιόδους που θα απαιτείται η συντήρησή της, επιλέχθηκε να είναι μόνιμα σε λειτουργία και συνεπώς να τροφοδοτεί το

δίκτυο κατ' ελάχιστον με την ενέργεια βάσης. Έτσι θα αξιοποιείται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο η διαθέσιμη ενέργεια από τη βιομάζα που θα παράγεται κάθε ώρα, εξαιτίας της συνεχούς λειτουργίας της εγκατάστασης.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ, ότι για ευκολία των υπολογισμών έγινε η παραδοχή ότι ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης είναι σταθερός ακόμα και όταν αυτή παράγει ένα πολύ μικρό ποσό ενέργειας, όπως για παράδειγμα την ενέργεια βάσης. Στην πραγματικότητα η μηχανή καύσης του παραγόμενου αερίου από την εγκατάστασης αεριοποίησης, έχει μικρότερο βαθμό απόδοσης όταν παράγει μικρές ποσότητες ενέργειας με συνέπεια η απαιτούμενη ποσότητα βιομάζας με την οποία πρέπει να τροφοδοτηθεί η εγκατάσταση να είναι μεγαλύτερη. Ακόμα, έγινε η παραδοχή ότι η λειτουργία της εγκατάστασης δεν διακόπτεται κατά τη διάρκεια του χρόνου για λόγους συντήρησης, πράγμα που ανταποκρίνεται και στην πραγματικότητα, καθώς οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από βιομάζα εξαιτίας των προαναφερθέντων λόγων διαθέτουν παραπάνω από μία μηχανή καύσης του παραγόμενου σύνθετου αερίου έτσι ώστε να μην διακόπτεται η λειτουργία της εγκατάστασης αν κάποια μηχανή χρειαστεί συντήρηση ή επισκευή.

Ο δεύτερος τρόπος με τον οποίο γίνεται η αξιοποίηση της βιομάζας από το υβριδικό σύστημα του νησιού είναι η κάλυψη του ωριαίου ελλείμματος ενέργειας, όταν καμία άλλη διάταξη παραγωγής ενέργειας του υβριδικού συστήματος δεν δύναται να το καλύψει λόγω φυσικών ή τεχνικών περιορισμών. Αυτό έγινε κυρίως για λόγους μικρής αβεβαιότητας της βιομάζας σε σύγκριση με τις άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Είναι βέβαια προφανές ότι και η εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας με χρήση της βιομάζας έχει και αυτή φυσικούς και τεχνικούς περιορισμούς, όπως είναι η διαθέσιμη ποσότητα της βιομάζας, η εγκατεστημένη της ισχύ και ο βαθμός απόδοσής της και οι οποίοι θα ήταν λάθος να μη ληφθούν υπ' όψιν στον υπολογισμό της ενέργειας που δύναται να παραγάγει η εγκατάσταση για την κάλυψη του ωριαίου ενεργειακού ελλείμματος. Συνεπώς, είναι πιθανό λόγω των παραπάνω περιορισμών στην παραγωγή ενέργειας, το ωριαίο ενεργειακό έλλειμμα να μην μπορεί να καλυφθεί ούτε από τη βιομάζα και τότε το υβριδικό σύστημα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας θα έχει αστοχήσει.

Ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας από τη βιομάζα γίνεται με την παρακάτω σχέση:

$$E_{BM} = m_{BM} n_{BM} HV_{BM} \quad (5.21)$$

Όπου:

$E_{BM}$ , είναι η παραγόμενη από τη βιομάζα ηλεκτρική ενέργεια, σε kWh

$m_{BM}$ , είναι η ποσότητα της βιομάζας που διατίθεται για την παραγωγή ενέργειας, σε tn

$n_{BM}$ , είναι ο βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης αξιοποίησης της βιομάζας με τη μέθοδο της αεριοποίησης και ο οποίος εκτιμάται γύρω στο 35%

$HV_{BM}$ , είναι η θερμογόνος δύναμη της βιομάζας, σε kWh/tn

## 5.2.6 ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΤΛΗΣΗΣ - ΤΑΜΙΕΥΣΗΣ - ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

### 5.2.6.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΑΝΤΛΗΣΗΣ - ΤΑΜΙΕΥΣΗΣ

Οι διατάξεις άντλησης - ταμίευσης αποτελούν συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μεσαίας και μεγάλης κλίμακας, που έχουν αποθηκευτική δυνατότητα ικανή να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες μιας περιοχής για ώρες ή ακόμα και μέρες. Επίσης συνδυάζονται και με ένα υδροηλεκτρικό έργο μέσω του οποίου γίνεται η αξιοποίηση, όταν αυτό απαιτηθεί, της αποθηκευμένης ενέργειας. Κύριες συνιστώσες ενός τέτοιου συστήματος είναι τα δύο έργα αποθήκευσης του νερού, ένα ανάντη και ένα κατόντη, που βρίσκονται σε διαφορετικό υψόμετρο και το σύστημα ανύψωσης και πτώσης του νερού. Το τελευταίο σύστημα αποτελείται, είτε από έναν ενιαίο αγωγό στον οποίο τοποθετείται ένας ειδικός τύπος στροβίλου που ονομάζεται αντλιοστρόβιλος και ο οποίος δίνει τη δυνατότητα της αντιστρεπτής ροής νερού, είτε από δύο αγωγούς όπου ο ένας είναι εξοπλισμένος με έναν συμβατικό υδροστρόβιλο και ο άλλος είναι εξοπλισμένος με αντλία ή σύστημα αντλιών [35].

Η παραγωγή ενέργειας από μία διάταξη άντλησης - ταμίευσης γίνεται μέσω της δυναμικής ενέργειας που διαθέτει μία ποσότητα νερού ούσα αποθηκευμένη σε κάποιο υψόμετρο. Η δυναμική αυτή ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική, μέσω της υδατόπτωσης, που επιτυγχάνεται με τη ροή του νερού σε έναν αγωγό που ονομάζεται αγωγός πτώσης. Ο αγωγός πτώσης συνδέει το ανάντη έργο αποθήκευσης του νερού με τον υδροστρόβιλο ή τον αντλιοστρόβιλο. Ο υδροστρόβιλος ή ο αντλιοστρόβιλος εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια του νερού και μέσω αυτής παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον υδροστρόβιλο ή τον αντλιοστρόβιλο εξαρτάται άμεσα από την παροχή του νερού στον αγωγό πτώσης και από την υψομετρική διαφορά μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του νερού στο ανάντη έργο αποθήκευσης και του υψομέτρου στο οποίο βρίσκεται ο στρόβιλος.

Η αποθήκευση ενέργειας σε μια διάταξη άντλησης - ταμίευσης γίνεται με την ακριβώς αντίθετη διαδικασία από αυτήν που περιγράφηκε παραπάνω για την παραγωγή ενέργειας. Ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται στο αντλιοστάσιο ή τον αντλιοστρόβιλο και μέσω αυτών των διατάξεων μετατρέπεται σε δυναμική ενέργεια του νερού, το οποίο ανυψώνεται στο ανάντη έργο αποθήκευσης μέσω ενός αγωγού που ονομάζεται καταθλιπτικός αγωγός. Ο αγωγός αυτός, ταυτίζεται με τον αγωγό πτώσης στην περίπτωση του υδροστροβίλου ή είναι ξεχωριστός αγωγός στην περίπτωση της ξεχωριστής λειτουργίας υδροστροβίλου - αντλίας. Η ενέργεια που απαιτείται για την άντληση του νερού από το κατόντη στο ανάντη έργο αποθήκευσης εξαρτάται άμεσα, όπως και στην περίπτωση της παραγωγής ενέργειας, από την

παροχή του νερού στον καταθλιπτικό αγωγό και από την υψομετρική διαφορά μεταξύ του αντλιοστροβίλου ή του αντλιοστασίου και της ελεύθερης επιφάνειας στο ανάντη έργο αποθήκευσης.

Στην περίπτωση της διάταξης με χρήση αντλιοστροβίλου, το σύστημα λειτουργεί ως ένα τυπικό υδροηλεκτρικό έργο, όπου το νερό διατίθεται προς πτώση από ένα ανάντη έργο αποθήκευσης στον αντλιοστρόβιλο, όταν απαιτείται η παραγωγή ενέργειας για την κάλυψη της ζήτησης. Αντίθετα, στην περίπτωση πλεονάζουσας ενέργειας ο αντλιοστρόβιλος λειτουργεί με την αντίθετη λειτουργία, αντιστρέφοντας τη ροή του νερού και αντλώντας με αυτόν τον τρόπο νερό από το κατάντη έργο αποθήκευσης νερού προς το ανάντη, μέσω του ίδιου αγωγού. Με αυτόν τον τρόπο αποθηκεύεται ενέργεια με τη μορφή της δυναμικής ενέργειας του νερού, που μπορεί να αξιοποιηθεί σε περίπτωση ελλείμματος ενέργειας για την κάλυψη της ζήτησης.

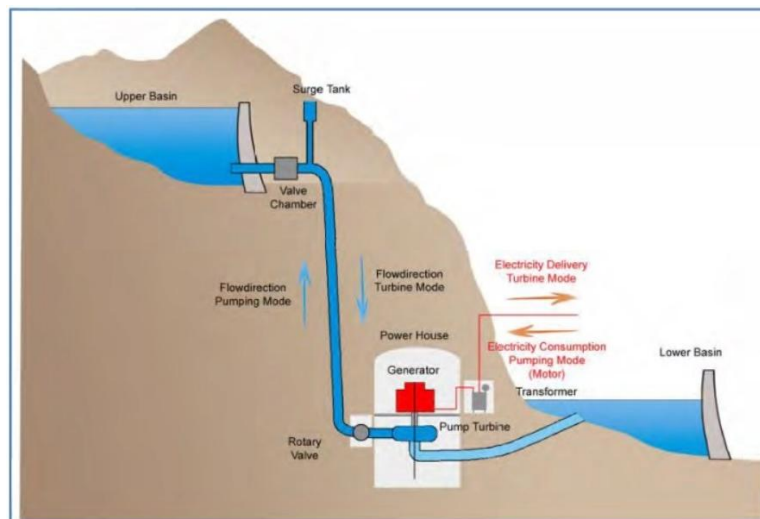
Στην περίπτωση της διάταξης με την ξεχωριστή χρήση υδροστροβίλου και αντλίας το σύστημα λειτουργεί ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω, με τη μόνη διαφορά να εντοπίζεται στο ότι η παραγωγή και η αποθήκευση ενέργειας γίνεται μέσω ξεχωριστών ηλεκτρομηχανολογικών διατάξεων. Πιο συγκεκριμένα η παραγωγή ενέργειας για την κάλυψη ενεργειακού ελλείμματος ή για την κάλυψη κάποιας αιχμής της ζήτησης γίνεται με την πτώση της απαιτούμενης ποσότητας νερού από το ανάντη έργο αποθήκευσης, μέσω του αγωγού πτώσης, στον υδροστρόβιλο. Η αποθήκευση της ενέργειας στην περίπτωση ύπαρξης πλεονάσματος ενέργειας στο δίκτυο, γίνεται με την άντληση μιας ποσότητας νερού από το κατάντη στο ανάντη έργο αποθήκευσης, μέσω της διάταξης αντλιοστασίου - καταθλιπτικού αγωγού. Έτσι επιτυγχάνεται η αποθήκευση ενέργειας με τη μορφή της δυναμικής ενέργειας του νερού, με σκοπό τη χρήση της όταν αυτό κριθεί αναγκαίο.

Οι διατάξεις άντλησης - ταμίευσης νερού αποτελούν ένα είδος «μπαταριών» με τα δύο κύρια πλεονέκτημά τους έναντι των άλλων πηγών αποθήκευσης ανανεώσιμης ενέργειας να εντοπίζονται στο χαμηλό κόστος εγκατάστασής τους και στη μεγάλη διάρκεια ζωής τους, όπως φαίνεται και στον πίνακα 5.4, που παρουσιάζει τα βασικά χαρακτηριστικά των διατάξεων αποθήκευσης ανανεώσιμης ενέργειας [36].

Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά διατάξεων αποθήκευσης ανανεώσιμης ενέργειας [36]

	supercap	SMES	flywheel	lead-acid	lithium-ion	NaS	redox-flow	hydrogen	pumped hydro	CAES
energy density in Wh/l	2-10	0,5-10	80-200	50-100	200-350	150-250	20-70	750/250bar 2400/liquid	0,27-1,5	3-6
installation costs in €/kW	150-200	high	300	150-200	150-200	150-200	1000-1500	1500-2000	500-1000	700-1000
installation costs in €/kWh	10000-20000	high	1000	100-250	300-800	500-700	300-500	0,3-0,6	5-20	40-80
reaction time	<10ms	1-10ms	>10ms	3-5ms	3-5ms	3-5ms	>1s	10min	>3min	3-10min
self-discharge rate	up to 25% in first 48h	10-15 %/day	5-15 %/h	0,1-0,4 %/day	5 %/month	10 %/day	0,1-0,4 %/day	0,003-0,03 %/day	0,005-0,02 %/day	0,5-1 %/day
cycle life-time	>1Mill.	>1Mill.	>1Mill.	500-2000	2000-7000	5000-10000	>10000	>5000		
life-time in years	15	20	15	5-15	5-20	15-20	10-15	20	80	ca. 25
system efficiency in %	77-83	80-90	80-95	70-75	80-85	68-75	70-80	34-40	75-82	60-70
short-term (<1min)	XXX	XXX	XXX		X		X			
mid-term (>1min,<2d)			X	XXX	XXX	XX	XX	X	XX	XX
long-term (>2d)				X		X	XX	XXX	XXX	XX

Στην Εικόνα 5.17 φαίνεται μια τυπική διάταξη άντλησης - ταμίευσης με τη χρήση αντλιοστροβίλου για την παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας.



Εικόνα 5.17: Τυπική διάταξη άντλησης - ταμίευσης με τη χρήση αντλιοστροβίλου (Πηγή: encyclopedie-energie.org)

### 5.2.6.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ - ΤΑΜΙΕΥΣΗΣ ΠΟΥ ΕΠΙΛΕΧΘΗΚΕ

Για το υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Αστυπάλαιας επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί διάταξη άντλησης - ταμίευσης με ξεχωριστή διάταξη υδροστροβίλου - αντλίας. Η διάταξη αυτή θα λειτουργεί με θαλασσινό νερό, καθώς υπάρχει εύκολη πρόσβαση σε αυτό, αλλά κυρίως διότι το μοναδικό φράγμα που υπάρχει στο νησί αξιοποιείται για



αρδευτικούς σκοπούς, πράγμα που, σε συνδυασμό με τους περιορισμένους υδατικούς πόρους που υπάρχουν στο νησί της Αστυπάλαιας, καθιστά δύσκολη τη χρήση του αποθηκευμένου, σε αυτό, νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

### 5.2.6.3 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Εφόσον η διάταξη της άντλησης - ταμίευσης θα λειτουργεί με θαλασσίνο νερό το κατάντη έργο αποθήκευσης του νερού θα είναι η θάλασσα. Όσον αφορά το ανάντη έργο αποθήκευσης, αυτό θα είναι μια δεξαμενή η οποία επιλέχθηκε να τοποθετηθεί σε σημείο του νησιού με μεγάλο υψόμετρο, για την, κατά το δυνατό, μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας με την αξιοποίηση του, κατά το δυνατό, μικρότερου όγκου νερού, καθώς όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, η υψομετρική διαφορά μεταξύ του υδροστροβίλου και στάθμης του νερού στο ανάντη έργο αποθήκευσης επηρεάζει σημαντικά την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης, για την επιλογή της θέσης της δεξαμενής ελήφθη υπ' όψιν και το κριτήριο της αποφυγής περιοχών Natura2000, αλλά και το κριτήριο της αποφυγής ύπαρξης ανθρώπινης - τουριστικής δραστηριότητας κοντά στη θέση του έργου.

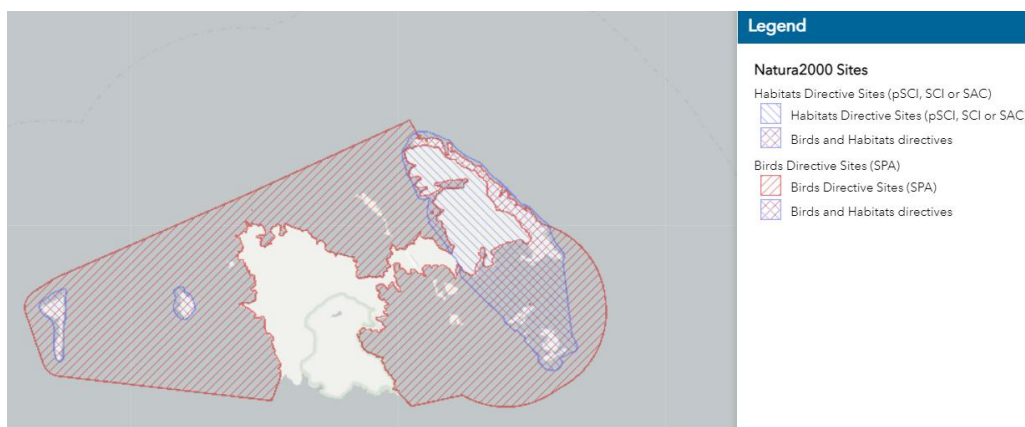
Έτσι η θέση που επιλέχθηκε για την τοποθέτηση της δεξαμενής βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού, σε σημείο που υπάρχει υψομετρική διαφορά περίπου 366 m από την επιφάνεια της θάλασσας, μακριά από τα τουριστικά κέντρα του νησιού ή άλλα σημεία που υπάρχει έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα ή καλλιεργήσιμες εκτάσεις και εκτός περιοχών Natura2000. Αυτό έγινε για να μην υπάρχει κανενός είδους όχληση, είτε οπτική, είτε ακουστική από την ύπαρξη και τη λειτουργία της διάταξης αυτής και προφανώς κανενός είδους καταστροφή των περιοχών Natura2000.

Η διαθέσιμη επιφάνεια στην θέση που επελέγη για την κατασκευή της δεξαμενής είναι περίπου 350000 m<sup>2</sup>. Η δεξαμενή θα έχει 6 m βάθος και από αυτά τα 0.30 m θα είναι ελεύθερο ύψος που θα αφεθεί για λόγους ασφάλειας έναντι υπερχειλίσης.

Στην Εικόνα 5.18 φαίνεται η θέση που επιλέχθηκε για την τοποθέτηση της δεξαμενής που θα χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση του νερού από τη διάταξη άντλησης - ταμίευσης, ενώ στην Εικόνα 5.19 φαίνονται οι περιοχές Natura2000 στον χάρτη της Αστυπάλαιας.



Εικόνα 5.18: Η θέση της δεξαμενής αποθήκευσης θαλασσινού νερού για τις ανάγκες της διάταξης άντλησης - ταμίευσης (Πηγή: earth.google.com)

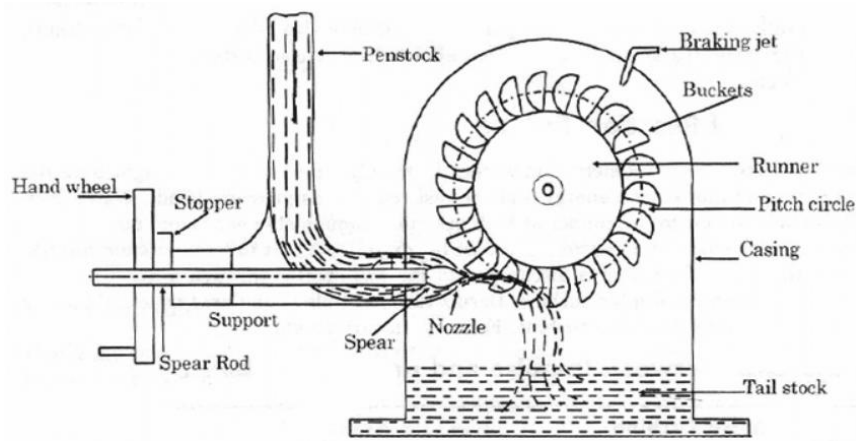


Εικόνα 5.19: Προστατευόμενες περιοχές Natura2000 στον χάρτη της Αστυπάλαιας (Πηγή: ypen.gov.gr)

#### 5.2.6.4 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ

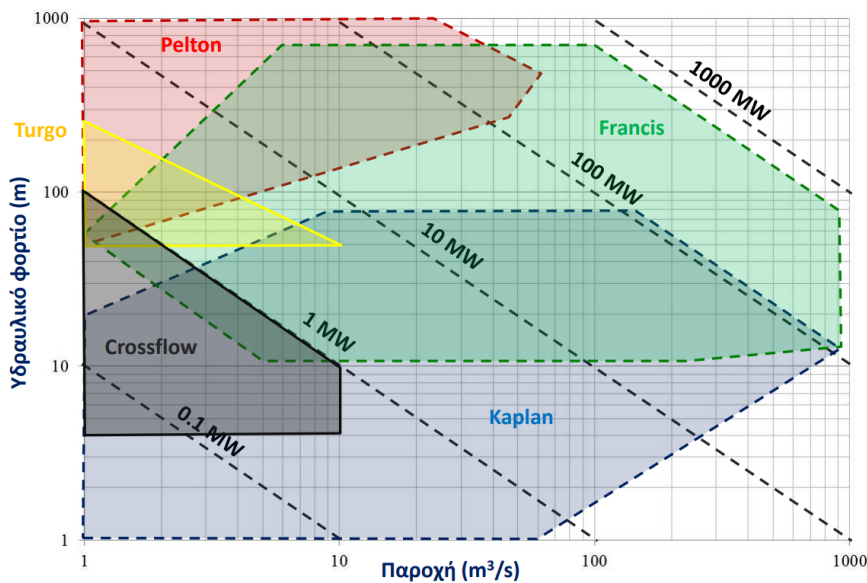
Ο υδροστρόβιλος που επιλέχθηκε για την παραγωγή ενέργειας από τη διάταξη άντλησης - ταμίευσης είναι τύπου Pelton και επιλέχθηκε να τοποθετηθεί λίγο παραπάνω (περίπου 5 m) από το επίπεδο της θάλασσας για την καλύτερη αξιοποίηση της υψομετρικής διαφοράς αλλά και τη δυνατότητα κατασκευής των έργων φυγής.

Στην Εικόνα 5.20 παρουσιάζονται τα βασικά μέρη από τα οποία απαρτίζεται μια διάταξη στροβίλου Pelton.



Εικόνα 5.20: Βασικά μέρη διάταξης στροβίλου Pelton (rgpvonline.com)

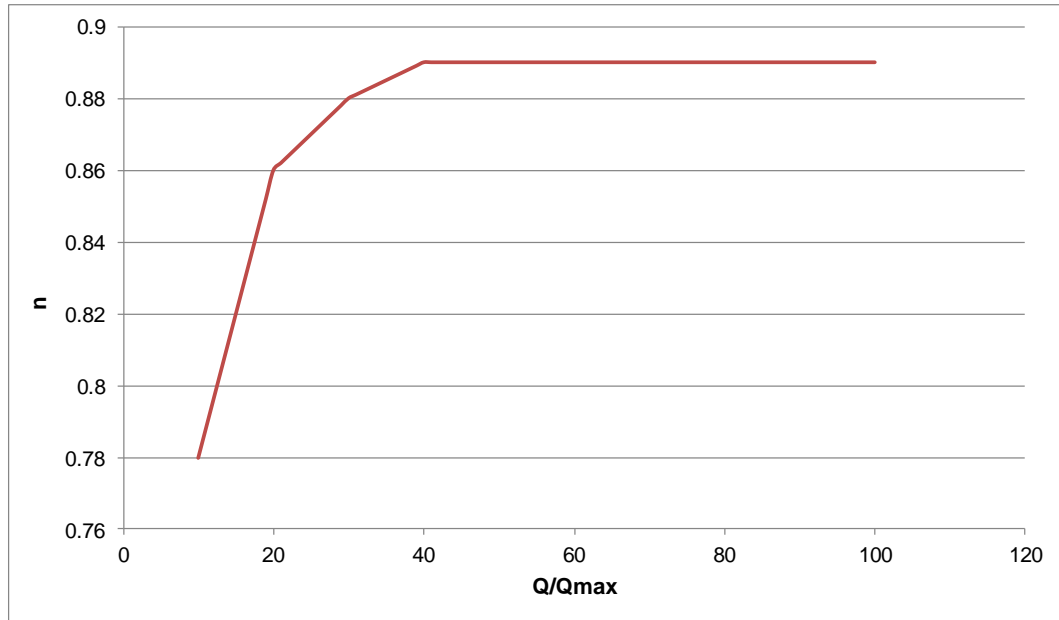
Η επιλογή του υδροστροβίλου τύπου Pelton έγινε με βάση το λογαριθμικό Διάγραμμα 5.5 [35], στο οποίο φαίνεται ότι για μικρές παροχές, όπως αυτές που απαιτούνται για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας στην Αστυπάλαια, που κυμαίνονται σε μερικές εκατοντάδες L/s, για εγκατεστημένη ισχύ υδροστροβίλου όπως αυτή που ερευνάται να εγκατασταθεί στην Αστυπάλαια, που κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες kW μέχρι μερικά MW και για το υδραυλικό φορτίο στη θέση που επιλέχθηκε για τη δεξαμενή, που είναι γύρω στα 360 m, ο πιο κατάλληλος τύπος υδροστροβίλου είναι ο Pelton.



Διάγραμμα 5.5: Διάγραμμα εύρους εφαρμογής των διαφορετικών τύπων υδροστροβίλων (Πηγή: itia.ntua.gr)

Στο Διάγραμμα 5.6 φαίνεται η καμπύλη του βαθμού απόδοσης ( $n$ ) του υδροστροβίλου, που επιλέχθηκε για το σύστημα άντλησης - ταμίευσης του νησιού της Αστυπάλαιας, συναρτήσει του λόγου της παροχής που διέρχεται από τον υδροστροβίλο σε μια χρονική στιγμή προς τη μέγιστη παροχή λειτουργίας του ( $Q/Q_{max}$ ) [37]. Όπως φαίνεται και από το

διάγραμμα 5.4 ο υδροστρόβιλος ξεκινάει τη λειτουργία του από παροχή που είναι ίση με το 10% της μέγιστης παροχής λειτουργίας του έχοντας βαθμό απόδοσης ίσο με 78% και για παροχή ίση με τη μέγιστη παροχή λειτουργίας του φτάνει τον μέγιστο βαθμό απόδοσής του που είναι ίσος με 89%.

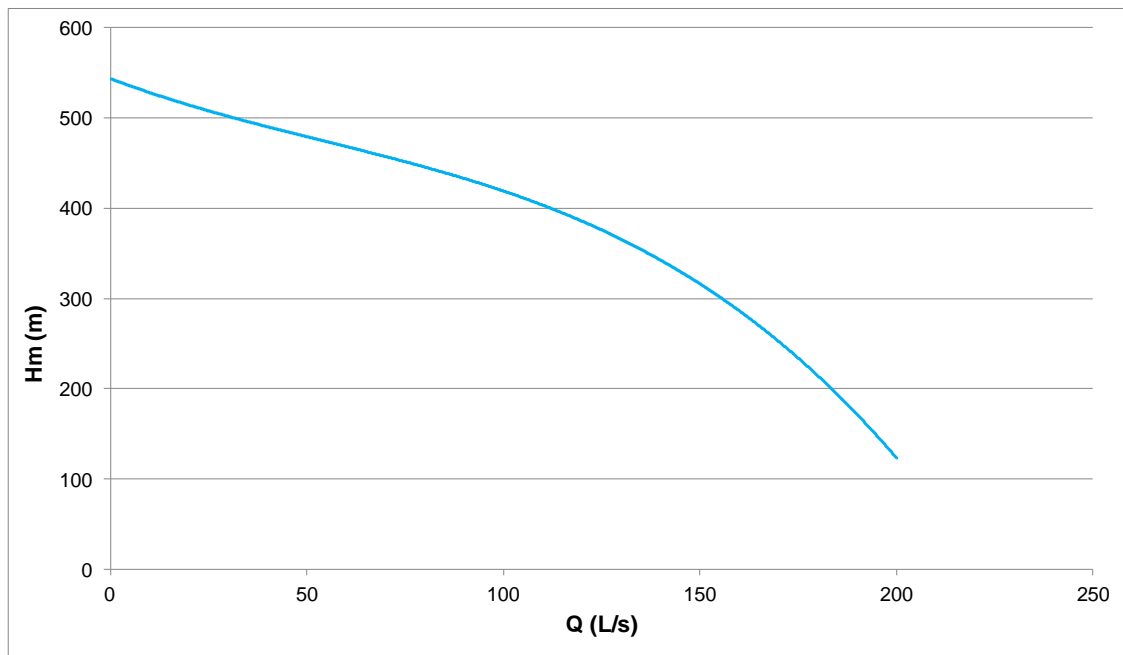


Διάγραμμα 5.6: Καμπύλη βαθμού απόδοσης του στροβίλου pelton, [37]

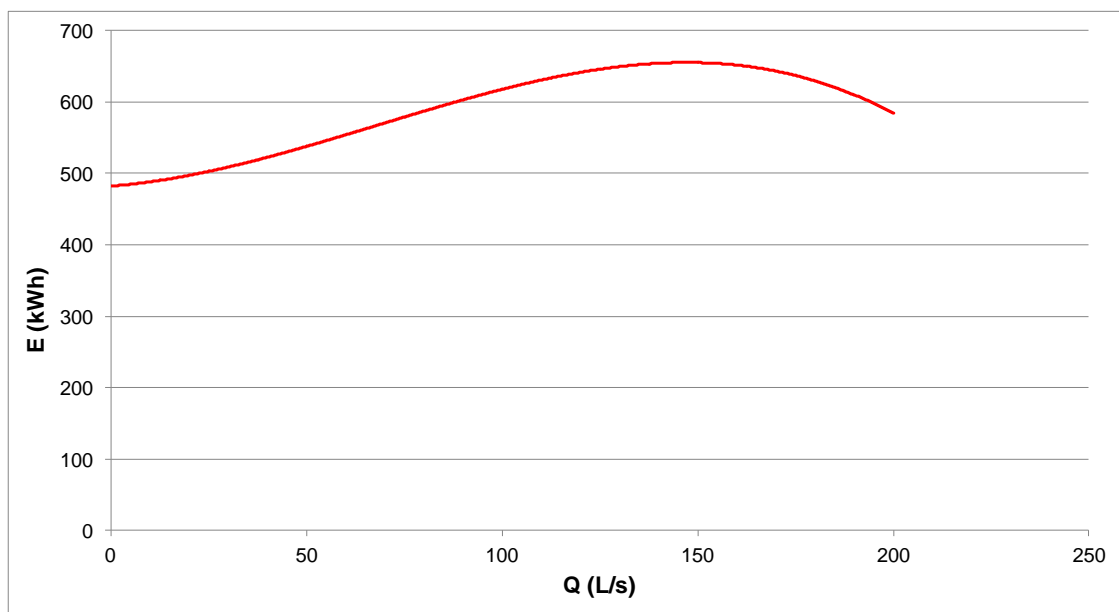
#### 5.2.6.5 ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ

Για την άντληση του θαλασσινού νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης της διάταξης άντλησης - ταμίευσης χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι αντλιών. Η επιλογή της τοποθέτησης δύο διαφορετικών τύπων αντλιών, έγινε με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση του ενεργειακού πλεονάσματος για την άντληση της κατά το δυνατό μεγαλύτερης ποσότητας νερού προς τη δεξαμενή. Επίσης, προβλέπεται και η τοποθέτηση μίας εφεδρικής αντλίας από τον κάθε τύπο, για την περίπτωση που παρουσιαστεί βλάβη σε κάποια εκ των αντλιών ή για την περίπτωση που απαιτηθεί η συντήρηση του Η/Μ εξοπλισμού.

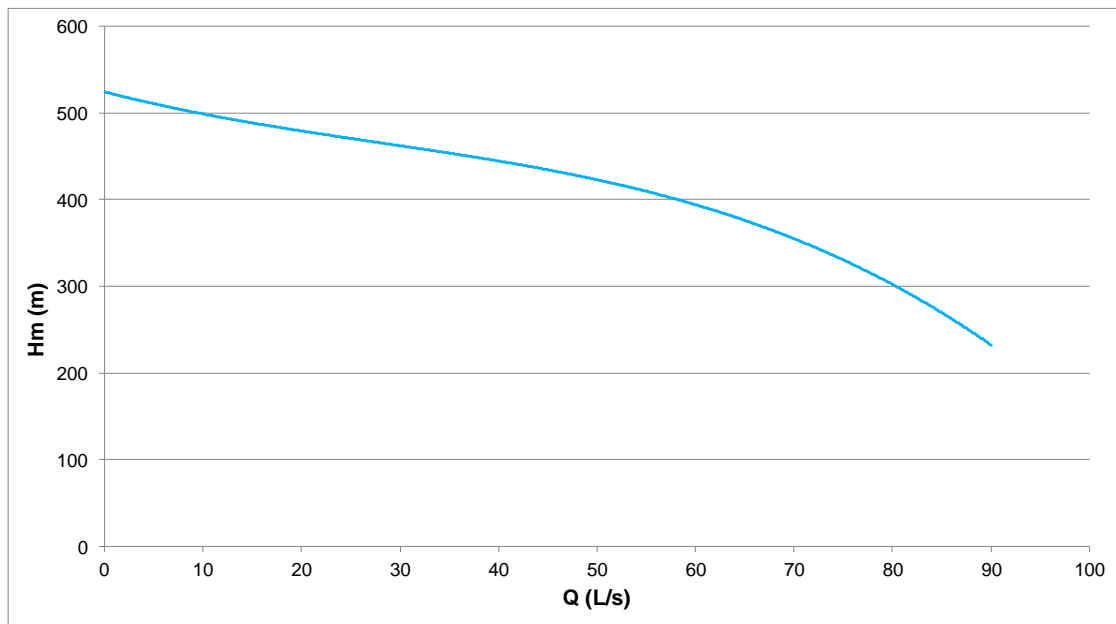
Παρακάτω φαίνονται οι καμπύλες παροχής - μανομετρικού ύψους καθώς και οι καμπύλες παροχής - απαιτούμενης ενέργειας που δίνει ο κατασκευαστής για τον κάθε τύπο αντλίας.



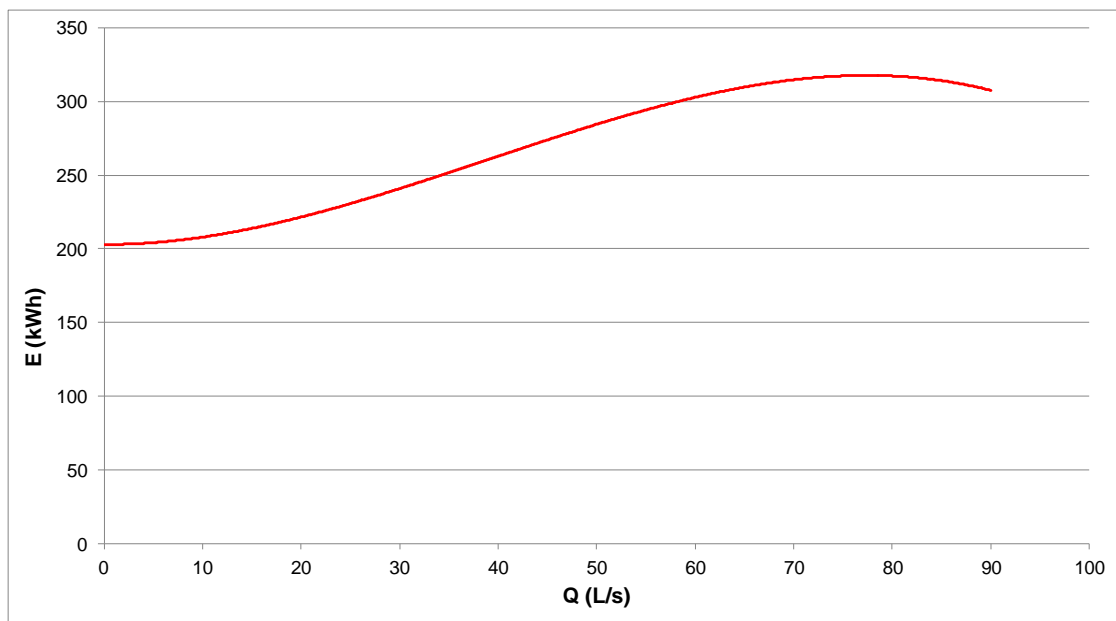
Διάγραμμα 5.7: Διάγραμμα παροχής - μανομετρικού ύψους του πρώτου τύπου αντλίας  
(Πηγή: impeller.net)



Διάγραμμα 5.8: Διάγραμμα παροχής - απαιτούμενης ενέργειας του πρώτου τύπου αντλίας  
(Πηγή: impeller.net)



Διάγραμμα 5.9: Καμπύλη παροχής - μανομετρικού ύψους για τον δεύτερο τύπο αντλίας (Πηγή: impeller.net)



Διάγραμμα 5.10: Διάγραμμα παροχής - απαιτούμενης ενέργειας για τον δεύτερο τύπο αντλίας (Πηγή: impeller.net)

Ο πρώτος τύπος αντλίας που χρησιμοποιήθηκε για τη διάταξη άντλησης - ταμίευσης του συστήματος της Αστυπάλαιας έχει παροχετευτική δυνατότητα περίπου 129 L/s για μανομετρικό ύψος ίσο με 366 m, που είναι και υψομετρική διαφορά μεταξύ δεξαμενής αποθήκευσης και αντλιοστασίου και καταναλώνει ενέργεια περίπου 646 kWh. Ο δεύτερος τύπος αντλίας που χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα άντλησης - ταμίευσης έχει παροχετευτική

δυνατότητα περίπου 68 L/s για μανομετρικό ύψος ίσο με 366 m και καταναλώνει ενέργεια περίπου 313 kWh.

#### 5.2.6.6 ΑΓΩΓΟΙ

Εφόσον χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικοί τύποι αντλιών θα κατασκευαστούν και δύο καταθλιπτικοί αγωγοί, ένας για κάθε τύπο αντλίας. Ο υδροστρόβιλος θα είναι ένας και για το λόγο αυτό θα κατασκευαστεί μόνο ένας αγωγός πτώσης. Τόσο οι καταθλιπτικοί αγωγοί, όσο και ο αγωγός πτώσης της διάταξης άντλησης - ταμίευσης θα είναι ονομαστικής πίεσης 40 atm και κατασκευασμένοι από GRP (Glass(fiber) Reinforced Plastic) καθώς το υλικό αυτό παρουσιάζει μεγάλη αντιδιαβρωτική ικανότητα απέναντι στο θαλασσίνο νερό με αποτέλεσμα οι αγωγοί να διατηρούν τα υδραυλικά τους χαρακτηριστικά με την πάροδο του χρόνου [38].

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι τα κύρια μέρη, τόσο των αντλιών, όσο και του υδροστρόβιλου που θα χρησιμοποιηθούν και που θα έρχονται σε επαφή με το θαλασσίνο νερό θα είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα για την αποφυγή της διάβρωσης τους και για την αντοχή τους στις μεγάλες πιέσεις. Επίσης, έγινε πρόβλεψη για αντικατάστασή τους ανά 20 χρόνια, που θεωρείται ότι είναι ο ωφέλιμος χρόνος ζωής του Η/Μ εξοπλισμού.

#### 5.2.6.7 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ - ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΤΛΗΣΗΣ - ΤΑΜΙΕΥΣΗΣ

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, στην περίπτωση ελλείμματος ενέργειας ο στρόβιλος της διάταξης άντλησης - ταμίευσης παράγει ενέργεια για την κάλυψη της ζήτησης, ενώ σε περίπτωση πλεονάσματος ενέργειας, μέσω του αντλιοστασίου αποθηκεύεται ένα μέρος αυτής της ενέργειας με τη μορφή δυναμικής ενέργειας νερού.

#### ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟ

Ο υπολογισμός της παραγόμενης, από τον υδροστρόβιλο, ενέργειας γίνεται μέσω επαναληπτικής διαδικασίας κατά την οποία προσδιορίζεται η τιμή της παροχής που πρέπει να διοχετευτεί σε αυτόν για να παραχθεί η ενέργεια που θα καλύψει την απαιτούμενη ζήτηση. Στην παραπάνω επαναληπτική διαδικασία λαμβάνονται υπ' όψιν και οι ολικές υδραυλικές απώλειες στον αγωγό πτώσης οι οποίες εξαρτώνται από την παροχή και το υλικό κατασκευής του αγωγού. Ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας από τον υδροστρόβιλο γίνεται με τη χρήση της παρακάτω σχέσης [39]:

$$E_{\text{hydro}} = \frac{\rho g H_n Q n}{1000} \quad (5.22)$$

Όπου:

$E_{\text{hydro}}$ , είναι η παραγόμενη ενέργεια από τον υδροστροβίλο, σε kWh

$\rho$ , είναι η πυκνότητα του θαλασσινού νερού και ελήφθη ίση με  $1025 \text{ kg/m}^3$

$g$ , είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και λαμβάνεται ίση με  $9.81 \text{ m/s}^2$

$H_n$ , είναι το καθαρό ύψος πτώσης του νερού στον υδροστροβίλο, σε m

$Q$ , είναι η παροχή του νερού προς τον υδροστροβίλο, σε  $\text{m}^3/\text{s}$

$n$ , είναι ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου, που εξαρτάται από το πηλίκο της παροχής που διοχετεύεται σε αυτόν προς τη μέγιστη παροχή λειτουργίας του ( $Q/Q_{\text{max}}$ )

Η επαναληπτική διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας του υδροστροβίλου έγινε υποθέτοντας μια αρχική τιμή, της διερχόμενης από αυτόν, παροχής ( $Q$ ), μέσω της οποίας υπολογίζεται ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου ( $n$ ) και οι συνολικές υδραυλικές απώλειες στον αγωγό πτώσης. Από τον υπολογισμό των συνολικών υδραυλικών προκύπτει το καθαρό ύψος πτώσης ( $H_n$ ) του νερού στον υδροστροβίλο. Η παραπάνω διαδικασία ακολουθείται μέχρι να βρεθεί η παροχή του υδροστροβίλου για την οποία η παραγόμενη ενέργεια από αυτόν είναι ίση με την απαιτούμενη ενέργεια. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα της επαναληπτικής διαδικασίας για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας του υδροστροβίλου:

- Τίθεται ως αρχική τιμή της παροχής λειτουργίας του υδροστροβίλου ( $Q$ ) η μέγιστη παροχή ( $Q_{\text{max}}$ ) για την οποία μπορεί να λειτουργήσει και που απλουστευτικά θεωρείται ίση με την παροχή που προκύπτει από τη Σχέση 5.22, λύνοντας ως προς  $Q$  για το δυσμενέστερο σενάριο ως προς την απαιτούμενη παροχή, όπου το ύψος πτώσης είναι ίσο με την κατώτατη στάθμη της δεξαμενής ( $H_{\text{min}}=360 \text{ m}$ ) και ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου είναι ο ελάχιστος για τον οποίο αυτός μπορεί να τεθεί σε λειτουργία ( $n=78\%$ ). Αν και το καθαρό ύψος πτώσης μπορεί να είναι και μικρότερο από  $360 \text{ m}$ , διότι υπάρχουν και υδραυλικές απώλειες στον αγωγό πτώσης, η αρχική εκτίμηση της μέγιστης παροχής λειτουργίας του υδροστροβίλου είναι σχετικά ασφαλής, καθώς η επιλογή της διαμέτρου του αγωγού πτώσης έχει γίνει με κύριο κριτήριο την ελαχιστοποίηση των υδραυλικών απωλειών.
- Για την τιμή  $Q$  της παροχής λειτουργίας του υδροστροβίλου που έχει υποτεθεί στο προηγούμενο βήμα, και με γνωστή τη διάμετρο του αγωγού πτώσης, γίνεται έλεγχος του διαθέσιμου αποθέματος της δεξαμενής αποθήκευσης καθώς και οι έλεγχοι



μέγιστης και ελάχιστης ταχύτητας ροής στον αγωγό πτώσης, οι οποίοι δίνονται από τις σχέσεις:

$$V_{\text{req}} < S_{\text{wt}} \quad (5.23)$$

$$V \geq V_{\text{min}} = 0.1 \text{ m/s} \quad (5.24)$$

$$V \leq V_{\text{max}} = 3.0 \text{ m/s} \quad (5.25)$$

Αν δεν ικανοποιείται ο έλεγχος επάρκειας του αποθέματος της δεξαμενής αποθήκευσης (Σχ. 5.23) ή ο έλεγχος της μέγιστης ταχύτητας ροής στον αγωγό πτώσης (Σχ. 5.25), τότε τίθεται νέα τιμή στην παροχή λειτουργίας του υδροστροβίλου ( $Q$ ), μικρότερη από αυτήν του προηγούμενου βήματος μέχρις ότου να ικανοποιούνται και οι δύο έλεγχοι. Αν όμως για την τιμή της παροχής ( $Q$ ) που έχει τεθεί δεν ικανοποιείται ο έλεγχος της ελάχιστης ταχύτητας ροής στον αγωγό πτώσης (Σχ. 5.24), τότε το σύστημα υδροστροβίλος - αγωγός πτώσης τίθεται σε λειτουργία με την ελάχιστη παροχή λειτουργίας του υδροστροβίλου και η επαναληπτική διαδικασία ολοκληρώνεται.

- Με δεδομένη τη μέγιστη τιμή της παροχής ( $Q_{\text{max}}$ ) του υδροστροβίλου υπολογίζεται ο βαθμός απόδοσης που αντιστοιχεί στην παροχή ( $Q$ ), ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$n = \frac{Q}{Q_{\text{max}}} \quad (5.26)$$

- Υπολογίζονται οι ολικές υδραυλικές απώλειες στον αγωγό πτώσης ως το άθροισμα των γραμμικών και των τοπικών απωλειών, σύμφωνα με τη σχέση:

$$h_{\text{tot}} = h_f + h_L \quad (5.27)$$

Με δεδομένο το μήκος του αγωγού πτώσης  $L=1200 \text{ m}$ , οι γραμμικές απώλειες του αγωγού υπολογίζονται από το γινόμενο της κλίσης της γραμμής ενέργειας ( $J_E$ ) επί το μήκος του αγωγού, σύμφωνα με τη σχέση:

$$h_f = J_E L \quad (5.28)$$

Η κλίση της γραμμής ενέργειας υπολογίζεται από την γενικευμένη εξίσωση Manning η οποία είναι η κλασική εξίσωση Manning εκφρασμένη με συντελεστές που έχουν προκύψει από την ελαχιστοποίηση του σφάλματος αυτής με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εξίσωση Colebrook - White [40] και δίνεται από τη σχέση:

$$V = \frac{1}{N} R^{\frac{1+\beta}{2}} J_E^{\frac{1+\gamma}{2}} \quad (5.29)$$

Όπου:

$V$ , είναι η ταχύτητα ροής στον αγωγό πτώσης, σε m/s

$R$ , είναι η υδραυλική ακτίνα του αγωγού πτώσης, σε m

$J_E$ , είναι η κλίση ενέργειας στον αγωγό πτώσης

$N, \beta, \gamma$ , είναι συντελεστές που υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις [40]:

$$\beta = 0.3 + 0.0005 \varepsilon_* + \frac{0.02}{1+6.8 \varepsilon_*} \quad (5.30)$$

$$\gamma = \frac{0.096}{1+0.31 \varepsilon_*} \quad (5.31)$$

$$N = 0.00687 (1 + 1.6 \varepsilon_*)^{0.16} \quad (5.32)$$

Όπου  $\varepsilon_*$  είναι η αδιαστατοποιημένη τιμή της τραχύτητας [40] που δίνεται από τη σχέση:

$$\varepsilon_* = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (5.33)$$

Όπου:

$\varepsilon$ , είναι η τιμή της τραχύτητας, που ελήφθη αυξημένη λόγω θαλασσινού νερού και ίση με 1 mm (αντί για περίπου 0.15 mm [40]).

$\varepsilon_0$ , προκύπτει ίσο με 0.05 mm από τη σχέση:

$$\varepsilon_0 = \left(\frac{v^2}{g}\right)^{1/3} \quad (5.34)$$

Όπου:

$v$ , είναι η κινηματική συνεκτικότητα του νερού που ισούται με  $1.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$g$ , είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας που ισούται με  $9.81 \text{ m/s}^2$

- Οι τοπικές απώλειες στον αγωγό πτώσης προκύπτουν από τον τύπο:

$$h_L = k \frac{V^2}{2g} \quad (5.35)$$

Όπου:

$V$ , είναι η ταχύτητα ροής στον αγωγό πτώσης, σε m/s

$g$ , είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και ισούται με  $9.81 \text{ m/s}^2$

$k$ , είναι ο συντελεστής τοπικών απωλειών, που εξαρτάται από το είδος της ροής και τη γεωμετρία του αγωγού. Συγκεκριμένα για τον αγωγό πτώσης, ο συντελεστής τοπικών απωλειών εκτιμήθηκε ίσος με  $k=0.5$ , καθώς θεωρήθηκε απλουστευτικά ότι οι τοπικές απώλειες στον αγωγό πτώσης εντοπίζονται κυρίως στο σημείο εξόδου του από τη δεξαμενή [41].

- Υπολογίζεται το καθαρό ύψος πτώσης του νερού στον υδροστρόβιλο που ισούται με τη διαφορά των ολικών υδραυλικών απωλειών από την κατώτατη στάθμη της δεξαμενής ( $H_{\min}=360$  m), καθώς αυτό είναι το δυσμενέστερο σενάριο για την απαιτούμενη παροχή του υδροστρόβιλου:

$$H_n = H_{\min} - h_{\text{tot}} \quad (5.36)$$

- Υπολογίζεται η παραγόμενη ενέργεια από τον υδροστρόβιλο (Σχ. 5.22).
- Αν η παραγόμενη ενέργεια από τον υδροστρόβιλο δεν καλύπτει την απαιτούμενη ζήτηση για ενέργεια τίθεται νέα τιμή παροχής ( $Q$ ) και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία. Στην περίπτωση που για την τιμή της παροχής ( $Q$ ) που υποτέθηκε, η παραγόμενη ενέργεια από τον υδροστρόβιλο προκύψει ίση με την απαιτούμενη ενεργειακή ζήτηση η επαναληπτική διαδικασία διακόπτεται.

### ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ

Για τον υπολογισμό της ενέργειας που καταναλώνει το αντλιοστάσιο σε κάθε χρονικό βήμα που υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας, είναι αναγκαίο να βρεθεί το σημείο λειτουργίας του συστήματος αντλιοστασίου - καταθλιπτικών αγωγών. Αυτό γίνεται με τη χρήση της καμπύλης παροχής - μανομετρικού ύψους που παρέχει ο κατασκευαστής για τον κάθε τύπο αντλίας και η αναλυτική διαδικασία περιγράφεται παρακάτω.

- Αρχικά υπολογίζεται ο συνδυασμός των αντλιών που εξασφαλίζουν τη μέγιστη παροχή άντλησης προς τη δεξαμενή ( $Q_{\text{pumps}}$ ), με την προϋπόθεση ότι για την παροχή αυτή το πλεόνασμα ενέργειας επαρκεί, δεν υπερχειλίζει η δεξαμενή αποθήκευσης και ικανοποιούνται οι έλεγχοι μέγιστης και ελάχιστης ταχύτητας ροής σε κάθε έναν καταθλιπτικό αγωγό έλεγχοι που δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$E_{\text{pumps}} \geq E_{\text{surplus}} \quad (5.37)$$

$$V_{\text{pumps}} \leq V_{\text{wt,av}} \quad (5.38)$$

$$V \geq V_{\min} = 0.1 \text{ m/s} \quad (5.39)$$

$$V \leq V_{\max} = 3.0 \text{ m/s} \quad (5.40)$$

Η παροχή με την οποία γίνεται η εκτίμηση του συνδυασμού των αντλιών σε κάθε χρονικό βήμα είναι η παροχή που προκύπτει από την καμπύλη παροχής - μανομετρικού ύψους για τον κάθε τύπο αντλίας ( $Q_{p1}$ ,  $Q_{p,2}$ ) και η οποία αντιστοιχεί σε μανομετρικό ύψος ίσο με την ανώτατη στάθμη της δεξαμενής ( $H_{\max}=366 \text{ m}$ ). Αυτό, αν και δεν είναι ακριβές, καθώς λόγω υδραυλικών απωλειών στον καταθλιπτικό αγωγό η παροχή λειτουργίας του κάθε τύπου αντλιών θα είναι μικρότερη από την παροχή της αντλίας που αντιστοιχεί στο  $H_{\max}$ , είναι μια αρχική προσέγγιση που αποτελεί και το δυσμενέστερο σενάριο ως προς την αντλούμενη παροχή προς τη δεξαμενή άντλησης - ταμίευσης.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι λόγω του γεγονότος ότι η αρχική τιμή της παροχής, που έχει υπολογιστεί για τον κάθε τύπο αντλίας είναι η μέγιστη, σε περίπτωση που για κάποιον τύπο αντλιών, δεν ικανοποιείται ο έλεγχος ελάχιστης ταχύτητας ροής στον καταθλιπτικό αγωγό (Σχ. 5.39), τότε αυτός ο τύπος αντλίας δεν μπορεί να τεθεί σε λειτουργία.

- Με βάση τον αριθμό των αντλιών που θα λειτουργήσουν στο εκάστοτε χρονικό βήμα ( $N_{p1}$ ,  $N_{p,2}$ ) υπολογίζεται η αρχικά εκτιμηθείσα παροχή που θα αντλείται από τον κάθε τύπο αντλίας ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ), μέσω των σχέσεων:

$$Q_1 = N_{p1} Q_{p1} \quad (5.41)$$

$$Q_2 = N_{p2} Q_{p2} \quad (5.42)$$

- Από την παροχή άντλησης κάθε τύπου αντλιών προκύπτουν οι ολικές υδραυλικές απώλειες στους αντίστοιχους καταθλιπτικούς αγωγούς ( $h_{\text{tot},1}$ ,  $h_{\text{tot},2}$ ) ως το άθροισμα γραμμικών και τοπικών απωλειών (Σχ. 5.27).

Στους καταθλιπτικούς αγωγούς με γνωστό το μήκος τους  $L=1200 \text{ m}$ , οι γραμμικές απώλειες ( $h_{f1}$ ,  $h_{f2}$ ) υπολογίζονται ομοίως με τον υπολογισμό των γραμμικών απωλειών στον αγωγό πτώσης (Σχ. 5.28).

Η κλίση της γραμμής ενέργειας ( $J_{E1}$ ,  $J_{E2}$ ) υπολογίζεται με τη χρήση της γενικευμένης εξίσωσης Manning [40], μέσω της διαδικασίας που περιγράφηκε για τον υπολογισμό της κλίσης της γραμμής ενέργειας του αγωγού πτώσης (Σχ. 5.29 - 5.34).

Οι τοπικές απώλειες στους καταθλιπτικούς αγωγούς ( $h_{L1}$ ,  $h_{L2}$ ) υπολογίζονται και αυτές ομοίως με τις τοπικές απώλειες στον αγωγό πτώσης (Σχ. 5.35).

Για τους καταθλιπτικούς αγωγούς, ο συντελεστής τοπικών απωλειών εκτιμήθηκε ίσος με  $k=1$  [41], καθώς θεωρήθηκε απλουστευτικά ότι οι τοπικές απώλειες στους καταθλιπτικούς αγωγούς εντοπίζονται κυρίως στο σημείο εισόδου τους στη δεξαμενή, όπου όλη η κινητική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε δυναμική.

- Γίνεται έλεγχος, ότι για την παροχή κάθε τύπου αντλίας ( $Q_1, Q_2$ ), το μανομετρικό της ύψος ( $H_{m,1}, H_{m,2}$ ), που προκύπτει από την καμπύλη παροχής - μανομετρικού ύψους αυτής, επαρκεί για την άντληση της εν λόγω παροχής σε υψόμετρο ίσο με την ανώτατη στάθμη της δεξαμενής ( $H_{max}=366$  m), συνυπολογίζοντας και τις ολικές υδραυλικές απώλειες στους καταθλιπτικούς αγωγούς ( $h_{tot,1}, h_{tot,2}$ ) σύμφωνα με τη σχέση:

$$H_{wt,m} + h_{tot,1} = H_{m,1} \quad (5.43)$$

$$H_{wt,m} + h_{tot,2} = H_{m,2} \quad (5.44)$$

Σε περίπτωση που ικανοποιούνται οι παραπάνω σχέσεις (Σχ. 5.43 & 5.44), τότε έχει βρεθεί και η παροχή λειτουργίας του κάθε συστήματος αντλία - καταθλιπτικός αγωγός. Σε διαφορετική περίπτωση, πράγμα που είναι και το πιθανότερο, ακολουθείται επαναληπτικά η παραπάνω διαδικασία με μικρότερες τιμές της παροχής κάθε τύπου αντλίας ( $Q_{p1}, Q_{p2}$ ), μέχρις ότου να ικανοποιηθούν οι παραπάνω σχέσεις (Σχ. 5.43 & 5.44)

Για την τελική τιμή της παροχής λειτουργίας κάθε συστήματος αντλίας - καταθλιπτικού αγωγού που υπολογίστηκε, γίνεται ο τελικός έλεγχος ελάχιστης ταχύτητας ροής σε κάθε καταθλιπτικό αγωγό (Σχ. 5.39). Στην περίπτωση όπου ο έλεγχος αυτός δεν ικανοποιείται σε κάποιον από τους καταθλιπτικούς αγωγούς, τότε το αντίστοιχο σύστημα αντλίες - καταθλιπτικός αγωγός δεν θα τεθεί σε λειτουργία.

Ο έλεγχος μέγιστης ταχύτητας ροής (Σχ. 5.40) και ο έλεγχος υπερχειλίσης της δεξαμενής (Σχ. 5.39) δεν γίνονται εκ νέου, εφόσον η παροχή λειτουργίας κάθε συστήματος αντλίας - καταθλιπτικού αγωγού είναι μικρότερη, σε κάθε επόμενο βήμα της επαναληπτικής διαδικασίας, από την αρχικά εκτιμηθείσα παροχή ( $Q_{p1}, Q_{p2}$ ), για την οποία έχει ελεγχθεί ότι ικανοποιούνται και οι δύο παραπάνω έλεγχοι. Για τον ίδιο λόγο δεν γίνεται εκ νέου και ο έλεγχος επάρκειας του πλεονάσματος ενέργειας, διότι για όλες τις μικρότερες τιμές της παροχής, σε κάθε επόμενο βήμα της επαναληπτικής διαδικασίας, η απαιτούμενη, από τις αντλίες, ενέργεια θα είναι μικρότερη, όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 5.7 και το Διάγραμμα 5.9.

- Όταν βρεθεί η μέγιστη παροχή που μπορεί να αντληθεί από το σύστημα αντλιών - καταθλιπτικών αγωγών για την οποία ικανοποιούνται και όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι,

η επαναληπτική διαδικασία σταματά. Σε διαφορετική περίπτωση συνεχίζεται με νέα τιμή της κάθε παροχής ( $Q_{p1}$ ,  $Q_{p2}$ ).

## 6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής περιγραφή του τρόπου με τον οποίο προσομοιώθηκε η λειτουργία του υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού της Αστυπάλαιας, όπως αυτό σχεδιάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Δηλαδή, γίνεται λεπτομερής περιγραφή κάθε βήματος του μοντέλου του ωριαίου ισοζυγίου ζήτησης - παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που καταστρώθηκε με σκοπό την διερεύνηση της αξιοπιστίας του συστήματος ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης, αλλά και την οικονομική του αξιολόγηση, χωρίς να ληφθεί υπόψη η οικονομική συνεισφορά των κρατικών επιδοτήσεων για την κατασκευή διατάξεων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Όπως έχει προαναφερθεί, οι πηγές ενέργειας που αξιοποιήθηκαν στο ενεργειακό μείγμα του συστήματος της Αστυπάλαιας είναι η αιολική, η ηλιακή, η κυματική, η ενέργεια από τη βιομάζα, η ενέργεια από το βιοαέριο και η υδροηλεκτρική. Επίσης, έγινε και πρόβλεψη για την αποθήκευση της ενέργειας που δεν μπορεί άμεσα να αξιοποιηθεί από το δίκτυο μέσω διάταξης άντλησης - ταμίευσης θαλασσινού νερού στην οποία αποθηκεύεται ενέργεια με τη μορφή της δυναμικής ενέργειας νερού, πρόβλεψη για την κατασκευή διατάξεων αποθήκευσης βιοαερίου καθώς και πρόβλεψη για την κατασκευή αποθηκών ικανών να αποθηκεύσουν την παραγόμενη ποσότητα βιομάζας 1.5 ετών.

Ο τρόπος με τον οποίο προσομοιώθηκε η λειτουργία του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού της Αστυπάλαιας, είναι η κατάστρωση του μοντέλου ωριαίου ισοζυγίου μεταξύ ζήτησης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για χρονική διάρκεια 100 ετών.

Ο σχεδιασμός του μοντέλου ισοζυγίου έγινε με πρώτο κριτήριο την αβεβαιότητα που παρουσιάζει ως προς την παραγωγή ενέργειας κάθε ανανεώσιμη πηγή και δευτερευόντως με κριτήριο τον χρόνο απόκρισης της κάθε διάταξης παραγωγής ενέργειας, δηλαδή τον χρόνο που απαιτείται από τη στιγμή που η διάταξη θα εκκινήσει τη λειτουργία της, μέχρι τη στιγμή που θα είναι σε θέση να παρέχει σταθερή ποσότητα ενέργειας στο δίκτυο του νησιού. Συνεπώς προτεραιότητα στην κάλυψη της ωριαίας ζήτησης για ενέργεια επιλέχθηκε να έχουν οι μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές, που συγκεκριμένα εδώ είναι ο άνεμος, ο ήλιος και τα κύματα, και που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα, λόγω της στοχαστικότητας που υπάρχει στην πνοή του ανέμου ή στην ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης. Στην συνέχεια επιλέχθηκε να αξιοποιηθούν οι ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές που έχουν

το μικρότερο χρόνο απόκρισης και που εδώ είναι η ενέργεια από το βιοαέριο και η υδροηλεκτρική ενέργεια και τελευταία επιλέχθηκε να αξιοποιηθεί η ενέργεια από τη βιομάζα που ανήκει μεν στην κατηγορία των ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά που έχει δε, τον μεγαλύτερο χρόνο απόκρισης από τις άλλες δύο. Για τον λόγο αυτό και επιλέχθηκε να είναι η ενέργεια από τη βιομάζα αυτή που θα χρησιμοποιείται για την παραγωγή της ενέργειας βάσης στο νησί, έτσι ώστε η διάταξη παραγωγής ενέργειας από τη βιομάζα να μην τίθεται εκτός λειτουργίας, παρά μόνο για την συντήρησή της, πράγμα που συμβάλλει στην μείωση του χρόνου απόκρισής της, αλλά και στην μεγαλύτερη αποδοτικότητα της (Υποενότητα 5.2.5). Η αποθήκευση ενέργειας μέσω της διάταξης άντλησης - ταμίευσης επιλέχθηκε να γίνεται όταν η ζήτηση για ενέργεια έχει καλυφθεί εξ ολοκλήρου από τις μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές και υπάρχει ικανό πλεόνασμα ενέργειας για να μπορέσει να τεθεί σε λειτουργία το αντλιοστάσιο. Τέλος, αν το υβριδικό σύστημα των ανανεώσιμων πηγών αστοχήσει, το έλλειμμα ενέργειας θα καλύπτεται μέσω των θερμοηλεκτρικών σταθμών που υπάρχουν τώρα στο νησί, ούτως ώστε να μην υπάρξει διακοπή στην ηλεκτροδότηση.

Για την οικονομική αξιολόγηση ενός τέτοιου μεγέθους συστήματος παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, έγινε εκτίμηση του συνολικού κόστους κατασκευής του, συντήρησής του και λειτουργίας του. Επιπλέον υπολογίστηκε ο χρόνος που απαιτείται για την απόσβεση της επένδυσης και το συνολικό οικονομικό όφελος που προκύπτει από την εξοικονόμηση χρημάτων που θα γίνεται από την προμήθεια και τη καύση πετρελαίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί.

#### ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Παρακάτω γίνεται αναλυτική περιγραφή του μοντέλου ωριαίας λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ενέργειας, όπως σχεδιάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

- Παραγωγή ενέργειας βάσης ( $E_b$ , σε kWh) μέσω της χρήσης βιομάζας (Σχ. 5.18). Η ενέργεια βάσης ισούται με την ελάχιστη ωριαία ζήτηση για ενέργεια των 100 ετών ωφέλιμης διάρκειας ζωής του συστήματος.
- Ωριαία παραγωγή ενέργειας από τις μη ελέγξιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή από τις ανεμογεννήτριες ( $E_{wt}$ , σε kWh) (Ενότητα 5.2.1), τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ( $E_{sp}$ , σε kWh) (Ενότητα 5.2.2) και τη διάταξη υπερπήδησης - ανύψωσης κυμάτων ( $E_{wod}$ , σε kWh) (Ενότητα 5.2.3).



- Αν η ωριαία παραγόμενη ενέργεια από τις παραπάνω τρεις μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές του συστήματος υπερκαλύπτει την ωριαία ζήτηση για ενέργεια ( $E_d$ ) αν από αυτή αφαιρεθεί η ενέργεια βάσης ( $E_b$ ), δηλαδή αν:

$$E_{wt} + E_{sp} + E_{wod} \geq (E_d - E_b) \quad (6.1)$$

τότε ακολουθούνται με τη σειρά τα παρακάτω βήματα:

- i. Η διάταξη του βιοαερίου δεν θα τεθεί σε λειτουργία και η ωριαία παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από τον αναερόβιο χωνευτή θα αποθηκευτεί στο αεροφυλάκιο της εγκατάστασης, θεωρώντας ότι δεν υπάρχει περιορισμός στον διαθέσιμο όγκο του.
- ii. Εξετάζεται αν το πλεόνασμα ενέργειας ( $E_{surplus}$  σε kWh) που προκύπτει από τη σχέση:

$$E_{surplus} = (E_{wt} + E_{sp} + E_{wod}) - (E_d - E_b) \quad (6.2)$$

μπορεί να αξιοποιηθεί από το αντλιοστάσιο για την άντληση θαλασσινού νερού προς τη δεξαμενή αποθήκευσης της διάταξης άντλησης - ταμίευσης (Ενότητα 5.2.6.7).

- iii. Αν το ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας επαρκεί, τότε γίνεται η εύρεση του συνδυασμού των αντλιών που, με το δεδομένο ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας, αντλεί τη μέγιστη δυνατή παροχή νερού προς τη δεξαμενή. Για την μέγιστη αυτή παροχή, ελέγχεται ότι ικανοποιούνται τα όρια μέγιστης και ελάχιστης ταχύτητας στους καταθλιπτικούς αγωγούς, αλλά και ότι υπάρχει διαθεσιμότητα όγκου στη δεξαμενή αποθήκευσης (Υποενότητα 5.2.6.7).
  - iv. Αν το ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας δεν επαρκεί για την λειτουργία του αντλιοστασίου, τότε αυτό δεν θα τεθεί σε λειτουργία και το ωριαίο πλεόνασμα ενέργειας θα μείνει αναξιοποίητο.
- Αν η ωριαία παραγόμενη ενέργεια από τις μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές (σε kWh) δεν επαρκεί (Σχ. 6.1) για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης, αν από αυτή αφαιρεθεί η ενέργεια βάσης, δηλαδή αν:

$$E_{wt} + E_{sp} + E_{wod} \leq (E_d - E_b) \quad (6.3)$$

τότε ακολουθούνται με τη σειρά τα παρακάτω βήματα:

- i. Παράγεται όση ενέργεια είναι δυνατό να παραχθεί από τις μη ελέγξιμες πηγές ενέργειας του συστήματος και υπολογίζεται το ωριαίο ενεργειακό έλλειμμα από τη σχέση:

$$E_{\text{deficit}} = (E_d - E_b) - (E_{\text{wt}} + E_{\text{sp}} + E_{\text{wod}}) \quad (6.4)$$

- ii. Το αντλιοστάσιο δεν τίθεται σε λειτουργία.
- iii. Ελέγχεται αν το ωριαίο ενεργειακό έλλειμμα (Σχ. 6.5) μπορεί να καλυφθεί από την ποσότητα βιοαερίου που βρίσκεται αποθηκευμένη τη δεδομένη ώρα στα αεροφυλάκια της εγκατάστασης βιοαερίου και αν η ωριαία δυναμικότητα της μηχανής συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας ( $P_{\text{bg}}$  σε kW) της εγκατάστασης επαρκεί για την παραγωγή του απαιτούμενου ποσού ενέργειας, δηλαδή αν:

$$V_{\text{bg,st}} \geq V_{\text{bg,req}} \quad (6.5)$$

$$(P_{\text{bg}} \times 1 \text{ h}) \geq E_{\text{deficit}} \quad (6.6)$$

- iv. Αν υπάρχει διαθέσιμη ποσότητα βιοαερίου στο αεροφυλάκιο και η δυναμικότητα της εγκατάστασης βιοαερίου επαρκεί, τότε το ωριαίο ενεργειακό έλλειμμα καλύπτεται από τη ενέργεια που παράγεται από το βιοαέριο (Υποενότητα 5.2.4.6).
- v. Αν κάποιος από τους ελέγχους δεν ικανοποιείται (Σχ. 6.6, 6.7), τότε η διάταξη παραγωγής ενέργειας από το βιοαέριο παράγει τη μέγιστη ενέργεια που δύναται και υπολογίζεται το νέο ωριαίο ενεργειακό έλλειμμα (σε kWh), σύμφωνα με τη σχέση:

$$E'_{\text{deficit}} = E_{\text{deficit}} - E_{\text{biogas}} \quad (6.7)$$

- vi. Ελέγχεται αν το υπολειπόμενο ωριαίο έλλειμμα ενέργειας (Σχ. 6.8) μπορεί να καλυφθεί από την υδροηλεκτρική διάταξη που διαθέτει το σύστημα (Υποενότητα 5.2.6.7), δηλαδή ελέγχεται αν υπάρχει ο απαιτούμενος, στη δεξαμενή αποθήκευσης, όγκος νερού ( $V_{\text{wt,av}}$  σε  $\text{m}^3$ ), για την κάλυψη του ελλείμματος ενέργειας από τον υδροστροβίλο ( $V_{\text{ht,rqrd}}$  σε  $\text{m}^3$ ) και αν το ωριαίο έλλειμμα ενέργειας δεν υπερβαίνει την μέγιστη ωριαία δυναμικότητα του υδροστροβίλου ( $P_{\text{ht}}$  σε kW), δηλαδή αν ισχύουν οι σχέσεις:

$$V_{\text{wt,av}} \geq V_{\text{ht,rqrd}} \quad (6.8)$$

$$(P_{\text{ht}} 1 \text{ h}) \geq E'_{\text{deficit}} \quad (6.9)$$

Αν ισχύουν και οι δύο παραπάνω σχέσεις τότε το ωριαίο ενεργειακό έλλειμμα καλύπτεται από την υδροηλεκτρική διάταξη του συστήματος (Υποενότητα 5.2.6.7).

- vii. Αν κάποιος από τους παραπάνω ελέγχους (Σχ. 6.8, 6.9) δεν ικανοποιείται τότε παράγεται η μέγιστη ενέργεια που δύναται να παραχθεί από την υδροηλεκτρική

διάταξη ( $E_{\text{hydro}}$  σε kWh) και υπολογίζεται το νέο ωριαίο ενεργειακό έλλειμμα (σε kWh) με βάση τη σχέση:

$$E''_{\text{deficit}} = E'_{\text{deficit}} - E_{\text{hydro}} \quad (6.10)$$

viii. Ελέγχεται αν είναι διαθέσιμη ( $M_{\text{bm,av}}$  σε tn) η απαιτούμενη ποσότητα βιομάζας ( $M_{\text{bm,rqrd}}$  σε tn) για την κάλυψη του ωριαίου ενεργειακού ελλείμματος. Για την διάταξη βιομάζας δεν γίνεται έλεγχος δυναμικότητας της εγκατάστασης γιατί η εγκατεστημένη ισχύς της διάταξης επιλέχθηκε να είναι λίγο μεγαλύτερη ( $P_{\text{bm}}=2.8$  MW) από την ωριαία αιχμή της ζήτησης των 100 ετών ( $E_{\text{max}}=2.72$  MWh). Επομένως η διάταξη βιομάζας, αν υπάρχει το απαιτούμενο απόθεμα βιομάζας, θα είναι σε θέση να καλύψει την ενεργειακή ζήτηση κάθε ώρας και συνεπώς ο μόνος έλεγχος που πρέπει να ικανοποιείται είναι η σχέση:

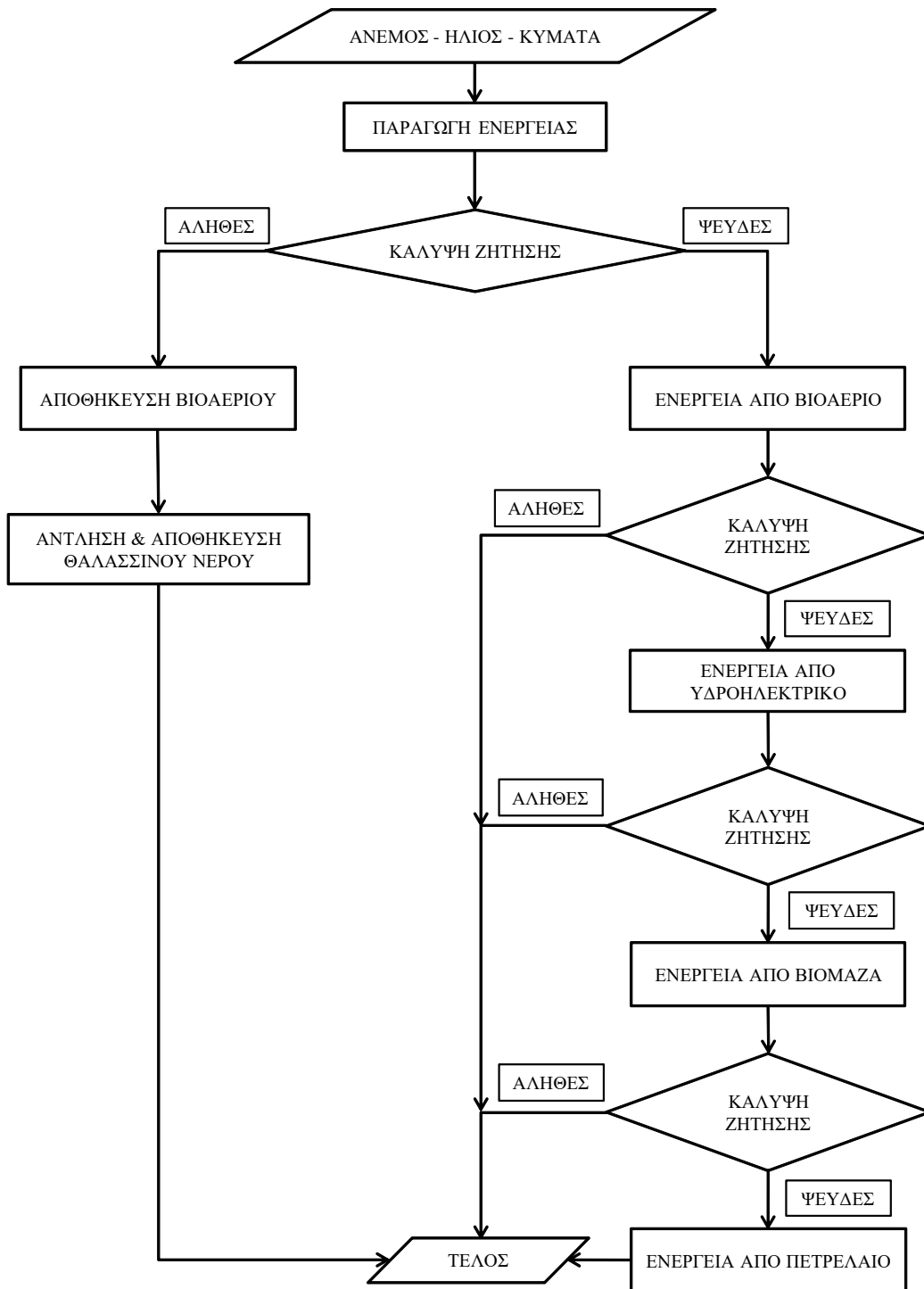
$$M_{\text{bm,av}} \geq M_{\text{bm,rqrd}} \quad (6.11)$$

ix. Αν ικανοποιείται ο παραπάνω έλεγχος (Σχ. 6.11), τότε το ωριαίο ενεργειακό έλλειμμα καλύπτεται από την εγκατάσταση της βιομάζας (Υποενότητα 5.2.5).  
 x. Αν ο παραπάνω έλεγχος (Σχ. 6.11) δεν ικανοποιείται τότε η διάταξη βιομάζας παράγει τη μέγιστη ωριαία ενέργεια που δύναται ( $E_{\text{bm}}$  σε kWh), το υβριδικό σύστημα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει αστοχήσει και υπολογίζεται το νέο ωριαίο ενεργειακό έλλειμμα (σε kWh) σύμφωνα με τη σχέση:

$$E'''_{\text{deficit}} = E''_{\text{deficit}} - E_{\text{bm}} \quad (6.12)$$

xi. Αν το υβριδικό σύστημα των ανανεώσιμων πηγών αστοχήσει, το υπολειπόμενο ωριαίο ενεργειακό έλλειμμα (Σχ. 6.12) καλύπτεται μέσω της καύσης πετρελαίου στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς που ήδη διαθέτει το νησί και των οποίων η εγκατεστημένη ισχύς επαρκεί για να καλύψει τη μέγιστη ενεργειακή ζήτηση των 100 ετών ( $E_{\text{max}}=2.72$  MWh). Συνεπώς αν και το σύστημα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αστοχήσει, δεν διακόπτεται η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί της Αστυπάλαιας.

Στο παρακάτω διάγραμμα ροής παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας του υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας όπως σχεδιάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



Διάγραμμα 6.1: Διάγραμμα ροής της λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ενέργειας της Αστυπάλαιας

## 7. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα οικονομικά μεγέθη της κάθε διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Με τον όρο οικονομικά μεγέθη εννοείται το κόστος για την εγκατάσταση της κάθε διάταξης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το λειτουργικό κόστος κάθε διάταξης, το κόστος για τις αντικαταστάσεις του Η/Μ εξοπλισμού και την γενικότερη συντήρηση ή και αντικατάσταση των έργων Π/Μ που απαιτείται να γίνει στη διάρκεια των 100 ετών λειτουργίας του υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εξετάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

### 7.1 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΤΙΣ ΑΠΕ

Η οικονομική αξιολόγηση ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας βασισμένο αποκλειστικά στην χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για πολλούς λόγους. Ένας εκ των κυριοτέρων, είναι ο εκτίμηση του κόστους παραγωγής ενέργειας. Αυτό είναι αναγκαίο, γιατί το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα νησί του Αιγαίου, όπως εν προκειμένω η Αστυπάλαια, με έντονη τουριστική δραστηριότητα είναι καθοριστικός παράγοντας για την ανταγωνιστικότητα του νησιού ως προς το τουριστικό προϊόν που παρέχει και κατ' επέκταση παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιβίωση πολλών επιχειρήσεων και θέσεων εργασίας στο νησί. Επομένως αν το μέσο κόστος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, από το υβριδικό σύστημα των ανανεώσιμων πηγών, είναι σημαντικά μεγαλύτερο σε σύγκριση με το αντίστοιχο κόστος παραγωγής ενέργειας με τις συμβατικές μεθόδους, το νησί θα επιστρέψει στην χρήση ορυκτών καυσίμων για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών, πράγμα που θα σημαίνει και την πλήρη αποτυχία στην σχεδίαση ενός συστήματος που στόχο έχει την επίτευξη ενεργειακής αυτονομίας και την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.

Ένας ακόμα λόγος για τον οποίο είναι αναγκαία η οικονομική ανάλυση μιας τέτοιου μεγέθους επένδυσης στις ανανεώσιμες πηγές είναι και η αβεβαιότητα η οποία διακρίνει την παραγωγή ενέργειας από αυτές. Είναι γνωστό ότι η στοχαστικότητα που διακρίνει μεγέθη όπως η ταχύτητα του ανέμου ή η ηλιακή ακτινοβολία, καθιστά και την πρόβλεψη της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως από τις μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές ιδιαίτερα δύσκολη, με συνέπεια να επηρεάζεται η αξιοπιστία του συστήματος στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η κατασκευή επιπλέον διατάξεων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που διακρίνονται από μικρότερη αβεβαιότητα, όπως για

παράδειγμα μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αξιοποίηση βιομάζας ή την κατασκευή διατάξεων αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές και δεν καθίσταται εφικτή η άμεση αξιοποίησή της.

Η κατασκευή, όμως τέτοιων διατάξεων που στόχο έχουν την σταθεροποίηση του συστήματος παραγωγής ενέργειας και την αύξηση της αξιοπιστίας του σε σχέση με την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης, αυξάνουν σημαντικά το κόστος της συνολικής επένδυσης. Για το λόγο, αυτό θα πρέπει να εκτιμηθεί η επιβάρυνση στο μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας ενός αυτόνομου συστήματος παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, από τις διατάξεις αποθήκευσης. Πρώτον, για την επιλογή της βέλτιστης διάταξης αποθήκευσης ενέργειας και δεύτερον, γιατί πρέπει να γίνει εκτίμηση της επιβάρυνσης στη συνολική επένδυση και κατ' επέκταση και στο χρόνο απόσβεσης αυτής, σε αντίστιξη με το όφελος που προσφέρει η κάθε διάταξη αποθήκευσης στη συνολική αξιοπιστία του συστήματος παραγωγής ενέργειας.

## 7.2 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ

Παρακάτω αναλύεται το κόστος για την εγκατάσταση κάθε διάταξης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών. Οι διατάξεις που αξιοποιήθηκαν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά panels, η διάταξη υπερπήδησης - ανύψωσης κυμάτων, η μονάδα παραγωγής ενέργειας από το βιοαέριο, η μονάδα παραγωγής ενέργειας από τη βιομάζα και η υδροηλεκτρική διάταξη. Η κύρια διάταξη που αξιοποιήθηκε για την αποθήκευση ενέργειας είναι αυτή της άντλησης - ταμίευσης. Επιπλέον όμως αυτής προβλέπονται και εγκαταστάσεις αποθήκευσης βιοαερίου και βιομάζας που όμως κατασκευάζονται με σκοπό την προσωρινή αποθήκευση μέχρι τη χρήση τους για ηλεκτροπαραγωγή και όχι για την αποθήκευση πλεονάζουσας ενέργειας, όπως στην περίπτωση της άντλησης - ταμίευσης.

Πρέπει να επισημανθεί σε αυτό το σημείο, ότι ο ακριβής υπολογισμός του κόστους κάθε διάταξης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από πολλές παραμέτρους οι οποίες είναι ιδιαίτερα δύσκολο να προσδιοριστούν σε επίπεδο διπλωματικής εργασίας και γι' αυτό τα κόστη που παρουσιάζονται παρακάτω είναι ενδεικτικά και έχουν προκύψει από βιβλιογραφική ανασκόπηση και γενικότερη αναζήτηση. Παρόλα αυτά, στον υπολογισμό του κόστους λαμβάνεται για κάθε διάταξη ένας συντελεστής οικονομίας κλίμακας, ο οποίος υπολογίστηκε με βάση την απόκλιση της εγκατεστημένης ισχύος κάθε διάταξης από τον 1 MW εγκατεστημένης ισχύος και με άνω/κάτω όριο το  $\pm 20\%$ . Αυτό έγινε με σκοπό να συνυπολογιστεί με κάποιον τρόπο το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την εγκατάσταση μιας μεγάλης κλίμακας διάταξης παραγωγής ενέργειας σε σύγκριση με μια

μικρότερης κλίμακας ή αντίθετα η οικονομική επιβάρυνση που προκύπτει από την εγκατάσταση μιας μικρότερης κλίμακας διάταξη παραγωγής ενέργειας σε σύγκριση με μια μεγαλύτερης κλίμακας.

### 7.2.1 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Το κόστος εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 500 kW θεωρήθηκε ίσο με 750000 €/ανεμογεννήτρια [42] και περιλαμβάνει κυρίως το κόστος της εγκατάστασης, το κόστος θεμελίωσης, το κόστος απόκτησης της γεννήτριας και το κόστος της σύνδεσης της ανεμογεννήτριας στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού.

### 7.2.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων περιλαμβάνει κυρίως το κόστος απόκτησης των πλαισίων, το κόστος εγκατάστασής τους και το κόστος σύνδεσης του φωτοβολταϊκού πάρκου με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού. Συμπεριλαμβανομένων όλων των παραπάνω το συνολικό κόστος εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πλαισίων θεωρήθηκε ίσο με 2000 €/εγκατεστημένο kW [42] [43].

### 7.2.3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ

Το κόστος μιας διάταξης υπερπήδησης - ανύψωσης κυμάτων θεωρήθηκε ίσο με 4000 €/εγκατεστημένο kW [26] [42] [43] και περιλαμβάνει το κόστος εγκατάστασης της διάταξης, το κόστος θεμελίωσής της, το κόστος απόκτησης του υδροστροβίλου για την παραγωγή ενέργειας από το νερό των κυματισμών και το κόστος σύνδεσης της εγκατάστασης στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού.

### 7.2.4 ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ

Το κόστος μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την αξιοποίηση βιοαερίου θεωρήθηκε ίσο με 3000 €/εγκατεστημένο kW και περιλαμβάνει κυρίως το κόστος της κατασκευής του αναερόβιου χωνευτή για την παραγωγή του βιοαερίου, το κόστος απόκτησης της μηχανής εσωτερικής καύσης και όλου του εξοπλισμού που χρειάζεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του βιοαερίου και το κόστος της κατασκευής του αεροφυλακίου για την αποθήκευση του βιοαερίου που παράγεται και δεν μπορεί να αξιοποιηθεί άμεσα για ηλεκτροπαραγωγή. Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να τονιστεί πως για να γίνει η

διερεύνηση της συμβολής του βιοαερίου στο σύστημα παραγωγής ενέργειας που εξετάστηκε επιλέχθηκε να μην εισαχθεί στο μοντέλο που κατασκευάστηκε για την προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος περιορισμός στην αποθηκευτική ικανότητα της εγκατάστασης. Ο μόνος περιορισμός που εισήχθη είναι ο περιορισμός του κόστους για την κατασκευή και την αντικατάσταση των αεροφυλακίων αποθήκευσης της μέγιστης ωριαίας ποσότητας βιοαερίου, ο οποίος συμπεριλήφθη στο αυξημένο κόστος εγκατάστασης της διάταξης του βιοαερίου και στο αυξημένο κόστος αντικατάστασης των Η/Μ τμημάτων της διάταξης.

#### 7.2.5 ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

Το κόστος μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση βιοαερίου θεωρήθηκε ίσο με 3000 €/εγκατεστημένο kW [42] [43] και περιλαμβάνει κυρίως το κόστος της κατασκευής των εγκαταστάσεων της μονάδας, το κόστος για την απόκτηση των μηχανών καύσης του σύνθετου αερίου που παράγεται από τον αεριοποιητή και όλου του απαραίτητου εξοπλισμού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη βιομάζα καθώς και το κόστος των εγκαταστάσεων αποθήκευσης της βιομάζας μέχρι αυτή να αξιοποιηθεί για ηλεκτροπαραγωγή.

#### 7.2.6 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ

Το κόστος του υδροστροβίλου θεωρήθηκε ίσο με 800 €/εγκατεστημένο kW [42] [43] και περιλαμβάνει κυρίως το κόστος απόκτησης και εγκατάστασης του υδροστροβίλου και των συστημάτων ελέγχου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του θαλασσινού νερού που αποθηκεύεται στη δεξαμενή αποθήκευσης της διάταξης άντλησης - ταμίευσης.

#### 7.2.7 ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Το κόστος κατασκευής της δεξαμενής αποθήκευσης του θαλασσινού νερού που θα αντλείται όταν το υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας στο σύστημα και το οποίο θα αποθηκεύεται στη δεξαμενή, θεωρήθηκε ίσο με 10 €/m<sup>3</sup>.



### 7.2.8 ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ

Όπως έχει προαναφερθεί το αντλιοστάσιο του συστήματος άντλησης - ταμίευσης θα διαθέτει δύο τύπους αντλιών. Το κόστος απόκτησης μίας αντλίας τύπου 1, θεωρήθηκε ίσο με 80.000 €, ενώ το αντίστοιχο κόστος για μια αντλία τύπου 2 θεωρήθηκε ίσο με 35.000 €, [44].

### 7.2.9 ΑΓΩΓΟΙ

Για τη λειτουργία του συστήματος είναι απαραίτητη η κατασκευή τριών αγωγών και συγκεκριμένα του αγωγού πτώσης και των δύο καταθλιπτικών αγωγών. Το κόστος για την κατασκευή κάθε αγωγού θεωρήθηκε ίσο με 150 €/m [45] και θεωρήθηκε ίδιο και για τους τρεις αγωγούς καθώς οι διάμετροί τους δεν έχουν μεγάλη διαφορά μεταξύ τους.

### 7.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ

Σημαντικό μέρος του κόστους ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που αξιοποιεί πολλές ανανεώσιμες πηγές είναι το λειτουργικό κόστος. Το λειτουργικό κόστος είναι το κόστος που απαιτείται σε ετήσια βάση για την εξασφάλιση της λειτουργίας και της συντήρησης του συστήματος παραγωγής ενέργειας. Παρακάτω παρουσιάζεται το ετήσιο λειτουργικό κόστος για κάθε μία διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται στο σύστημα της Αστυπάλαιας. Επισημαίνεται, ότι και η εκτίμηση του λειτουργικού κόστους της κάθε διάταξης παραγωγής ενέργειας που συμμετέχει στο υβριδικό σύστημα της Αστυπάλαιας είναι ενδεικτική και έχει προκύψει και αυτή, όπως και το κόστος εγκατάστασης της κάθε διάταξης, από βιβλιογραφική ανασκόπηση και σχετική αναζήτηση.

#### 7.3.1 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος των ανεμογεννητριών θεωρήθηκε ίσο με 10000 €/ανεμογεννήτρια/year και αφορά κυρίως στη συντήρηση του Η/Μ εξοπλισμού της ανεμογεννήτριας και την παρακολούθηση της ομαλής λειτουργίας της [46].

#### 7.3.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων θεωρήθηκε ίσο με 0.015 €/παραγόμενη MWh [38] και αφορά τη συντήρηση του Η/Μ εξοπλισμού τους και τον καθαρισμό των επιφανειών τους που αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την αποδοτικότητά τους στην ηλεκτροπαραγωγή, αφού επηρεάζεται η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από αυτά.

#### 7.3.3 ΔΙΑΤΑΞΗ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος της διάταξης υπερπήδησης - ανύψωσης θεωρήθηκε ίσο με 0.04 €/παραγόμενη kWh [47] και αφορά το χειρισμό και τη συντήρηση του Η/Μ εξοπλισμού της εγκατάστασης για την παραγωγή ενέργειας, την γενικότερη συντήρηση της εγκατάστασης έτσι ώστε αυτή να παραμένει λειτουργική και τις απολαβές των εργαζομένων που δουλεύουν στην εγκατάσταση.

#### 7.3.4 ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος της μονάδας παραγωγής ενέργειας από βιοαέριο θεωρήθηκε ίσο με 0.025 €/παραγόμενη kWh για τη μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας και σε 2% του συνολικού κόστους εγκατάστασης του βιοαερίου για τα υπόλοιπα τμήματα της εγκατάστασης [48].

#### 7.3.5 ΜΟΝΑΔΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος της μονάδας παραγωγής ενέργειας από βιομάζα θεωρήθηκε ίσο με 200000 €/year και αφορά τη γενικότερη συντήρηση και τον χειρισμό του Η/Μ εξοπλισμού της εγκατάστασης έτσι ώστε αυτή να παραμένει λειτουργική και έτοιμη να παράγει ενέργεια όταν αυτό απαιτηθεί, τη μεταφορά της βιομάζας από τον τόπο καλλιέργειας στην εγκατάσταση και την αποθήκευσή της εκεί, καθώς και τις οικονομικές απολαβές των εργαζομένων στην εγκατάσταση. Επίσης σημαντικό ετήσιο κόστος για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα είναι το κόστος απόκτησης της βιομάζας από τους παραγωγούς, που υπολογίζεται περίπου στα 180 €/tn σε τιμές χονδρικής πώλησης [49]. Όμως λόγω της μικρής «αγοράς» ενός νησιού όπως αυτό της Αστυπάλαιας, σε συνδυασμό το υψηλό κόστος του πετρελαίου στο νησί που επιβαρύνει αναπόφευκτα και το κόστος παραγωγής της αγριαγκινάρας προσαυξήθηκε το κόστος παραγωγής κατά 150 €/tn. Έτσι ελήφθη ως κόστος παραγωγής της αγριαγκινάρας η τιμή των 330 €/tn. Συνεπώς στο ετήσιο λειτουργικό κόστος της μονάδας παραγωγής ενέργειας από βιομάζα προστίθεται και το κόστος για την απόκτηση της συνολικής ετήσιας ποσότητας βιομάζας που αξιοποιήθηκε για ηλεκτροπαραγωγή.

#### 7.3.6 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ - ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος της μονάδας παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας και του αντλιοστασίου θεωρήθηκε ίσο με 50000 €/έτος και αφορά τη γενικότερη συντήρηση και τον χειρισμό του Η/Μ εξοπλισμού της και κυρίως του υδροστροβίλου, ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργικότητα και η ετοιμότητά του όταν απαιτηθεί η χρήση του για την παραγωγή ενέργειας.

## 7.4 ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω η προσομοίωση της λειτουργίας του υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση πολλαπλών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έγινε με χρονικό ορίζοντα τα 100 έτη λειτουργίας. Συνεπώς είναι απαραίτητο να προβλεφθεί η αντικατάσταση όλων εκείνων των κατασκευών και των εξοπλισμών από τις οποίες απαρτίζεται το παραπάνω σύστημα και που εξασφαλίζουν την λειτουργία του και την παραγωγή ενέργειας από αυτό και των οποίων η ωφέλιμη διάρκεια ζωής είναι μικρότερη από τα 100 έτη. Αυτό ισχύει για όλα τα έργα πολιτικού μηχανικού που έχουν συνήθως ωφέλιμη διάρκεια ζωής γύρω στα 40 - 50 έτη και για όλο τον Η/Μ εξοπλισμό που διαθέτει το σύστημα και έχει ωφέλιμη διάρκεια ζωής γύρω στα 20 - 25 έτη [50].

Η εκτίμηση του κόστους της αντικατάστασης ή ανακατασκευής των μερών που διαθέτει η κάθε διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμήθηκε με βάση τον τύπο του ανατοκισμού [50]:

$$\frac{P}{F} = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (7.1)$$

Όπου:

$P$ , είναι το ισοδύναμο αρχικό κόστος για την απόκτηση του Η/Μ εξοπλισμού ή την ανακατασκευή έργου Π/Μ της κάθε διάταξης, σε €

$F$ , είναι το κόστος απόκτησης του Η/Μ εξοπλισμού ή το κόστος κατασκευής του έργου Π/Μ της κάθε διάταξης σε σημερινές τιμές, σε €

$i$ , είναι το αποπληθωρισμένο επιτόκιο, το οποίο ελήφθη ίσο με 5 %

$n$ , είναι ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης, σε έτη (years)

Με βάση την παραπάνω σχέση (Σχ. 7.1) υπολογίζεται το ισοδύναμο αρχικό κόστος για την αντικατάσταση του Η/Μ εξοπλισμού και την ανακατασκευή - συντήρηση των έργων Π/Μ κάθε διάταξης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Λαμβάνοντας ως ωφέλιμο χρόνο ζωής του Η/Μ εξοπλισμού τα 20 έτη και ως ωφέλιμο χρόνο ζωής των έργων Π/Μ τα 50 έτη, θα πρέπει να προβλεφθούν στο κόστος της επένδυσης 4 αντικαταστάσεις του Η/Μ εξοπλισμού και 1 ανακατασκευή - συντήρηση ορισμένων εκ των έργων Π/Μ της κάθε διάταξης παραγωγής ενέργειας. Το κόστος των παραπάνω αντικαταστάσεων, για την κάθε διάταξη, προστίθεται στο συνολικό αρχικό κόστος επένδυσής της και έτσι προκύπτει το συνολικό ισοδύναμο αρχικό κόστος της επένδυσης που πρέπει να γίνει για την κατασκευή της κάθε διάταξης παραγωγής ενέργειας του συστήματος της Αστυπάλαιας, σύμφωνα με τη σχέση:

$$P'_j = F_j + 4 P_{HM,j} + 1 P_{PM,j} \quad (7.2)$$

Όπου:

$P'_j$ , είναι το συνολικό ισοδύναμο αρχικό κόστος της επένδυσης για τη διάταξη j, σε €

$F_j$ , είναι το κόστος εγκατάστασης της διάταξης j σε σημερινές τιμές, σε €

$P_{HM,j}$ , είναι το ισοδύναμο αρχικό κόστος μίας αντικατάστασης του Η/Μ εξοπλισμού της διάταξης j, σε €

$P_{PM,j}$ , είναι το ισοδύναμο αρχικό κόστος μίας ανακατασκευής - συντήρησης των έργων Π/Μ της διάταξης j, σε €

Το συνολικό αρχικό κόστος της επένδυσης προκύπτει από τη σχέση:

$$P_{tot} = \sum_{j=1}^k P'_j \quad (7.3)$$

Όπου:

$P_{tot}$ , είναι το συνολικό αρχικό κόστος επένδυσης, σε €

$P'_j$ , είναι το συνολικό αρχικό κόστος της επένδυσης για τη διάταξη j του συστήματος, σε €

## 7.5 ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ

Για να υπολογιστεί ο χρόνος απόσβεσης, που θα κρίνει και την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης του συστήματος παραγωγής ενέργειας, θα πρέπει να γίνει αναγωγή του συνολικού κόστους που υπολογίστηκε σε ετήσιο κόστος αποπληρωμής. Το ετήσιο κόστος αποπληρωμής της επένδυσης υπολογίστηκε με βάση τον τύπο του συντελεστή απόσβεσης κεφαλαίου [50]:

$$\frac{A}{P_{\text{tot}}} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (7.4)$$

Όπου:

$A$ , είναι η ετήσια δαπάνη για την απόσβεση του κεφαλαίου της επένδυσης, σε €

$P_{\text{tot}}$ , είναι το συνολικό ισοδύναμο κόστος της επένδυσης στο οποίο συμπεριλαμβάνονται και όλες οι αντικαταστάσεις του Η/Μ εξοπλισμού και οι ανακατασκευές των έργων Π/Μ, σε €

$i$ , είναι το αποπληρωρισμένο επιτόκιο το οποίο ελήφθη ίσο με 5%

$n$ , είναι ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης, σε έτη (years)

Στην ετήσια δαπάνη για την απόσβεση κεφαλαίου που υπολογίζεται μέσω της παραπάνω σχέσης (Σχ. 7.4) προστίθεται και το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος του συστήματος και έτσι προκύπτει το συνολικό ετήσιο κόστος για την αποπληρωμή της επένδυσης.

## 7.6 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Ο υπολογισμός του χρόνου απόσβεσης της επένδυσης γίνεται επαναληπτικά, μέσω του υπολογισμού του συνολικού οικονομικού ισοζυγίου της επένδυσης, μεταβάλλοντας σε κάθε βήμα την τιμή του χρόνου απόσβεσης  $n$ , στον τύπο του ανατοκισμού (Σχ. 7.1) και στον τύπο που υπολογίζει τον συντελεστή απόσβεσης κεφαλαίου (Σχ. 7.2). Το συνολικό οικονομικό ισοζύγιο της επένδυσης υπολογίζεται από τη διαφορά μεταξύ του οικονομικού οφέλους που προκύπτει από την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης μέσω του υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αντί της καύσης πετρελαίου, και της συνολικής δαπάνης για την αποπληρωμή και τη λειτουργία του. Σε περίπτωση που το υβριδικό σύστημα ενέργειας έχει αστοχήσει και για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης δεν έχει αξιοποιηθεί αποκλειστικά ανανεώσιμη ενέργεια, αλλά και πετρέλαιο, τότε από το συνολικό οικονομικό όφελος που προκύπτει από την επένδυση στις ανανεώσιμες πηγές, αφαιρείται το συνολικό κόστος για την παραγωγή ενέργειας μέσω του πετρελαίου. Η συνολική δαπάνη του υβριδικού συστήματος των ΑΠΕ προκύπτει από την ετήσια δαπάνη αποπληρωμής του πολλαπλασιαζόμενη με τον χρόνο απόσβεσης του εκάστοτε βήματος της επαναληπτικής διαδικασίας. Η επαναληπτική διαδικασία διακόπτεται όταν βρεθεί η τιμή του χρόνου απόσβεσης για την οποία το συνολικό οικονομικό ισοζύγιο γίνεται θετικό. Αν ο χρόνος απόσβεσης ξεπεράσει την ωφέλιμη διάρκεια ζωής του έργου, τότε δεν καθίσταται εφικτή η απόσβεση της επένδυσης και αυτή είναι προφανώς οικονομικά μη βιώσιμη.

Η συνολική δαπάνη για το σύστημα των ΑΠΕ προκύπτει μέσω της σχέσης:

$$TCC = A n \quad (7.5)$$

Όπου:

TCC: είναι το συνολικό κόστος της επένδυσης με τις αντικαταστάσεις που πρέπει να γίνουν για να εξασφαλισθούν τα 100 έτη λειτουργίας του συστήματος, σε €

A, είναι η ετήσια δαπάνη για την απόσβεση του κεφαλαίου της επένδυσης (Σχ. 7.4), σε €  
 $n$ , ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης, σε έτη (years)

Το συνολικό όφελος από την παραγωγή ενέργειας μέσω του συστήματος των ΑΠΕ σε σχέση με την καύση πετρελαίου, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S_{HRES} = E_{d,100} C_{oil} \quad (7.6)$$

Όπου:

$S_{HRES}$ , είναι η εξοικονόμηση χρημάτων που γίνεται από τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του υβριδικού συστήματος αντί για τη χρήση πετρελαίου, σε €

$E_{d,100}$ , είναι η συνολική ενεργειακή ζήτηση των 100 ετών λειτουργίας του συστήματος στο νησί της Αστυπάλαιας, σε MWh

$C_{oil}$ , είναι το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας με τη χρήση πετρελαίου στην Αστυπάλαια [5], σε €/MWh

Το συνολικό οικονομικό ισοζύγιο υπολογίζεται από τη σχέση:

$$TEEX = S_{HRES} - (TCC + TOC + C_{HRES,F}) \quad (7.7)$$

Όπου:

$TEEX$ , είναι το συνολικό οικονομικό ισοζύγιο της επένδυσης, σε €

$S_{HRES}$ , είναι η εξοικονόμηση χρημάτων που γίνεται από τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του υβριδικού συστήματος αντί για τη χρήση πετρελαίου, σε €

$TCC$ : είναι το συνολικό κόστος της επένδυσης με τις αντικαταστάσεις που πρέπει να γίνουν για να εξασφαλισθούν τα 100 έτη λειτουργίας του συστήματος, σε €

$TOC$ , είναι το συνολικό λειτουργικό κόστος του συστήματος για τα 100 έτη λειτουργίας του

$E_{HRES,F}$ , είναι το συνολικό κόστος για την αστοχία του υβριδικού συστήματος των ΑΠΕ που συνεπάγεται την κάλυψη μέρους ή ολόκληρης της ωριαίας ζήτησης από πετρέλαιο



## 8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

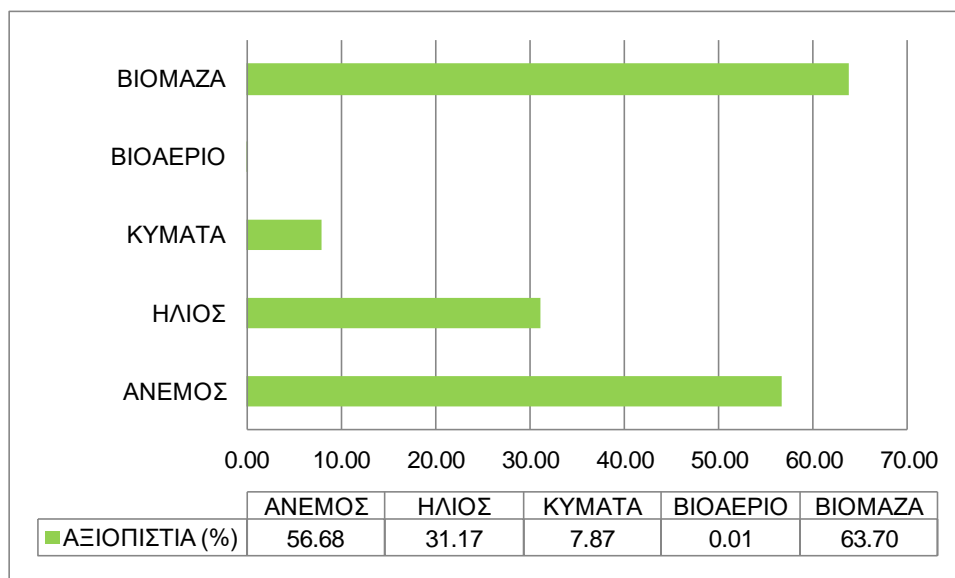
Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από διαφορετικά σενάρια προσομοιώσεων του υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια.

### 8.1 ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΜΙΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από 5 προσομοιώσεις της λειτουργίας του υβριδικού συστήματος της Αστυπάλαιας, με τη συμμετοχή μόνο μίας εκ των έξι πηγών ενέργειας, που εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η πηγή ενέργειας που συμμετείχε στο κάθε ένα εκ των πέντε σεναρίων έχει την εγκατεστημένη ισχύ που απαιτείται για να καλυφθεί η μέγιστη ωριαία ζήτηση ενέργειας στο νησί και η οποία ισούται με περίπου 2.72 MWh.

Για το σενάριο της αποκλειστικής συμμετοχής του βιοαερίου θεωρήθηκε ότι ο αριθμός των ζώων, των οποίων τα λύματα κατευθύνονται προς τον αναερόβιο χωνευτή, είναι ο μέγιστος δυνατός (3500 πρόβατα και 7500 αίγες), με βάση τα δεδομένα που υπάρχουν διαθέσιμα για το νησί (Εικόνα 3.4, [4]). Ακόμα, για το σενάριο στο οποίο συμμετέχει αποκλειστικά η βιομάζα θεωρήθηκε ότι η έκταση που διατίθεται για την καλλιέργεια ενεργειακών φυτών είναι η μέγιστη διαθέσιμη καλλιεργήσιμη έκταση που υπάρχει στο νησί και ισούται με περίπου 150 ha. Τέλος, σε κανένα από τα παρακάτω σενάρια δεν προβλέφθηκε η κατασκευή της διάταξης άντλησης - ταμίευσης για την αποθήκευση τυχόν πλεονάζουσας ενέργειας και συνεπώς δεν εξετάστηκε σενάριο στο οποίο συμμετέχει αποκλειστικά η υδροηλεκτρική ενέργεια, διότι κάτι τέτοιο δεν θα είχε πρακτική σημασία από τη στιγμή που η υδροηλεκτρική διάταξη συμμετέχει στο μείγμα ενέργειας του νησιού για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας που παράγεται από τις μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές του συστήματος (άνεμος, ήλιος, κύματα).

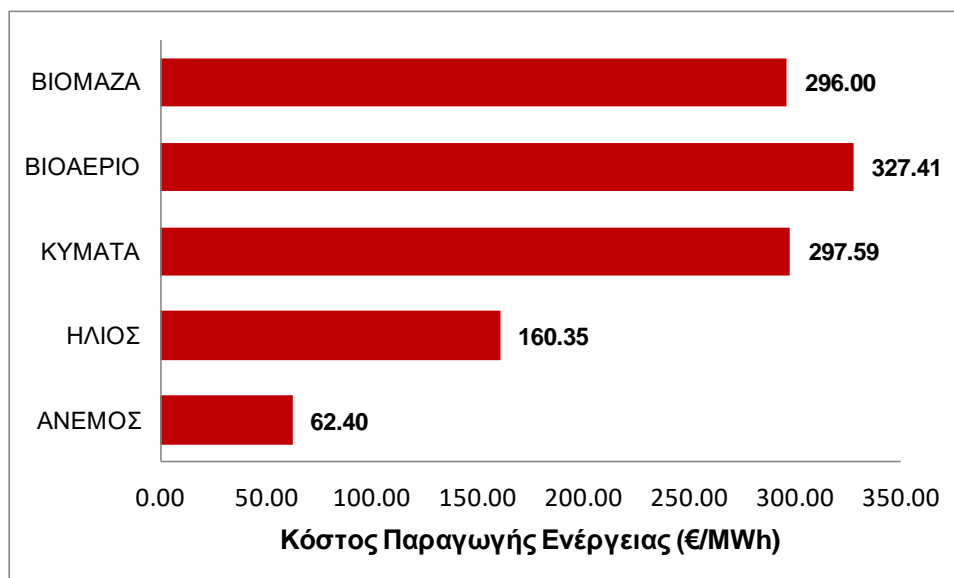
Στο Διάγραμμα 8.1 παρουσιάζεται η αξιοπιστία που προκύπτει σε κάθε ένα από τα 5 σενάρια προσομοίωσης.



Διάγραμμα 8.1: Αξιοπιστία για τα σενάρια αποκλειστικής αξιοποίησης μίας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας

Παρατηρείται ότι η αξιοπιστία που προκύπτει από το βιοαέριο είναι σχεδόν μηδενική και αυτό συμβαίνει, γιατί η ωριαία παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου, από τον αναερόβιο χωνευτή, είναι αρκετά μικρή ( $\cong 15 \text{ m}^3/\text{h}$  ή  $\cong 96 \text{ kWh/h}$ ) και διοχετεύεται κατευθείαν στο σύστημα για την κάλυψη της ζήτησης. Επομένως το βιοαέριο είναι μια μορφή ανανεώσιμης ενέργειας που δεν μπορεί να αξιοποιηθεί ως αποκλειστική πηγή παραγωγής ενέργειας, αλλά μόνο ως συμμετέχουσα πηγή στο μείγμα ενός συστήματος πολλαπλών πηγών ενέργειας.

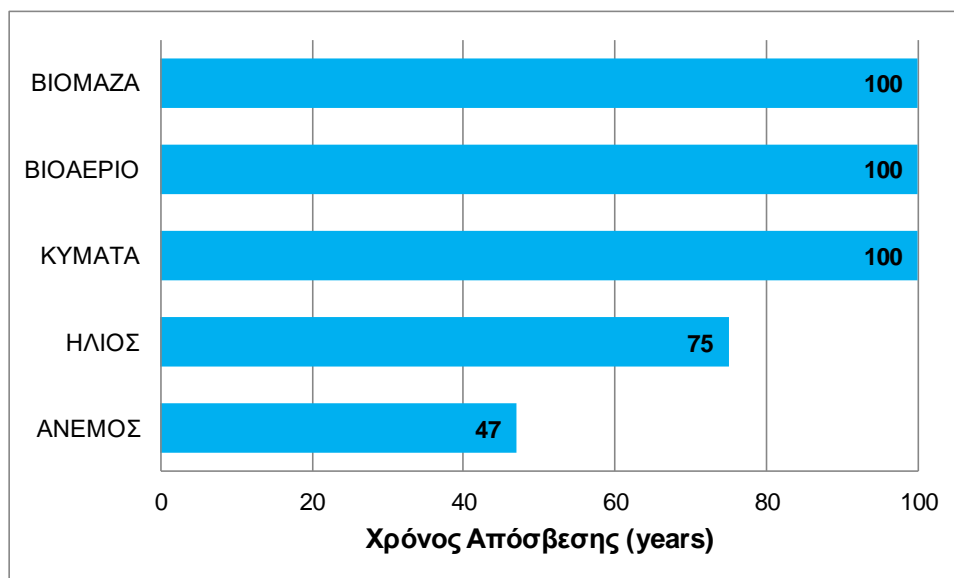
Στο Διάγραμμα 8.2 παρουσιάζεται το κόστος ενέργειας που προκύπτει για κάθε ένα από τα παραπάνω 5 σενάρια, όπου μία αποκλειστικά ανανεώσιμη πηγή συμμετέχει στην ηλεκτροπαραγωγή και το ωριαίο ενεργειακό έλλειμμα καλύπτεται από τις συμβατικές μονάδες πετρελαίου που διαθέτει το νησί, με τον συνυπολογισμό του αντίστοιχου κόστους στο τελικό μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας που διαμορφώνεται για κάθε σενάριο.



Διάγραμμα 8.2: Μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας για τα σενάρια αποκλειστικής αξιοποίησης μίας ανανεώσιμης πηγής

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας σε συνδυασμό με την ενέργεια από το πετρέλαιο, όπου με την εγκατάσταση 6 ανεμογεννητριών συνολικής ισχύος 3 MW το κόστος ενέργειας διαμορφώνεται στα 62.40 €/MWh ενώ με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 2.8 MW, το αντίστοιχο κόστος διαμορφώνεται στα 160.35 €/MWh. Αυτή η μείωση του κόστους ενέργειας είναι της τάξης του 78.19% στην περίπτωση των ανεμογεννητριών και του 43.95% στην περίπτωση του φωτοβολταϊκού πάρκου, σε σχέση με το μέσο κόστος ενέργειας στην Αστυπάλεια για το έτος 2016, που διαμορφώθηκε στα 286.06 €/MWh ( [5], Εικόνα 3.5).

Τέλος, έγινε και οικονομική αξιολόγηση καθενός εκ των 5 σεναρίων από την οποία προέκυψε ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης και παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 8.3.



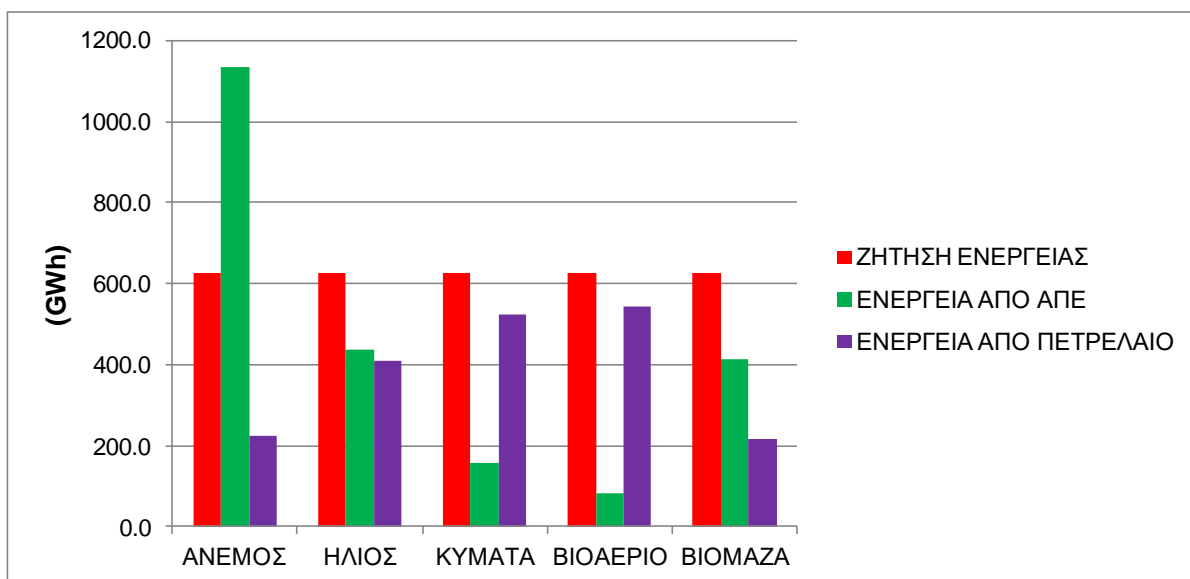
Διάγραμμα 8.3: Χρόνος απόσβεσης για τα σενάρια αποκλειστικής αξιοποίησης μίας ανανεώσιμης πηγής

Από το Διάγραμμα 8.3 φαίνεται ότι οι διατάξεις παραγωγής ενέργειας από τα κύματα, το βιοαέριο και τη βιομάζα δεν μπορούν να αποσβεστούν στο διάστημα των 100 ετών ωφέλιμης διάρκειας ζωής του υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της Αστυπάλαιας. Αυτό συμβαίνει γιατί, στην περίπτωση των κυμάτων το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας της διάταξης είναι υψηλό, αλλά ακόμα υψηλότερο είναι το κόστος που προκύπτει από την αστοχία του συστήματος και την εκτεταμένη χρήση πετρελαίου (Διάγραμμα 8.5). Στην περίπτωση του βιοαερίου το ποσό της ωριαία παραγόμενης ενέργειας είναι μεν πιο προβλέψιμο από αυτό που παράγεται από τη διάταξη των κυμάτων, αλλά είναι πολύ μικρό (Διάγραμμα 8.4) με αποτέλεσμα την εκτεταμένη χρήση πετρελαίου για την κάλυψη της ζήτησης. Στην περίπτωση της βιομάζας το υψηλό κόστος που εκτιμήθηκε για την καλλιέργεια και την προμήθειά της ( $\cong 330 \text{ €/tn}$ ) σε συνδυασμό με το κόστος προμήθειας του πετρελαίου για να καλυφθεί η αστοχία του συστήματος λόγω της αδυναμίας της βιομάζας να καλύψει εξ ολοκλήρου τη ζήτηση για ενέργεια, ακόμα και αν αξιοποιηθεί όλη η διαθέσιμη έκταση του νησιού προς καλλιέργεια, έχουν ως αποτέλεσμα την αδυναμία αποπληρωμής μιας τέτοιας επένδυσης στα 100 έτη ωφέλιμης διάρκειας ζωής του έργου.

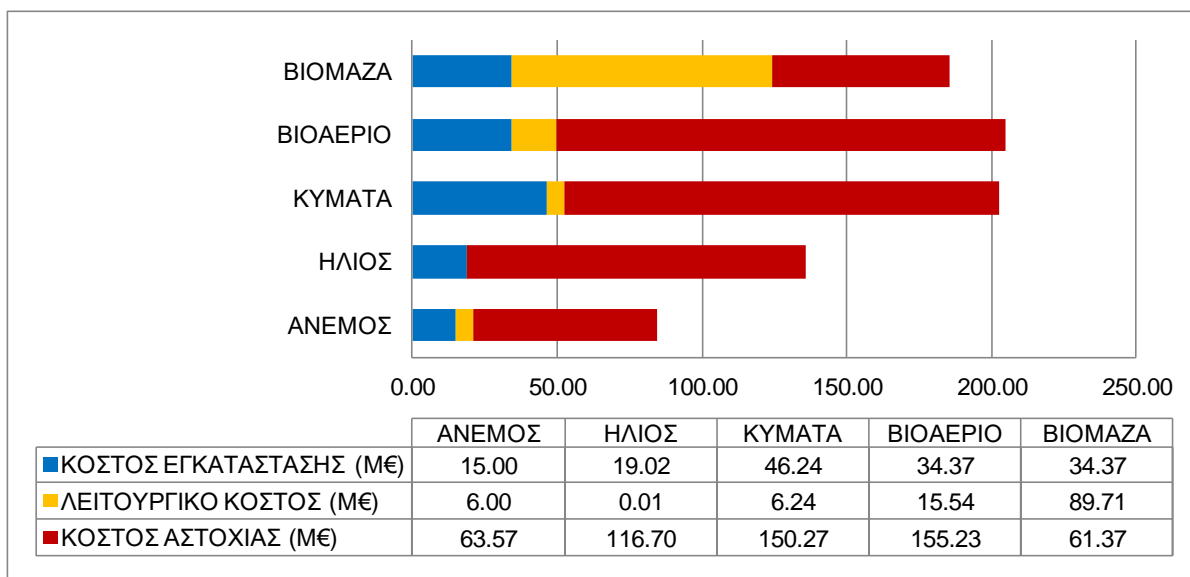
Στο Διάγραμμα 8.4 φαίνεται το συνολικό ποσό της ενεργειακής ζήτησης, της παραγόμενης ενέργειας από την κάθε διάταξη παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας και της παραγόμενης ενέργειας από πετρέλαιο, για τα 100 έτη λειτουργίας του υβριδικού συστήματος.

Στο Διάγραμμα 8.5 φαίνεται η ανάλυση του κόστους επένδυσης, αντίστοιχα, για κάθε ένα εκ 5 σεναρίων.

Από τα δύο αυτά διαγράμματα γίνεται εύκολα αντιληπτός ο λόγος που οι διατάξεις των κυμάτων, του βιοαερίου και της βιομάζας δεν μπορούν να αποσβεστούν στα 100 έτη ωφέλιμου χρόνου ζωής του έργου. όπως αναλύθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο.



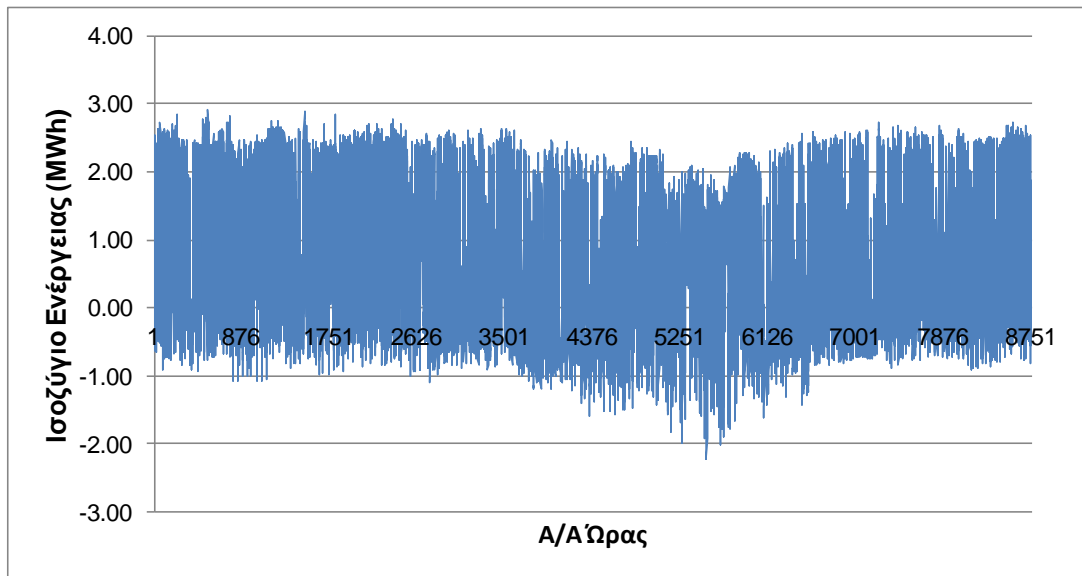
Διάγραμμα 8.4: Συνολική παραγόμενη ενέργεια για τα σενάρια αποκλειστικής αξιοποίησης μίας ανανεώσιμης πηγής



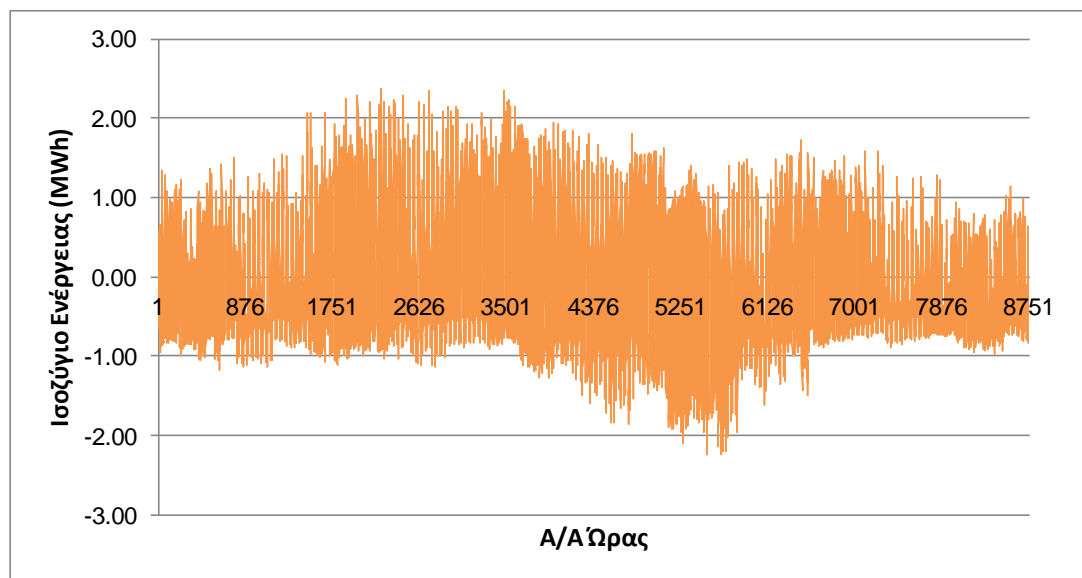
Διάγραμμα 8.5: Ανάλυση κόστους επένδυσης για κάθε σενάριο αποκλειστικής αξιοποίησης μίας ανανεώσιμης πηγής

Ο υψηλός χρόνος απόσβεσης που παρατηρείται στην περίπτωση του ανέμου και του ηλίου (Διάγραμμα 8.3), μπορεί να έρχεται σε αντίθεση με το σχετικά χαμηλό μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας που παρατηρήθηκε στο Διάγραμμα 8.2, εξηγείται όμως από το γεγονός ότι η ενέργεια που παράγεται από αυτές τις μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές δεν παράγεται

την ώρα που υπάρχει η αντίστοιχη ζήτηση από το δίκτυο, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται υψηλά πλεονάσματα ενέργειας, όπως φαίνεται και από τα παρακάτω διαγράμματα που απεικονίζουν το ωριαίο ισοζύγιο ενέργειας για το ίδιο έτος για το σενάριο αποκλειστικής χρήσης ανεμογεννητριών (Διάγραμμα 8.6) και για το σενάριο αποκλειστικής χρήσης φωτοβολταϊκών πλαισίων (Διάγραμμα 8.7).



Διάγραμμα 8.6: Ωριαίο ισοζύγιο ενέργειας από ανεμογεννήτριες εγκατεστημένης ισχύος 3 MW, για τη διάρκεια ενός έτους



Διάγραμμα 8.7: Ωριαίο ισοζύγιο ενέργειας από φωτοβολταϊκό πάρκο εγκατεστημένης ισχύος 2.8 MW, για τη διάρκεια ενός έτους

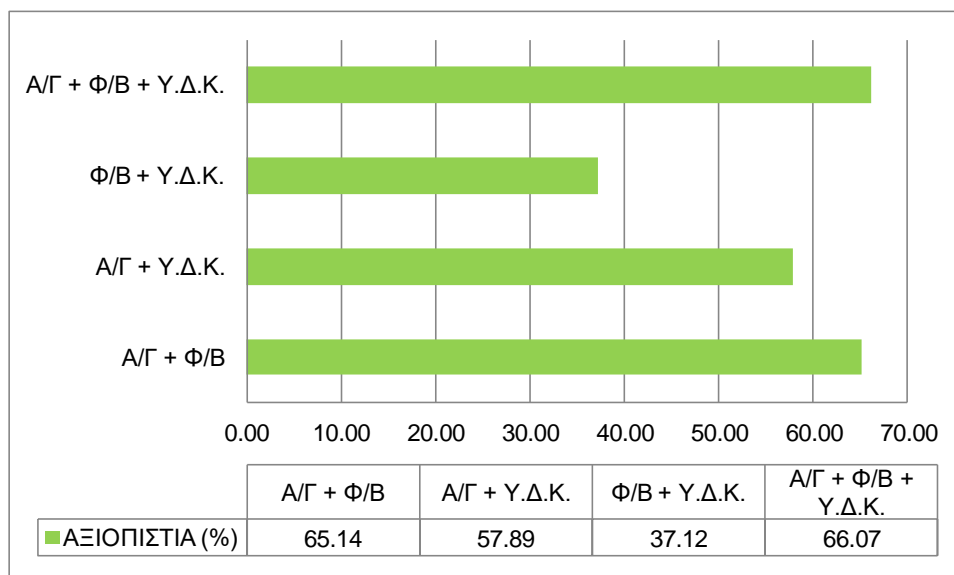
Από όλα τα παραπάνω φαίνεται ότι καμία από τις ανανεώσιμες πηγές που έχουν επιλεγεί για το υβριδικό σύστημα της Αστυπάλαιας δεν μπορεί να καλύψει με αποδεκτή αξιοπιστία

την ενεργειακή ζήτηση του νησιού. Επίσης, παρόλη τη μείωση του κόστους ενέργειας στην περίπτωση του ανέμου και του ηλίου αυτό δεν αντικατοπτρίζεται στον χρόνο απόσβεσης της επένδυσης που είναι αρκετά υψηλός, λόγω της στοχαστικότητας που διακρίνει αυτές τις πηγές ενέργειας και που έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη παραγωγή ενέργειας σε ώρες που δεν υπάρχει η αντίστοιχη ζήτηση από το δίκτυο, αλλά και το αντίθετο, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο κατά πολύ το κόστος λόγω της αστοχίας του συστήματος.

## 8.2 ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΗ ΕΛΕΓΞΙΜΩΝ ΑΠΕ

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από 4 προσομοιώσεις, στις οποίες συμμετέχουν αποκλειστικά μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αλλά σε συνδυασμό. Συγκεκριμένα επιλέχθηκε ο συνδυασμός των ανεμογεννητριών (Α/Γ) με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (Φ/Β), ο συνδυασμός των ανεμογεννητριών με την υπερπηδητή διάταξη κυμάτων (Υ.Δ.Κ.), ο συνδυασμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων (Φ/Β) με την υπερπηδητή διάταξη κυμάτων (Υ.Δ.Κ.) και τέλος ο συνδυασμός και των τριών μη ελέγξιμων πηγών ενέργειας. Η παραπάνω επιλογή έγινε με σκοπό τη διερεύνηση της ενδεχόμενης αύξησης στην αξιοπιστία του συστήματος, λόγω χρονικής υστέρησης στην εμφάνιση του ανέμου, του ηλίου και των κυμάτων. Η εγκατεστημένη ισχύς που επιλέχθηκε για κάθε διάταξη είναι εκείνη που απαιτείται για την κάλυψη της αιχμής της ζήτησης, δηλαδή περίπου 2.8 MW, με εξαίρεση τις ανεμογεννήτριες που έχουν εγκατεστημένη ισχύ 3 MW (6 × 500 kW). Παρόλο που ένα σύστημα με τη διπλάσια ή και τριπλάσια εγκατεστημένη ισχύ σε σχέση με την απαιτούμενη για την κάλυψη της ενεργειακής αιχμής είναι εμφανώς υπερδιαστασιοποιημένο, η διερεύνηση των παραπάνω σεναρίων έγινε με το σκεπτικό πως αν και με τη μέγιστη εγκατεστημένη ισχύ της κάθε διάταξης δεν επιτυγχάνεται αποδεκτή αξιοπιστία (> 99.9%), τότε δεν έχει κανένα πρακτικό νόημα η αναζήτηση κάποιου ενεργειακού μείγματος αποτελούμενου αποκλειστικά από μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές.

Πράγματι, από το Διάγραμμα 8.8, στο οποίο παρουσιάζεται η αξιοπιστία που επιτυγχάνεται με κάθε ένα από τα 4 σενάρια συνδυασμού των μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που έχουν επιλεγεί για το σύστημα της Αστυπάλαιας, φαίνεται ότι σε κανένα από αυτά, ακόμα δηλαδή και όταν συμμετέχουν και οι τρεις πηγές δεν επιτυγχάνεται αυτονομία του συστήματος.



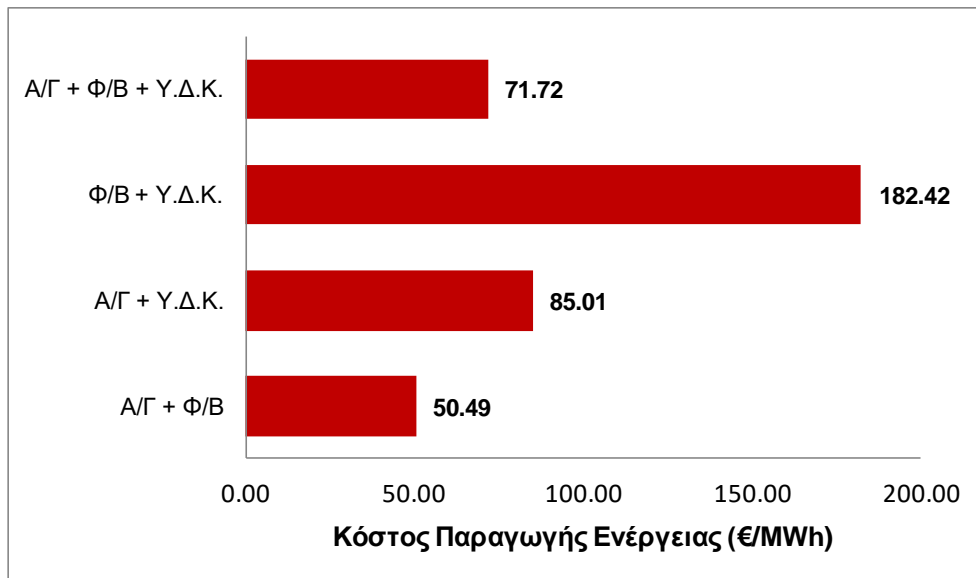
Διάγραμμα 8.8: Αξιοπιστία για κάθε έναν από τους τέσσερις συνδυασμούς μη ελέγξιμων πηγών ενέργειας που εξετάστηκαν

Μία ακόμα, ενδιαφέρουσα, παρατήρηση που προκύπτει από το Διάγραμμα 8.8, είναι πως το σενάριο στο οποίο συμμετέχουν και οι τρεις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με το σενάριο στο οποίο συμμετέχουν μόνο οι ανεμογεννήτριες και το φωτοβολταϊκό πάρκο έχουν ελάχιστη διαφορά στην αξιοπιστία κάλυψης της ζήτησης. Αυτό σημαίνει, πως η υπερπηδητή διάταξη κυμάτων δεν συνεισφέρει, παρά ελάχιστα στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης, πέρα από αυτήν που πετυχαίνουν οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά όταν συνδυαστούν. Στο παραπάνω συμπέρασμα καταλήγουμε και αν συγκρίνουμε το Διάγραμμα 8.1 και το Διάγραμμα 8.8, όπου παρατηρείται πως στο σενάριο αποκλειστικής αξιοποίησης των ανεμογεννητριών η αξιοπιστία είναι 56.68%, ενώ στο σενάριο συνδυασμού των ανεμογεννητριών με την υπερπηδητή διάταξη κυμάτων η αξιοπιστία γίνεται μόλις 57.89%. Ομοίως, η αξιοπιστία στο σενάριο αποκλειστικής χρήσης του φωτοβολταϊκού πάρκου είναι 31.17%, ενώ στο σενάριο συνδυασμού του φωτοβολταϊκού πάρκου με την υπερπηδητή διάταξη κυμάτων η αξιοπιστία γίνεται 37.12%.

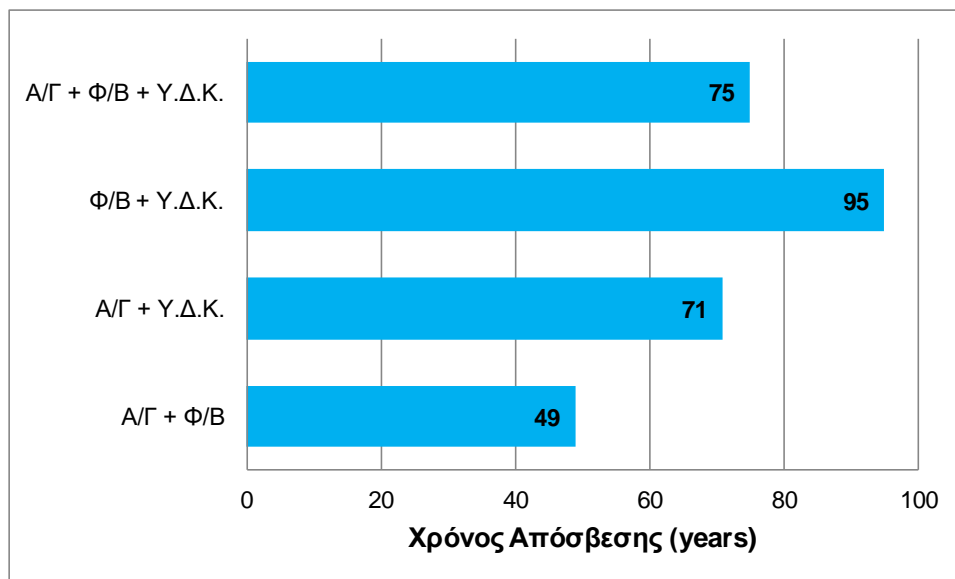
Σε ότι έχει να κάνει με το κόστος, παρατηρείται και πάλι το μοτίβο του χαμηλού κόστους παραγωγής ενέργειας με τους υψηλούς χρόνους απόσβεσης, όπως φαίνεται και παρακάτω στο Διάγραμμα 8.9 και στο Διάγραμμα 8.10. Αυτό συμβαίνει λόγω της εκτεταμένης χρήσης πετρελαίου για να καλυφθούν τα ελλείμματα της ενεργειακής ζήτησης που δεν μπορούν να καλυφθούν από τις μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ακόμα και όταν η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος είναι τριπλάσια της απαιτούμενης λόγω αιχμής. Στο Διάγραμμα 8.9 φαίνεται το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας, ενώ στο Διάγραμμα 8.10



φαίνεται ο χρόνος απόσβεσης για κάθε ένα από τα 4 σενάρια συνδυασμού των μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Διάγραμμα 8.9: Μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας για κάθε σενάριο συνδυαστικής αξιοποίησης των μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

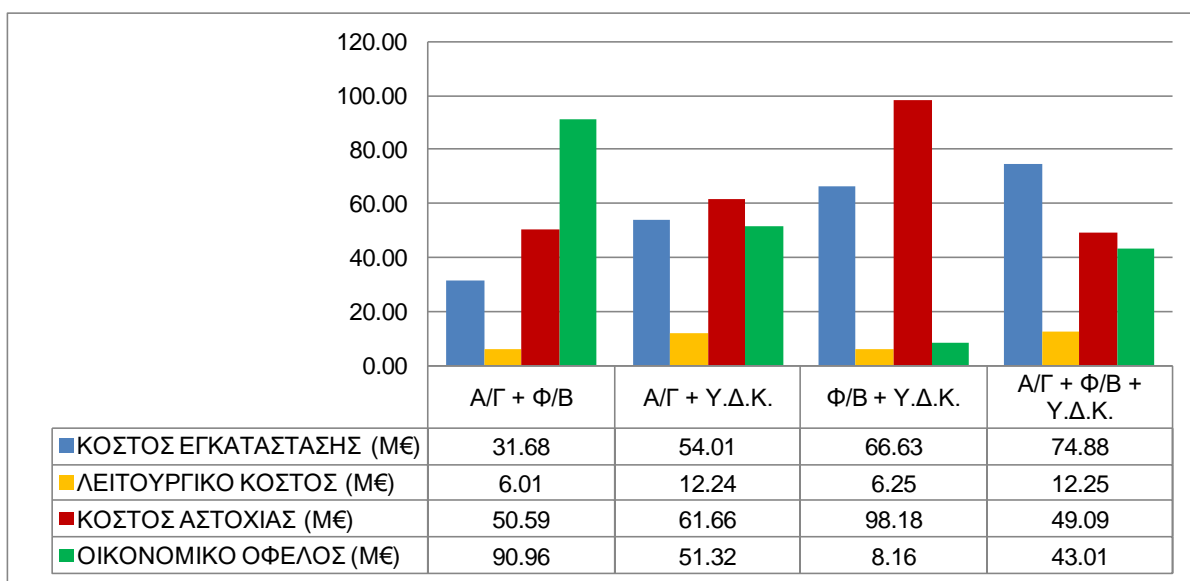


Διάγραμμα 8.10: Χρόνος απόσβεσης για κάθε σενάριο συνδυαστικής αξιοποίησης των μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

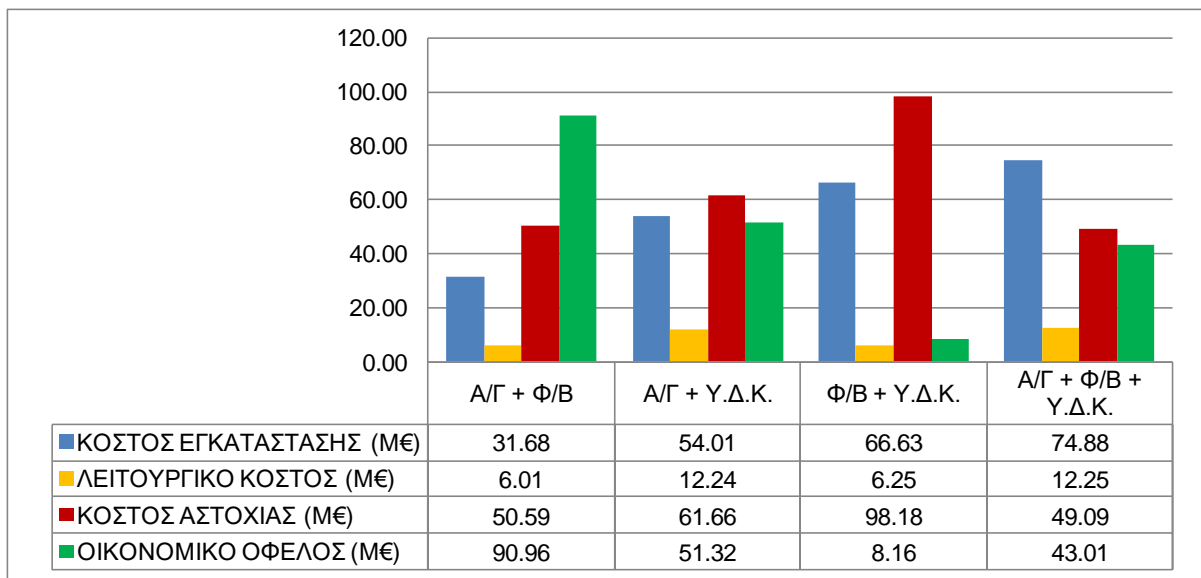
Από τα παραπάνω, ενδιαφέρον παρουσιάζει το σενάριο συνδυασμού του των ανεμογεννητριών με το φωτοβολταϊκό πάρκο, καθώς με τον συνδυασμό του ανέμου και του ηλίου επιτυγχάνεται αξιοπιστία 65.14% (Διάγραμμα 8.8), ενώ στην περίπτωση της αποκλειστικής αξιοποίησης του ανέμου και του ηλίου η αξιοπιστία είναι 56.68% και 31.17%, αντίστοιχα (Διάγραμμα 8.1). Επίσης, το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας μειώνεται από

62.40 €/MWh και 160.35 €/MWh στην περίπτωση αποκλειστικής αξιοποίησης του ανέμου του ηλίου, αντίστοιχα (Διάγραμμα 8.2), σε 50.49 €/MWh στην περίπτωση του συνδυασμού ανέμου και ηλίου (Διάγραμμα 8.9). Ακόμα, ο χρόνος απόσβεσης προκύπτει ίσος με 49 έτη στο σενάριο συνδυασμού των δύο πηγών ενέργειας (Διάγραμμα 8.10), ενώ στην περίπτωση του ανέμου προκύπτει 47 έτη και του ηλίου 75 έτη (Διάγραμμα 8.3). Κατά συνέπεια, παρόλο που το σενάριο του συνδυασμού των ανεμογεννητριών και του φωτοβολταϊκού πάρκου δεν επιτυγχάνει αποδεκτή αξιοπιστία, πετυχαίνει τα καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα από όλα τα εξεταζόμενα σενάρια με μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τέλος, στο



Διάγραμμα 8.11 παρουσιάζεται αναλυτικά το συνολικό κόστος του συστήματος (εγκατάσταση, λειτουργία και αστοχία) καθώς και το οικονομικό όφελος, για καθένα από τα 4 σενάρια και για 100 έτη λειτουργίας.



Διάγραμμα 8.11: Ανάλυση κόστους - οφέλους της επένδυσης για κάθε σενάριο συνδυασμού μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

### 8.3 ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΕΛΕΓΞΙΜΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΕΛΕΓΞΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

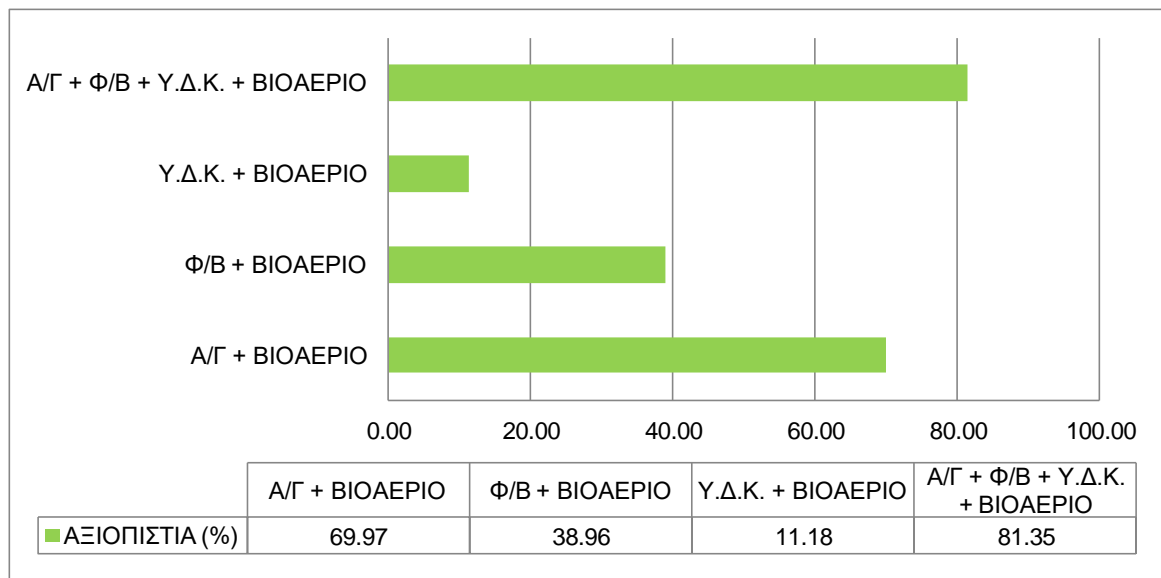
Από τις υποενότητες 8.1 και 8.2, προκύπτει τα ακόλουθα δύο συμπεράσματα:

Πρώτον δεν μπορεί να επιτευχθεί υψηλός βαθμός αξιοπιστίας από υβριδικό σύστημα παραγωγής ενέργειας που αποτελείται αποκλειστικά από μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές, αλλά είναι αναγκαίο να υπάρχουν και ελέγξιμες πηγές ενέργειας.

Δεύτερον, λόγω της αναντιστοιχίας μεταξύ παραγωγής ενέργειας από τις μη ελέγξιμες πηγές ενέργειας και ζήτησης ενέργειας προκύπτουν μεγάλες ποσότητες πλεονάζουσας ενέργειας, τα οποία αν αποθηκευτούν μπορούν να αξιοποιηθούν για την κάλυψη αιχμών ή ενεργειακών ελλειμμάτων, συμβάλλοντας στην αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος.

#### 8.3.1 ΜΗ ΕΛΕΓΞΙΜΕΣ ΑΠΕ ΚΑΙ ΒΙΟΑΕΡΙΟ

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από 4 προσομοιώσεις της λειτουργίας του υβριδικού συστήματος της Αστυπάλαιας που έγιναν με σκοπό τη διερεύνηση και την αξιολόγηση του συνδυασμού μεταξύ των τριών μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (άνεμος, ήλιος, κύματα) και μίας ελέγξιμης πηγής που στη συγκεκριμένη υποενότητα είναι το βιοαέριο. Η εγκατάσταση παραγωγής ενέργειας με την αξιοποίηση βιοαερίου έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης του βιοαερίου που δεν μπορεί άμεσα να αξιοποιηθεί στο αεροφυλάκιο που διαθέτει, όπως έχει περιγραφεί αναλυτικά στην υποενότητα 5.2.4.5. Τα σενάρια που εξετάστηκαν είναι 3 σενάρια με τη συμμετοχή του βιοαερίου και των τριών μη ελέγξιμων πηγών ξεχωριστά και 1 σενάριο με τη συμμετοχή του βιοαερίου και των τριών μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό, που παρόλο που είναι εκ των προτέρων γνωστό ότι δεν αποτελεί πιθανό βέλτιστο σενάριο, ούτε από πλευράς ενεργειακού μείγματος, ούτε από οικονομικής πλευράς, είναι ένα ακραίο, από άποψη εγκατεστημένης ισχύος, σενάριο που μπορεί να δείξει αν υπάρχει περιθώριο αναζήτησης βέλτιστης λύσης με κάποιον από τους παραπάνω συνδυασμούς ανανεώσιμων πηγών. Όλες οι διατάξεις εξετάστηκαν με εγκατεστημένη ισχύ ικανή να καλύψει τη μέγιστη ζήτηση για ενέργεια, δηλαδή ίση με 2.8 MW, εκτός των ανεμογεννητριών που επιλέχθηκε να έχουν 3 MW εγκατεστημένη ισχύ. Παρακάτω στο Διάγραμμα 8.12 παρουσιάζεται η αξιοπιστία του καθενός εκ των 4 σεναρίων.

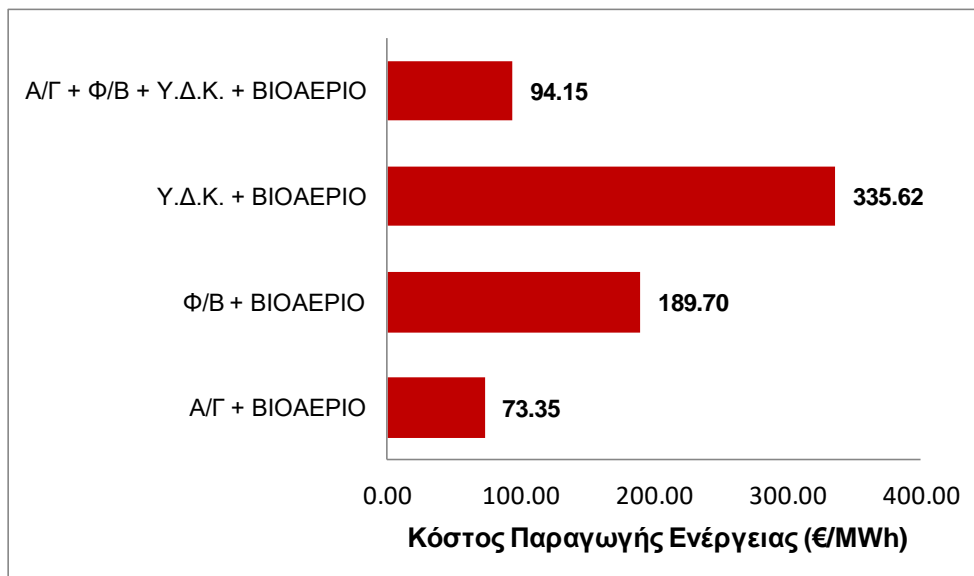


Διάγραμμα 8.12: Αξιοπιστία για τα σενάρια που συνδυασμού μη ελέγξιμων ΑΠΕ και βιοαερίου

Παρατηρούμε ότι ακόμα και στο ακραίο σενάριο της τετραπλάσιας εγκατεστημένης ισχύος από την αιχμή, δεν επιτυγχάνεται ικανοποιητική αξιοπιστία έτσι ώστε να έχει νόημα η αναζήτηση βέλτιστου σεναρίου με την παραπάνω σύνθεση ενεργειακού μείγματος.

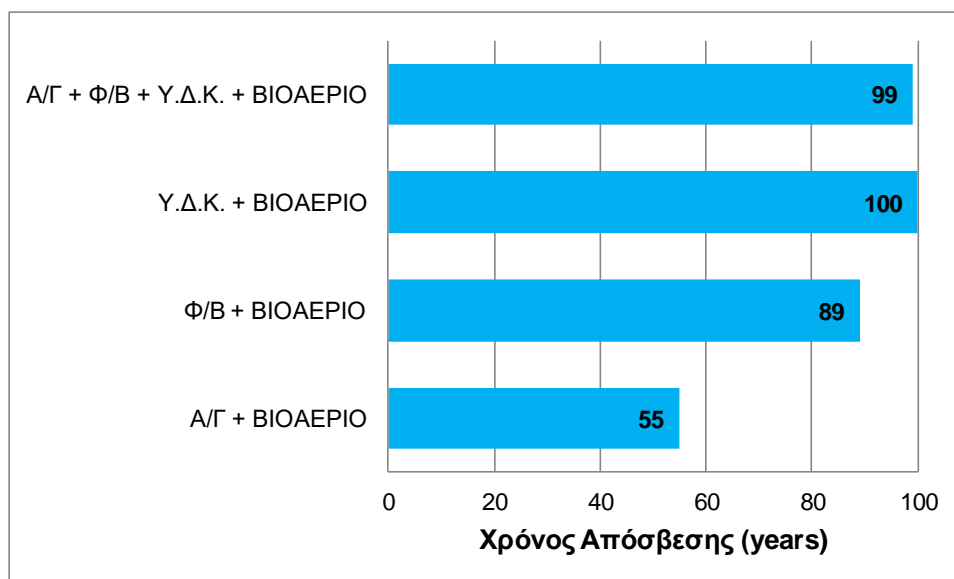
Παρόλα αυτά, τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι η αποθήκευση ενέργειας με τη μορφή βιοαερίου, αλλά και ο έλεγχος της παραγωγής ενέργειας είναι οι δύο κύριοι παράγοντες που αυξάνουν σημαντικά την αξιοπιστία ενός συστήματος, αποτελούμενο κατά κύριο λόγο από εγκαταστάσεις μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στο Διάγραμμα 8.13 φαίνεται το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας για κάθε ένα από τα 4 σενάρια συνδυασμού των μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με το βιοαέριο.



Διάγραμμα 8.13: Μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας για κάθε σενάριο συνδυασμού των μη ελέγξιμων ΑΠΕ με το βιοαέριο

Στο Διάγραμμα 8.14 φαίνεται ο χρόνος που αιτείται για την απόσβεση της επένδυσης σε κάθε σενάριο.



Διάγραμμα 8.14: Χρόνος απόσβεσης για κάθε σενάριο συμμετοχής μη ελέγξιμων ΑΠΕ και βιοαερίου

Στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζεται το ποσό της παραγόμενης ενέργειας κάθε μίας πηγής που συμμετέχει στο ενεργειακό μείγμα, καθώς και το συνολικό ποσό της παραγόμενης ενέργειας του υβριδικού συστήματος καθενός εκ των 4 εξεταζόμενων σεναρίων και του σεναρίου αποκλειστικής χρήσης πετρελαίου, για 100 έτη λειτουργίας του συστήματος.

Πίνακας 8.1: Παραγόμενη ενέργεια από κάθε πηγή, για κάθε σενάριο συμμετοχής μη ελέγξιμων ΑΠΕ και βιοαερίου και του σεναρίου αποκλειστικής χρήσης πετρελαίου για 100 έτη λειτουργίας του υβριδικού συστήματος

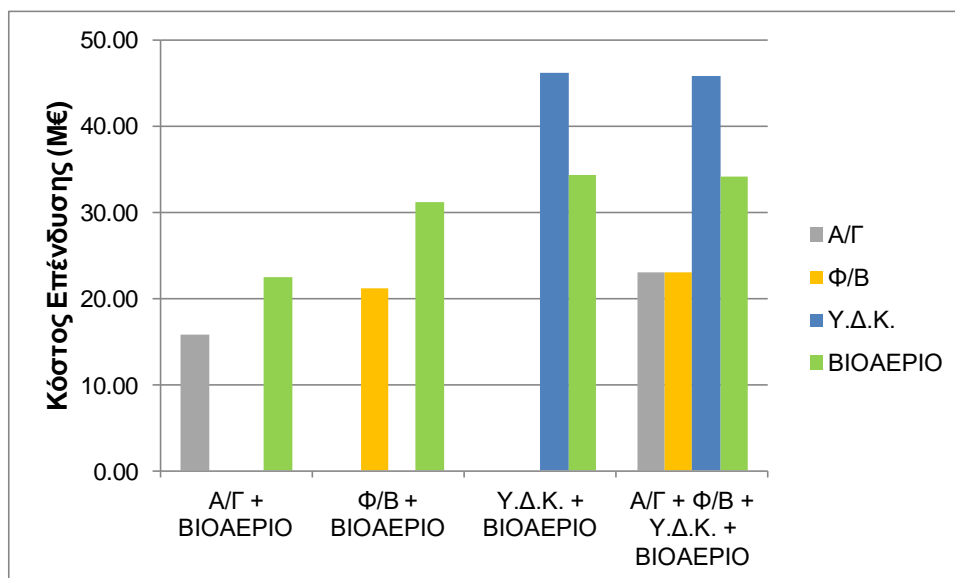
	ΑΝΕΜΟΣ (GWh)	ΗΛΙΟΣ (GWh)	ΚΥΜΑΤΑ (GWh)	ΒΙΟΑΕΡΙΟ (GWh)	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ (GWh)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (GWh)
<b>Α/Γ + ΒΙΟΑΕΡΙΟ</b>	1133.04	0.00	0.00	83.90	138.33	1355.27
<b>Φ/Β + ΒΙΟΑΕΡΙΟ</b>	0.00	438.49	0.00	83.90	324.01	846.41
<b>Υ.Δ.Κ. + ΒΙΟΑΕΡΙΟ</b>	0.00	0.00	155.98	83.90	441.39	681.28
<b>Α/Γ + Φ/Β + Υ.Δ.Κ. + ΒΙΟΑΕΡΙΟ</b>	1133.04	438.49	155.98	83.90	87.72	1899.12
<b>ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	626.58	626.58

Στον Πίνακα 8.2 παρουσιάζεται το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας από κάθε πηγή που συμμετέχει στο ενεργειακό μείγμα, καθώς και το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας από το υβριδικό σύστημα, κάθε ενός εκ των 4 εξεταζόμενων σεναρίων και του σεναρίου αποκλειστικής χρήσης πετρελαίου, για 100 έτη λειτουργίας του συστήματος.

Πίνακας 8.2: Μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας από κάθε πηγή, για κάθε σενάριο συμμετοχής μη ελέγξιμων ΑΠΕ και βιοαερίου καθώς και του σεναρίου αποκλειστικής χρήσης πετρελαίου για 100 έτη λειτουργίας του υβριδικού συστήματος

	ΑΝΕΜΟΣ (€/MWh)	ΗΛΙΟΣ (€/MWh)	ΚΥΜΑΤΑ (€/MWh)	ΒΙΟΑΕΡΙΟ (€/MWh)	ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ (€/MWh)	ΤΕΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€/MWh)
<b>Α/Γ + ΒΙΟΑΕΡΙΟ</b>	19.20	0.00	0.00	270.58	286.06	73.35
<b>Φ/Β + ΒΙΟΑΕΡΙΟ</b>	0.00	48.46	0.00	372.35	286.06	189.70
<b>Υ.Δ.Κ. + ΒΙΟΑΕΡΙΟ</b>	0.00	0.00	296.84	411.51	286.06	335.62
<b>Α/Γ + Φ/Β + Υ.Δ.Κ. + ΒΙΟΑΕΡΙΟ</b>	25.54	52.61	294.33	407.92	286.06	94.15
<b>ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	286.06	286.06

Η πρώτη παρατήρηση επί των δύο παραπάνω πινάκων αφορά το γεγονός πως σε κάθε επιμέρους σενάριο το κόστος παραγωγής ενέργειας κάθε μίας πηγής είναι διαφορετικό (Πίνακας 8.2) παρόλο που η συνολική παραγόμενη ενέργεια από την εκάστοτε πηγή είναι η ίδια (Πίνακας 8.1). Αυτό συμβαίνει, γιατί το συνολικό κόστος επένδυσης (Διάγραμμα 8.13) και ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης (Διάγραμμα 8.14) διαφέρουν σε κάθε σενάριο, με αποτέλεσμα να είναι και διαφορετικό το συνολικό κόστος επένδυσης της κάθε επιμέρους διάταξης παραγωγής ενέργειας, πράγμα που οφείλεται στη ύπαρξη ετήσιου επιτοκίου αποπληρωμής της επένδυσης ίσο με 5% (Υποενότητα 7.6). Το συνολικό κόστος επένδυσης κάθε επιμέρους διάταξης παραγωγής ενέργειας, για κάθε ένα εκ των 4 τεσσάρων σεναρίων, φαίνεται παρακάτω, στο Διάγραμμα 8.15.



Διάγραμμα 8.15: Κόστος επένδυσης κάθε επιμέρους διάταξης του μείγματος παραγωγής ενέργειας, για κάθε εξεταζόμενο σενάριο.

Η δεύτερη παρατήρηση επί των παραπάνω δύο πινάκων, έγκειται στο γεγονός πως, ενώ το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας από το βιοαέριο είναι σε όλα τα σενάρια (πλην του σεναρίου που συμμετέχουν μόνο οι ανεμογεννήτριες και το βιοαέριο στο ενεργειακό μείγμα) μεγαλύτερο από το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας από το πετρέλαιο, το τελικό μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας που διαμορφώνεται είναι σαφώς μικρότερο από αυτό του πετρελαίου (πλην του σεναρίου που συμμετέχουν μόνο η υπερπηδητή διάταξη κυμάτων και το βιοαέριο στο ενεργειακό μείγμα). Αυτό δείχνει την καθοριστική συνεισφορά των μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα του ανέμου και του ηλίου, στην μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας από το υβριδικό σύστημα του νησιού.

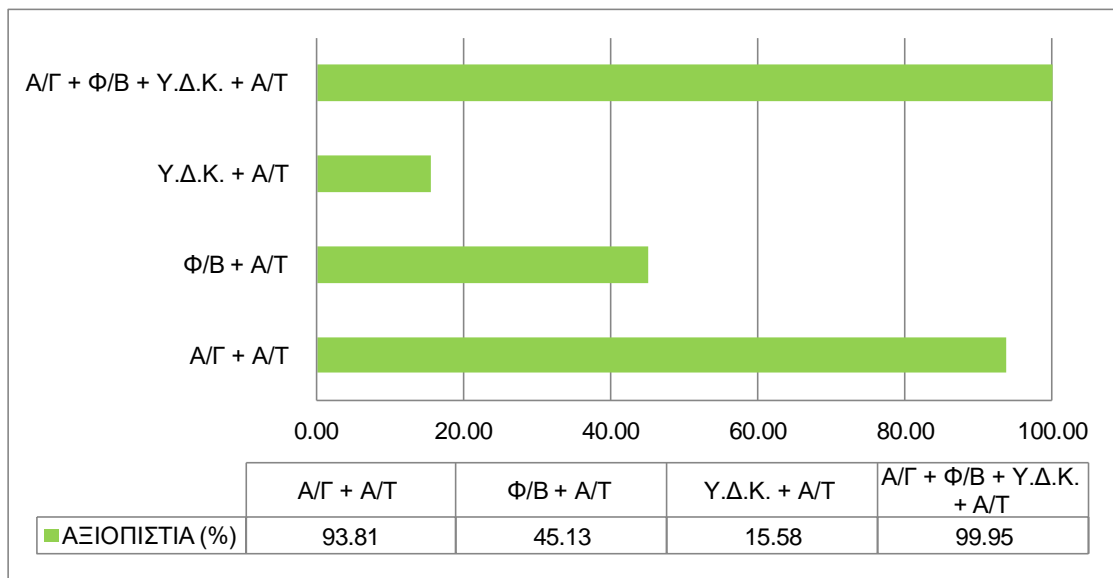


### 8.3.2 ΜΗ ΕΛΕΓΞΙΜΕΣ ΑΠΕ ΚΑΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ - ΑΝΤΛΗΣΟΤΑΜΙΕΥΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Εφόσον από την προηγούμενη ενότητα βγήκε το συμπέρασμα ότι η αποθήκευση ενέργειας σε συνδυασμό με τον έλεγχο της παραγωγής της είναι η κατάλληλη μέθοδος για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός συστήματος παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, επιλέχθηκε να γίνει, σε αυτή την υποενότητα, η προσομοίωση σεναρίων, το μείγμα ενέργειας των οποίων, θα αποτελείται από μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές, από μία διάταξη άντλησης - ταμίευσης (Α/Τ) θαλασσινού νερού, για την αποθήκευση μέρους της πλεονάζουσας ενέργειας και μίας υδροηλεκτρικής εγκατάστασης για την παραγωγή ενέργειας. Η διαφορά μεταξύ της διάταξης άντλησης - ταμίευσης και του αεροφυλακίου βιοαερίου, που εξετάστηκε στην προηγούμενη υποενότητα, εντοπίζεται στο γεγονός πως η πρώτη αποθηκεύει ενέργεια που πλεονάζει στο σύστημα και που προκύπτει από τις μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στη μείωση των ενεργειακών πλεονασμάτων και κατ' επέκταση στην καλύτερη αξιοποίηση της ισχύος του συστήματος. Αντιθέτως η δεύτερη αποθηκεύει ενέργεια σε περίπτωση που ολόκληρη ή μέρος της ζήτησης καλύπτεται από τις μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές, με αποτέλεσμα να αυξάνεται μεν η αξιοπιστία του συστήματος, αλλά να υπάρχουν δε μεγάλες ποσότητες αναξιοποίητης πλεονάζουσας ενέργειας.

Αρχικά επιλέχθηκε να γίνει η διερεύνηση της αξιοπιστίας των σεναρίων με τη μέγιστη εγκατεστημένη ισχύ, έτσι ώστε να προσδιοριστεί εξ αρχής, αν ένα σύστημα αποτελούμενο από μη ελέγξιμες πηγές ενέργειας και από μία υδροηλεκτρική - αντλησοταμειευτική διάταξη είναι ικανό να παρέχει ενεργειακή αυτονομία στο νησί. Για το σκοπό αυτό, προσομοιώθηκαν 4 σεσάρια με τη συμμετοχή των τριών μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ξεχωριστά και με τη συμμετοχή και των τριών μη ελέγξιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό, η κάθε μία από τις οποίες θα έχει εγκατεστημένη ισχύ ίση με την αιχμή της ζήτησης, δηλαδή περίπου 2.8 MW. Ακόμα, ο υδροστρόβιλος της υδροηλεκτρικής διάταξης προβλέφθηκε να έχει εγκατεστημένη ισχύ 2.8 MW, έτσι ώστε να είναι σε θέση να καλύψει τα ενεργειακά ελλείμματα σε περίπτωση που καμία άλλη διάταξη δεν είναι ικανή να το πραγματοποιήσει. Τέλος, η δεξαμενή επιλέχθηκε να έχει τον μέγιστο όγκο που υπάρχει η δυνατότητα να κατασκευαστεί στο σημείο που έχει επιλεγεί να γίνει η τοποθέτησή της (Υποενότητα 5.2.6.3), έτσι ώστε να αποθηκευτεί σε αυτήν ο μεγαλύτερος δυνατός όγκος νερού.

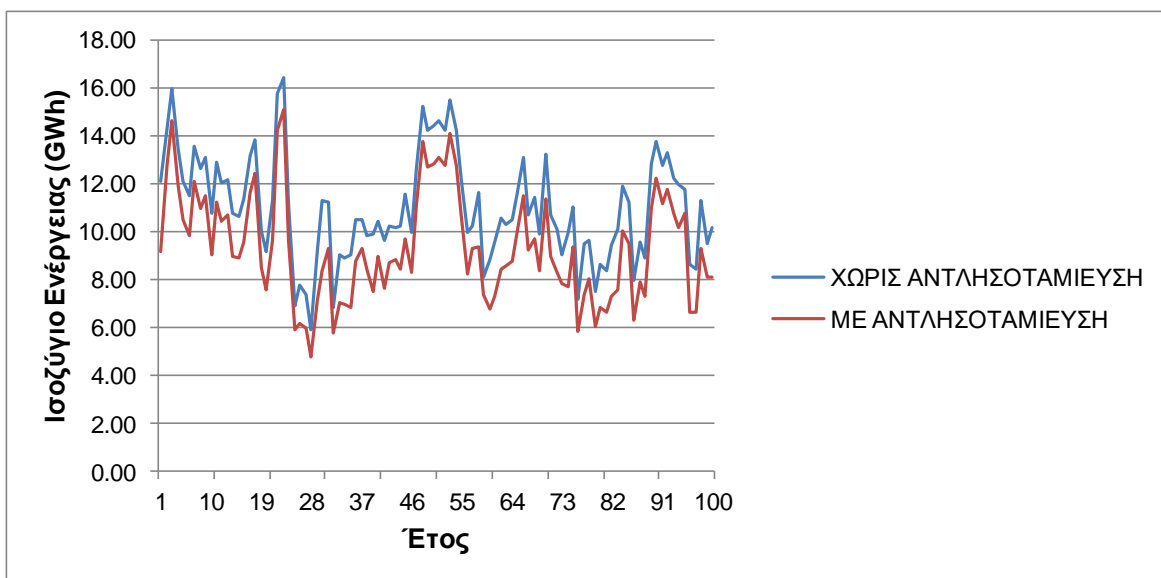
Στο Διάγραμμα 8.16 φαίνεται η αξιοπιστία του συστήματος ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης, για τα 100 έτη λειτουργίας του και για κάθε ένα εκ των τεσσάρων εξεταζόμενων σεναρίων.



Διάγραμμα 8.16: Αξιοπιστία για τα σενάρια που συνδυασμού μη ελέγξιμων ΑΠΕ και υδροηλεκτρικής - αντλησοταμιευτικής διάταξης

Αυτό που ξεχωρίζει από το παραπάνω διάγραμμα είναι η μεγάλη αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος μετά την προσθήκη σε αυτό και της υδροηλεκτρικής - αντλησοταμιευτικής διάταξης και ειδικότερα στο σενάριο που συμμετέχουν μόνο οι ανεμογεννήτριες και η διάταξη άντλησης - ταμίευσης, καθώς και στο σενάριο του συνδυασμού όλων των μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με την υδροηλεκτρική - αντλησοταμιευτική διάταξη. Συγκεκριμένα για τα δύο αυτά σενάρια η αξιοπιστία του συστήματος είναι περίπου 30% μεγαλύτερη από την αξιοπιστία των αντίστοιχων σεναρίων χωρίς τη συμμετοχή της διάταξης αποθήκευσης. Μάλιστα, φαίνεται πως το σενάριο του συνδυασμού των τριών μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με την αντλησοταμιευτική διάταξη έχει αποδεκτή αξιοπιστία για να αντικαταστήσει εξ ολοκλήρου την καύση πετρελαίου για ηλεκτροπαραγωγή.

Εξίσου σημαντική είναι και η μείωση των πλεονασμάτων ενέργειας που επιτυγχάνεται μέσω της αντλησοταμιευτικής διάταξης και η οποία φαίνεται στο Διάγραμμα 8.17 που απεικονίζει το ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας για το σενάριο συνδυασμού των τριών μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με τη συμμετοχή και χωρίς τη συμμετοχή της διάταξης άντλησης - ταμίευσης.



Διάγραμμα 8.17: Ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας με και χωρίς τη συμμετοχή της διάταξης αντλησοταμίευσης για το σενάριο συνδυασμού των τριών μη ελέγξιμων ΑΠΕ

Η παραπάνω αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος, που επιτυγχάνεται μέσω της αποθήκευσης ενέργειας στη διάταξη αντλησοταμίευσης (Διάγραμμα 8.16), έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της παραγόμενης ενέργειας από το πετρέλαιο για την κάλυψη των ελλειμμάτων και κατ' επέκταση την εξοικονόμηση σημαντικών ποσών που θα αξιοποιούνταν για την αγορά του. Τα παραπάνω δύο μεγέθη παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.3, ενώ στον Πίνακα 8.4 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μείωση της ενέργειας που παράχθηκε με τη χρήση πετρελαίου και η αντίστοιχη μείωση στο κόστος για την προμήθεια αυτού, που επετεύχθη με τη συμμετοχή της διάταξης άντλησης - ταμίευσης στο ενεργειακό μείγμα.

Πίνακας 8.3: Παραγόμενη ενέργεια από πετρέλαιο και κόστος προμήθειας του πετρελαίου για τα σενάρια με και χωρίς τη συμμετοχή της αντλησοταμειευτικής - υδροηλεκτρικής διάταξης

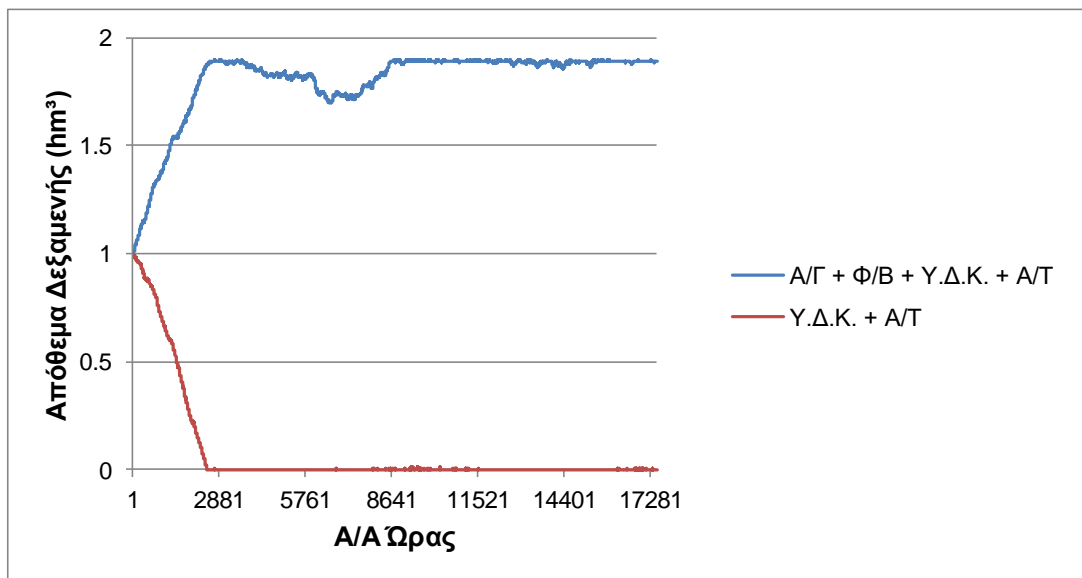
ΣΕΝΑΡΙΟ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ (GWh)	ΚΟΣΤΟΣ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (Μ€)
Α/Γ	222.24	63.57
Φ/Β	407.94	116.70
Υ.Δ.Κ.	525.30	150.27
Α/Γ + Φ/Β + Υ.Δ.Κ	171.61	49.09
Α/Γ + Α/Τ	41.05	11.74
Φ/Β + Α/Τ	341.15	97.59
Υ.Δ.Κ. + Α/Τ	498.54	142.61
Α/Γ + Φ/Β + Υ.Δ.Κ. + Α/Τ	0.34	0.10

Πίνακας 8.4: Ποσοστιαία μείωση στην παραγόμενη ενέργεια από πετρέλαιο και στο κόστος προμήθειάς του για τα σενάρια με συμμετοχή διάταξης άντλησης - ταμίευσης στο ενεργειακό μείγμα

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (%)
A/Γ + A/Τ	81.53
Φ/Β + A/Τ	16.37
Υ.Δ.Κ. + A/Τ	5.09
A/Γ + Φ/Β + Υ.Δ.Κ. + A/Τ	99.80

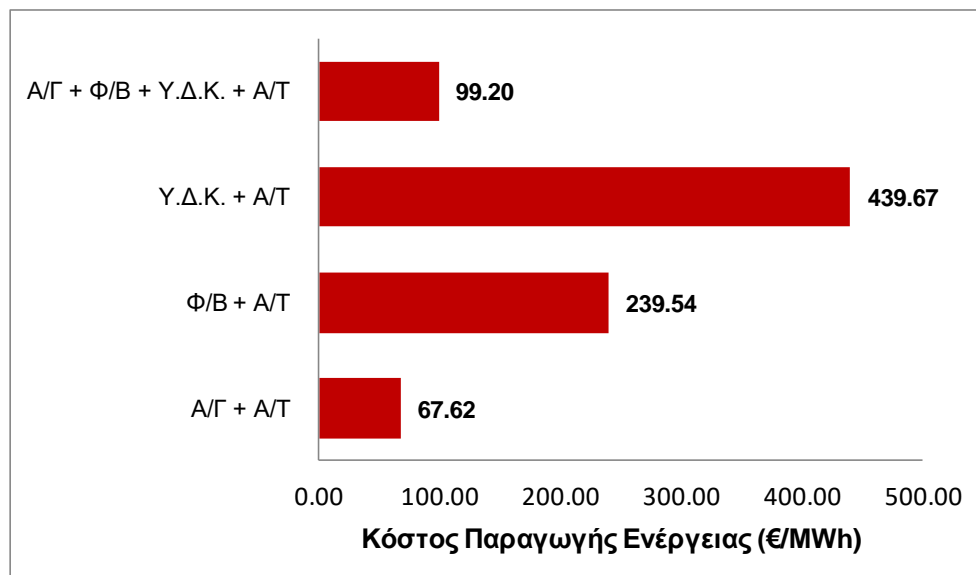
Από τον Πίνακα 8.4 φαίνεται ότι το σενάριο συνδυασμού ανεμογεννητριών με την αντλησοταμιευτική διάταξη και το σενάριο συνδυασμού των τριών μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών με την αντλησοταμιευτική διάταξη είναι αυτά που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μείωση στην παραγόμενη ενέργεια και κατά συνέπεια και στο κόστος προμήθειας του πετρελαίου. Αυτό συμβαίνει, γιατί στα δύο αυτά ενεργειακά μείγματα το πλεόνασμα ενέργειας που προκύπτει είναι ικανό, ώστε να αξιοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό η διάταξη αποθήκευσης ενέργειας και να περιοριστεί αντίστοιχα η χρήση πετρελαίου, πράγμα το οποίο δεν συμβαίνει στα άλλα δύο σενάρια ενεργειακών μειγμάτων, όπου το πλεόνασμα δεν είναι αρκετό για να αποθηκευτεί ικανή ποσότητα ενέργειας στη διάταξη αντλησοταμίευσης.

Στο Διάγραμμα 8.18 φαίνεται η χρονοσειρά του αποθέματος για 2 έτη λειτουργίας της δεξαμενής αντλησοταμίευσης, συνολικού όγκου περίπου  $2 \text{ hm}^3$  (ωφέλιμος όγκος ίσος με  $1.995 \text{ hm}^3$ ), για τα σενάρια με τη μικρότερη και τη μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση της παραγόμενης ενέργειας από πετρέλαιο. Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται ότι στην περίπτωση του πρώτου ενεργειακού μείγματος (υπερπηδητή διάταξη κυμάτων και αντλησοταμιευτική - υδροηλεκτρική διάταξη) η δεξαμενή ξεκινώντας κατά το ήμισυ γεμάτη, αδειάζει σε περίπου 4 μήνες λειτουργίας της υδροηλεκτρικής διάταξης και χωρίς να υπάρχει το απαραίτητο πλεόνασμα ενέργειας ώστε να γεμίσει ξανά, ενώ στο δεύτερο ενεργειακό μείγμα (τρεις μη ελέγξιμες ΑΠΕ και αντλησοταμιευτική - υδροηλεκτρική διάταξη) η δεξαμενή ξεκινώντας ξανά κατά το ήμισυ γεμάτη, γεμίζει πλήρως σε περίπου 4 μήνες λειτουργίας και με το πλεόνασμα να είναι τέτοιο ώστε να μπορεί η δεξαμενή να διατηρηθεί σχεδόν γεμάτη για το διάστημα των 2 ετών.



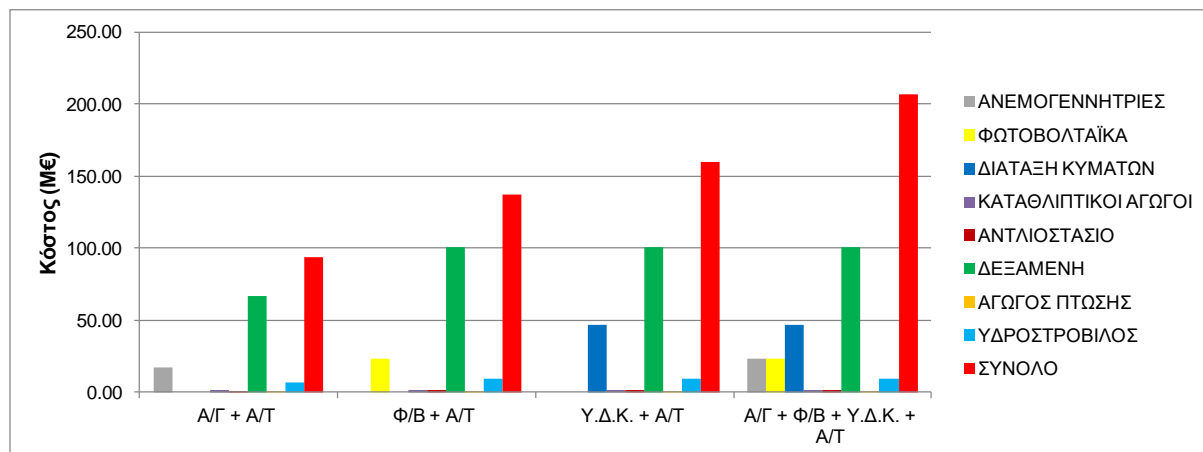
Διάγραμμα 8.18: Ωριαία χρονοσειρά 2 ετών του αποθέματος της δεξαμενής αντλησοταμίευσης για τα σενάρια με την ελάχιστη και τη μέγιστη μείωση της χρήσης πετρελαίου για ηλεκτροπαραγωγή

Το κόστος παραγωγής ενέργειας για τα σενάρια συνδυασμού των μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της διάταξης άντλησης - ταμίευσης παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα, όπου φαίνεται ότι κόστος παραγωγής ενέργειας είναι σαφώς χαμηλότερο από αυτό του πετρελαίου, με εξαίρεση το σενάριο συνδυασμού της αντλησοταμίευσης με την υπερπηδητή διάταξη κυμάτων.



Διάγραμμα 8.19: Μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας για κάθε σενάριο συνδυαστικής αξιοποίησης των μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αντλησοταμιευτικής - υδροηλεκτρικής διάταξης

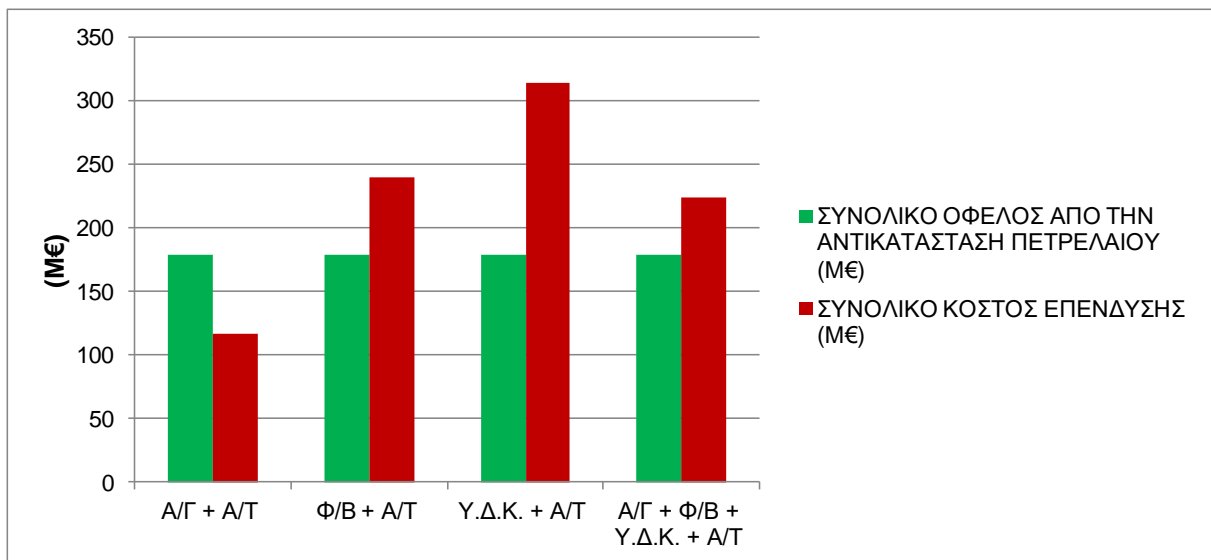
Το καθοριστικό μειονέκτημα των παραπάνω εξεταζόμενων ενεργειακών μειγμάτων έγκειται στο μεγάλο συνολικό κόστος επένδυσης που οδηγεί σε αδυναμία απόσβεσης του υπενδεδυμένου κεφαλαίου. Το αναλυτικό κόστος επένδυσης κάθε επιμέρους διάταξης για κάθε εξεταζόμενο σενάριο παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 8.20: Συνολικό κόστος επένδυσης κάθε επιμέρους διάταξης παραγωγής ενέργειας για κάθε σενάριο συνδυασμού μη ελέγξιμων ΑΠΕ και αντλιοσταμείωσης

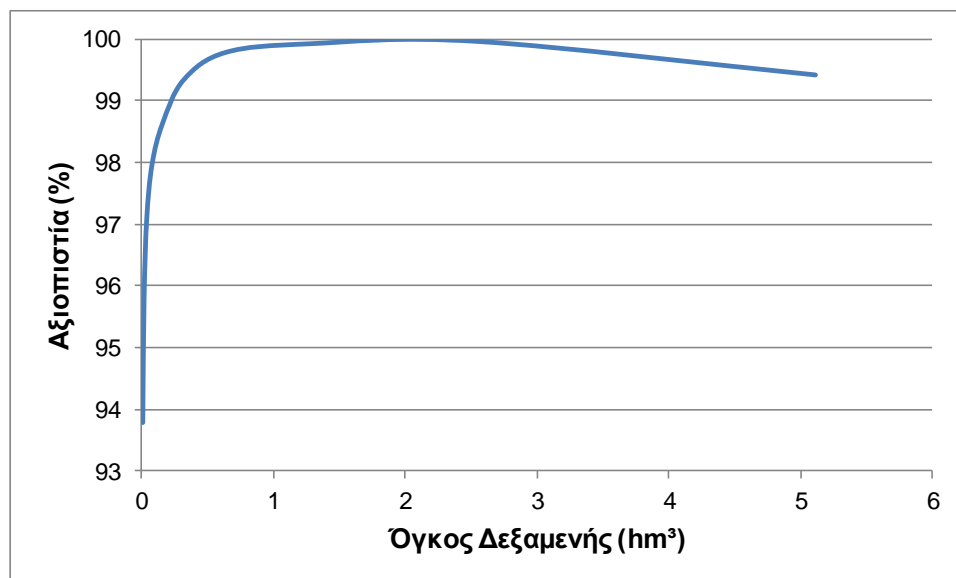
Από το Διάγραμμα 8.20 φαίνεται ότι η δεξαμενή αντλιοσταμείωσης είναι η διάταξη που έχει με διαφορά το μεγαλύτερο κόστος επένδυσης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες διατάξεις του συστήματος. Από αυτό συμπεραίνεται ότι ο συνολικός όγκος της δεξαμενής είναι αρκετά μεγάλος για τα οικονομικά δεδομένα της επένδυσης και θα πρέπει να εξεταστούν σενάρια ενεργειακών μειγμάτων με μικρότερο όγκο δεξαμενής και με την παράλληλη συμμετοχή κάποιας επιπλέον ελέγξιμης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, έτσι ώστε να μειωθεί το συνολικό κόστος επένδυσης.

Όταν, μάλιστα στο κόστος επένδυσης για τις διατάξεις κάθε σεναρίου προστεθεί και το συνολικό λειτουργικό κόστος του συστήματος για τον ωφέλιμο χρόνο ζωής του έργου και το κόστος για την καύση πετρελαίου σε περίπτωση αστοχίας του συστήματος των ΑΠΕ, τότε προκύπτει το συνολικό κόστος της επένδυσης, που όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 8.21, είναι μεγαλύτερο από το ποσό που μπορεί να εξοικονομηθεί από την ολική αντικατάσταση του πετρελαίου, με εξαίρεση το σενάριο συνδυασμού των ανεμογεννητριών με την διάταξη αντλιοσταμείωσης.



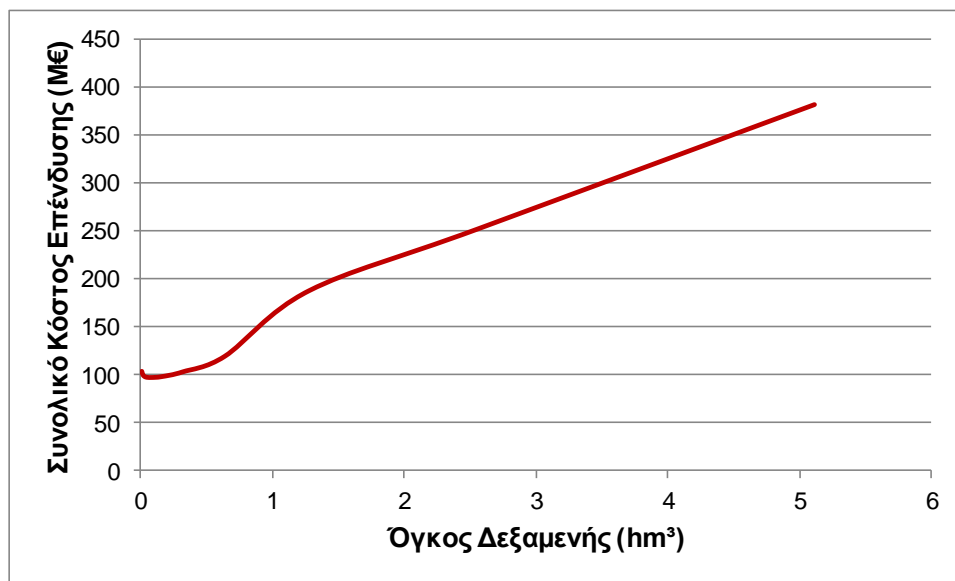
Διάγραμμα 8.21: Συνολικό κόστος επένδυσης του συστήματος των ΑΠΕ και συνολικό ποσό που εξοικονομείται από την ολική αντικατάσταση του πετρελαίου

Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το Διάγραμμα 8.22 στο οποίο απεικονίζεται η αξιοπιστία του συστήματος συναρτήσει του συνολικού όγκου της δεξαμενής αντλησοταμίευσης, κάνοντας την παραδοχή ότι στο σύστημα θα συμμετέχουν και οι τρεις μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ότι δεν θα υπάρχει περιορισμός στην επιφάνεια που μπορεί να διατεθεί για την κατασκευή της δεξαμενής αντλησοταμίευσης και συνεπώς και περιορισμός στον συνολικό όγκο της δεξαμενής.



Διάγραμμα 8.22: Αξιοπιστία συναρτήσει του όγκου της δεξαμενής αντλησοταμίευσης για σενάρια με συμμετοχή και των τριών μη ελέγξιμων ΑΠΕ και χωρίς περιορισμό στον όγκο της δεξαμενής αντλησοταμίευσης

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως η αξιοπιστία του συστήματος παραγωγής ενέργειας γίνεται μέγιστη (99.96%) για τιμές του όγκου της δεξαμενής περίπου ίσες με  $2.5 \text{ hm}^3$ . Για τιμές μεγαλύτερες από  $2.5 \text{ hm}^3$  οι τιμές της αξιοπιστίας ακολουθούν μια ελαφρώς φθίνουσα τάση. Αυτή η φθίνουσα τάση στην αξιοπιστία του συστήματος αυξανόμενου του όγκου της δεξαμενής συμβαίνει λόγω της έλλειψης νερού για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που οφείλεται στη μεγάλη αύξηση της εξάτμισης του νερού με την αύξηση του όγκου και κατ' επέκταση και της επιφάνειας της δεξαμενής κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, που είναι και οι μήνες με τη μεγαλύτερη ζήτηση για ενέργεια. Επίσης, παρατηρείται πως για τιμές του όγκου της δεξαμενής από περίπου  $1.3 \text{ hm}^3$  έως και  $2.5 \text{ hm}^3$  η αξιοπιστία του συστήματος είναι μεγαλύτερη από 99.90%, πράγμα που σημαίνει πως οποιοδήποτε σενάριο προσομοίωσης με όγκο δεξαμενής μεγαλύτερο από  $1.3 \text{ hm}^3$  έχει επιβαρυνόμενο κόστος επένδυσης λόγω μεγάλου όγκου δεξαμενής χωρίς κανένα ουσιαστικό όφελος στην αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος, όπως και φαίνεται στο Διάγραμμα 8.23 που παρουσιάζεται το κόστος επένδυσης συναρτήσει του όγκου δεξαμενής.



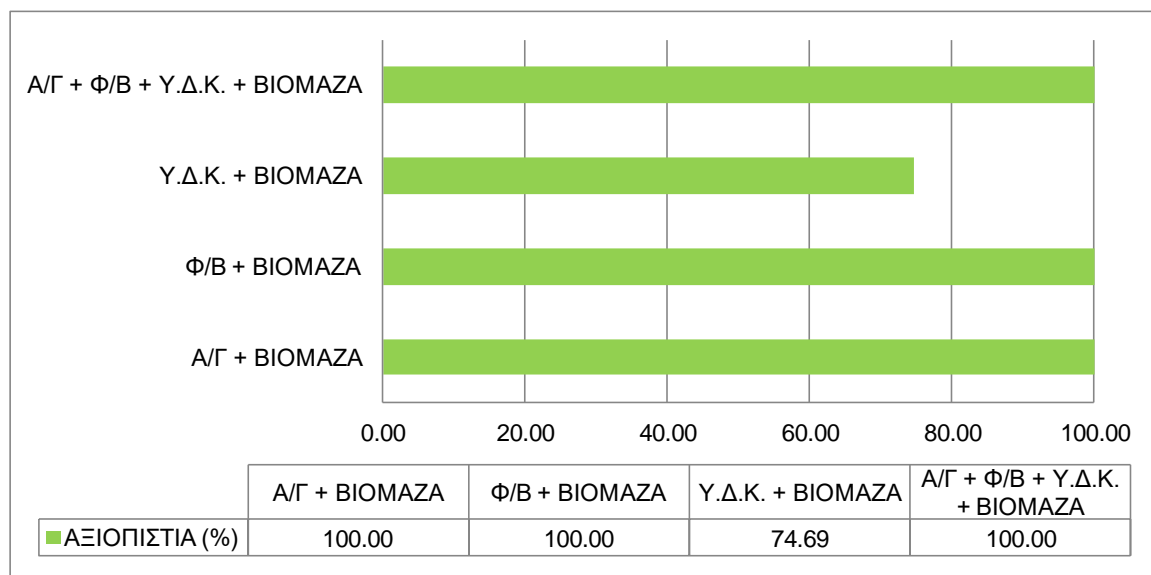
Διάγραμμα 8.23: Συνολικό κόστος επένδυσης συναρτήσει του όγκου της δεξαμενής αντλησοσταμείωσης για σενάρια με συμμετοχή και των τριών μη ελέγξιμων ΑΠΕ



### 8.3.3 ΜΗ ΕΛΕΓΞΙΜΕΣ ΑΠΕ ΚΑΙ ΒΙΟΜΑΖΑ

Με βάση το παραπάνω συμπέρασμα που προέκυψε για τη συμμετοχή μιας ακόμα ελέγξιμης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα, εξετάστηκαν στην υποενότητα αυτή σενάρια συνδυασμού των τριών μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της βιομάζας. Η βιομάζα αποτελεί μία κατεξοχήν ελέγξιμη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθώς συλλέγεται, αποξηραίνεται, αποθηκεύεται και με δεδομένο ότι η λειτουργία της διάταξης παραγωγής ενέργειας με τη χρήση βιομάζας δεν διακόπτεται, παρά ελαχίστων εξαιρέσεων, έχει τη δυνατότητα να παράγει ενέργεια όποτε αυτό απαιτηθεί, συμβάλλοντας καθοριστικά στην σταθεροποίηση ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας και την αύξηση της αξιοπιστίας του. Η βιομάζα συνδυάζει το πλεονέκτημα της άμεσης αποθήκευσης μεγάλης ποσότητας ενέργειας με τη μορφή ξηρής ουσίας υψηλής θερμογόνου δύναμης, πλεονέκτημα που ούτε το βιοαέριο ούτε η υδροηλεκτρική διάταξη διαθέτουν, αλλά και το πλεονέκτημα του ελέγχου στην παραγωγή ενέργειας. Οι μόνοι δύο περιοριστικοί παράγοντες στην παραγωγή ενέργειας με την αξιοποίηση της βιομάζας είναι το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας, το οποίο επιβαρύνεται από το κόστος παραγωγής της βιομάζας και η διαθέσιμη ετήσια ποσότητα βιομάζας για ηλεκτροπαραγωγή, που εξαρτάται από τη διαθέσιμη καλλιεργήσιμη έκταση του νησιού.

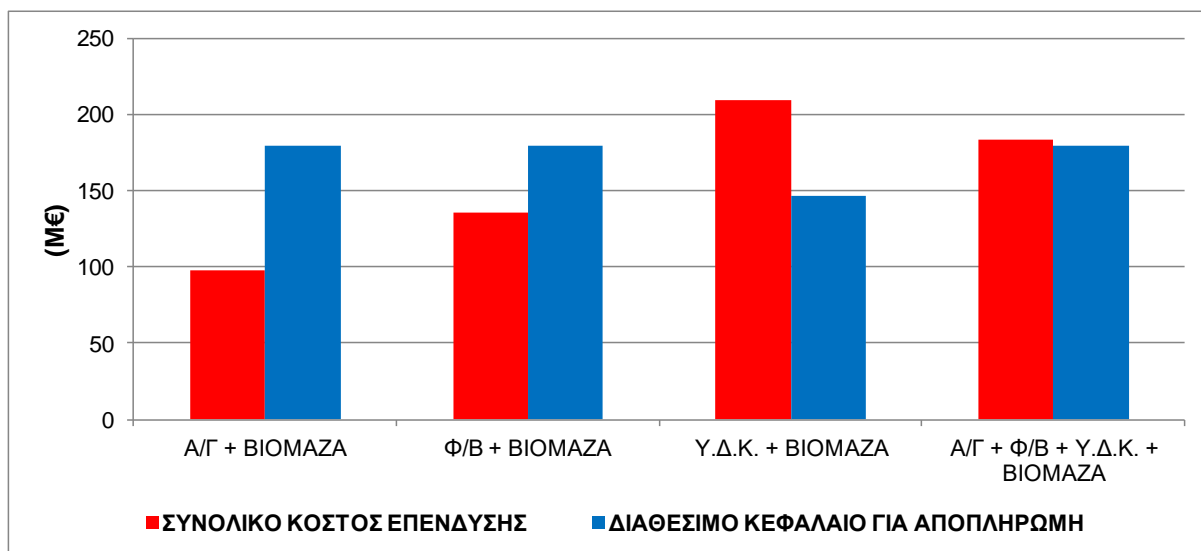
Στο Διάγραμμα 8.24 φαίνεται η αξιοπιστία που προκύπτει ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης για τα σενάρια συνδυασμού των τριών μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με τη βιομάζα και με την αξιοποίηση της μέγιστης καλλιεργήσιμης έκτασης του νησιού που διαθέτει το νησί της Αστυπάλαιας που ισούται με 150 ha.



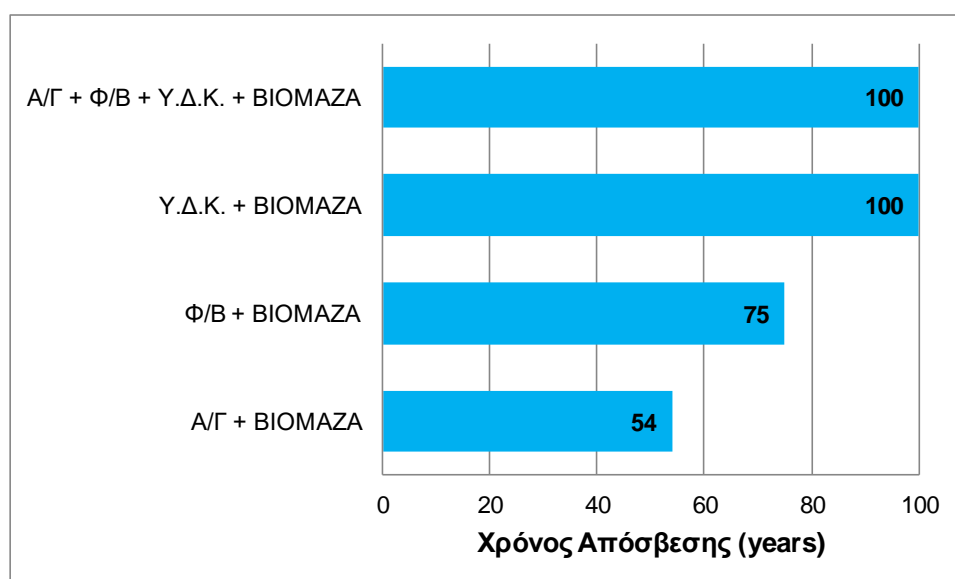
Διάγραμμα 8.24: Αξιοπιστία για τα σενάρια που συνδυασμού μη ελέγξιμων ΑΠΕ και βιομάζας

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι υπάρχουν 3 σενάρια ενεργειακού μείγματος και συγκεκριμένα τα σενάρια συνδυασμού των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών με τη διάταξη παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και το σενάριο συνδυασμού όλων των μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με τη βιομάζα, που επιτυγχάνουν αξιοπιστία στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης ίση με 100%. Αυτό σημαίνει ότι το ενεργειακό μείγμα των τριών παραπάνω σεναρίων είναι βέλτιστο από πλευράς αξιοπιστίας.

Από οικονομικής πλευράς όμως, τα τρία αυτά σενάρια παρουσιάζουν σοβαρά μειονεκτήματα. Το πρώτο βασικό μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι για το σενάριο του συνδυασμού των τριών μη ελέγξιμων ΑΠΕ με τη βιομάζα το συνολικό κόστος της επένδυσης είναι τόσο υψηλό που δεν υπάρχει η δυνατότητα απόσβεσής του στα 100 έτη λειτουργίας του συστήματος. Το συνολικό κόστος επένδυσης για κάθε εξεταζόμενο σενάριο καθώς και το συνολικό διαθέσιμο κεφάλαιο για την αποπληρωμή της επένδυσης φαίνονται στο Διάγραμμα 8.25, ενώ ο αντίστοιχος χρόνος απόσβεσης φαίνεται στο Διάγραμμα 8.26.

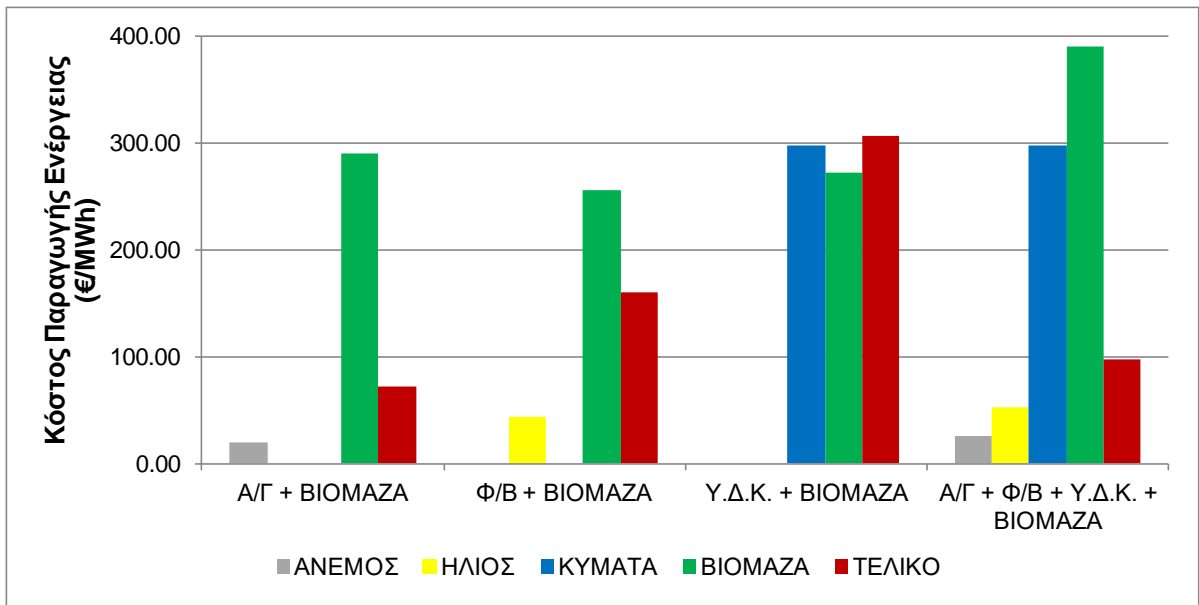


Διάγραμμα 8.25: Συνολικό κόστος επένδυσης και συνολικό διαθέσιμο κεφάλαιο για την αποπληρωμή αυτής για κάθε εξεταζόμενο σενάριο συνδυασμού μη ελέγξιμων ΑΠΕ και βιομάζας



Διάγραμμα 8.26: Χρόνος απόσβεσης για κάθε σενάριο συμμετοχής μη ελέγξιμων ΑΠΕ και βιομάζας

Τέλος, στο Διάγραμμα 8.27 παρουσιάζεται αναλυτικά το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας για τα εξεταζόμενα σενάρια, από το οποίο φαίνεται ότι στα τρία σενάρια που η αξιοπιστία τους φτάνει το 100%, είναι αρκετά χαμηλότερο από το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας με αποκλειστική χρήση πετρελαίου, παρόλο που το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας με τη χρήση βιομάζας δεν είναι εξίσου χαμηλό σε σύγκριση αυτό του πετρελαίου. Αυτό δείχνει την καθοριστική συμβολή των μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας.



Διάγραμμα 8.27: Μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας για κάθε σενάριο συνδυαστικής αξιοποίησης των μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και βιομάζας

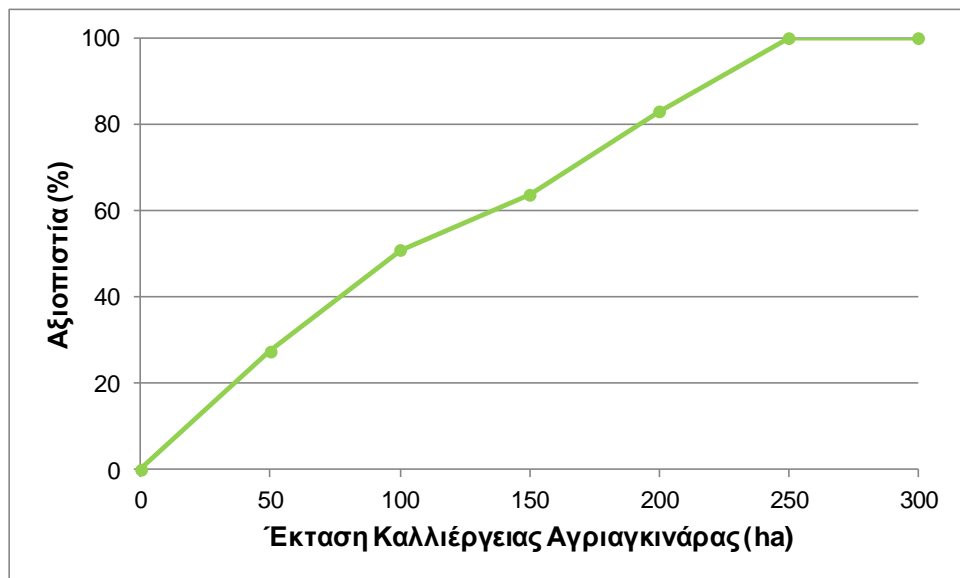
#### 8.4 ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΜΕ ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Σε αυτήν την υποενότητα εξετάζεται το σενάριο της αντικατάστασης του πετρελαίου με αποκλειστική χρήση βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας στο νησί της Αστυπάλαιας και αναλύονται οι απαιτήσεις και τα οικονομικά αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτήν την αντικατάσταση.

Όπως έχει προαναφερθεί, η βιομάζα συνιστά μια μορφή ανανεώσιμης ενέργειας, που λόγω του γεγονότος ότι μπορεί να καλλιεργηθεί και να αποθηκευτεί σε μεγάλες ποσότητες, πράγμα που επιτρέπει τον πλήρη έλεγχο στην παραγωγή ενέργειας μέσω αυτής, αλλά και του γεγονότος ότι είναι μία αρκετά πυκνή ενεργειακά ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, είναι η μόνη από τις ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που εξετάστηκαν στο παρόν υβριδικό σύστημα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας της Αστυπάλαιας που θα μπορούσε να υποκαταστήσει το πετρέλαιο, χωρίς να απαιτείται η συμμετοχή άλλων πηγών ενέργειας.

Ο βασικός περιορισμός στη χρήση βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η διαθέσιμη έκταση προς καλλιέργεια του νησιού της Αστυπάλαιας, που είναι ίση με περίπου 150 ha (Πίνακας 5.3, [4]). Η αξιοπιστία στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης που επιτυγχάνεται αν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η βιομάζα που παράγεται από την καλλιέργεια αγριαγκινάρας στα 150 ha που είναι διαθέσιμα στο νησί και η βιομάζα που παράγεται από τις ήδη υπάρχουσες καλλιέργειες του νησιού (Πίνακας 5.2, [4]) είναι 63.70 % (Πίνακας 8.1), πράγμα που σημαίνει πως με την υπάρχουσα διαθέσιμη έκταση προς καλλιέργεια δεν μπορεί να επιτευχθεί αποδεκτή αξιοπιστία στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης του νησιού.

Όμως, με την υπόθεση πως δεν υπάρχει περιορισμός στη διαθέσιμη καλλιεργήσιμη έκταση του νησιού προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα, στο οποίο φαίνεται η αξιοπιστία που προκύπτει για διάφορες τιμές της καλλιεργήσιμης έκτασης της βιομάζας.



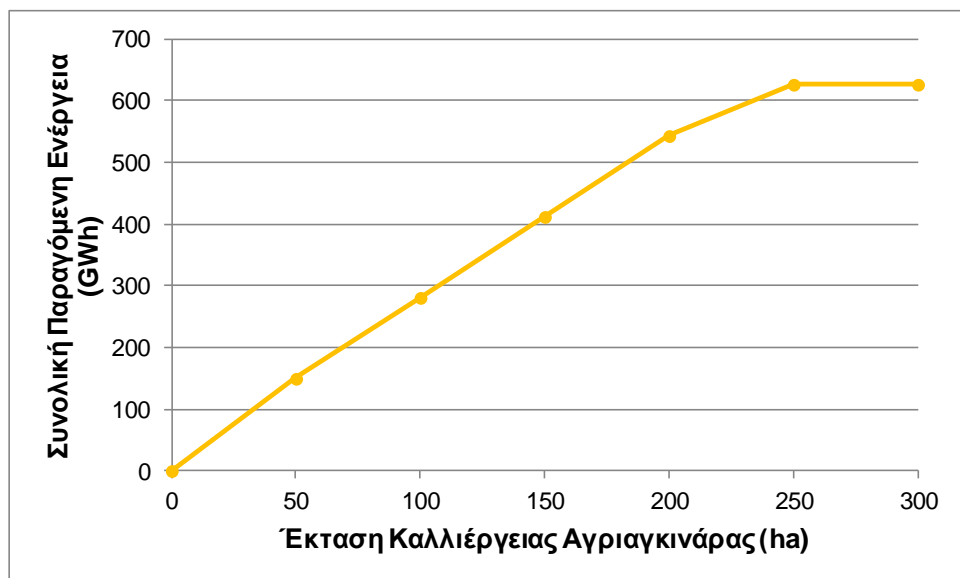
Διάγραμμα 8.28: Αξιοπιστία για διάφορες τιμές της καλλιεργήσιμης έκτασης βιομάζας

Από το Διάγραμμα 8.28 προκύπτει ότι η έκταση που πρέπει να καλλιεργηθεί με αγριαγκινάρα έτσι ώστε να επιτευχθεί 100% αξιοπιστία του συστήματος ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης είναι περίπου 250 ha.

Ένα ακόμα στοιχείο που αξίζει να αναφερθεί στην παρούσα υποενότητα είναι το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας με τη χρήση βιομάζας, που όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 8.29 για τιμές της καλλιεργήσιμης έκτασης που είναι μεγαλύτερες από περίπου 200 ha και για τις οποίες σύμφωνα με το Διάγραμμα 8.30 η συνολική παραγόμενη ενέργεια, για τα 100 έτη λειτουργίας του συστήματος, είναι μεγαλύτερη από περίπου 550 GWh, το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας είναι μικρότερο από το αντίστοιχο κόστος της χρήσης πετρελαίου.



Διάγραμμα 8.29: Μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας για διάφορες τιμές της καλλιεργήσιμης έκτασης βιομάζας



Διάγραμμα 8.30: Συνολική παραγόμενη ενέργεια για 100 έτη λειτουργίας του συστήματος για διάφορες τιμές της καλλιεργήσιμης έκτασης βιομάζας

## 8.5 ΜΕΘΟΔΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ

Είναι προφανές και με βάση την παραπάνω διερεύνηση, πως για την επιλογή της βέλτιστης, από πλευράς αξιοπιστίας και από οικονομικής πλευράς, λύσης πρέπει να εξεταστεί ένα ενεργειακό μείγμα ανανεώσιμων πηγών, δηλαδή ένα σύστημα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας βασισμένο στη συμμετοχή πολλαπλών πηγών. Για τη βελτιστοποίηση ενός τέτοιου συστήματος και συγκεκριμένα του συστήματος παραγωγής ενέργειας που εξετάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας στο νησί της Αστυπάλαιας, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της στοχαστικής προσομοίωσης Monte Carlo. Η επιλογή της τεχνικής Monte Carlo έγινε λόγω της ύπαρξης πολλών μεταβλητών στο πρόβλημα βελτιστοποίησης αξιοπιστίας και κόστους του συστήματος παραγωγής ενέργειας του νησιού [51], και οι οποίες είναι 7 στον αριθμό. Συγκεκριμένα, οι μεταβλητές του μοντέλου είναι: ο αριθμός των ανεμογεννητριών, η εγκατεστημένη ισχύς του φωτοβολταϊκού πάρκου, η εγκατεστημένη ισχύς της διάταξης υπερπήδησης - ανύψωσης κυμάτων, ο αριθμός των ζώων ( πρόβατα και αίγες) από το οποίο προκύπτει η εγκατεστημένη ισχύς της εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας από το βιοαέριο, ο όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης θαλασσινού νερού και η έκταση που θα καλλιεργηθεί με ενεργειακά φυτά.

Για την προσομοίωση Monte Carlo απαιτείται, για την κάθε μεταβλητή, ο καθορισμός μιας μέγιστης τιμής, μιας ελάχιστης τιμής και ενός βήματος με το οποίο θα γίνεται η επιλογή της τιμής κάθε μεταβλητής, εντός του παραπάνω προκαθορισμένου εύρους μέγιστης - ελάχιστης τιμής της. Για κάθε σενάριο γίνεται τυχαία επιλογή της τιμής κάθε μεταβλητής και προσομοιώνοντας έναν μεγάλο αριθμό σεναρίων προκύπτουν οι βέλτιστες λύσεις από την πλευρά της αξιοπιστίας και του κόστους του συστήματος. Ο αριθμός των σεναρίων που προσομοιώθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι 2000. Στον Πίνακα 8.5 παρουσιάζονται οι τρεις παραπάνω τιμές για κάθε μία εκ των επτά μεταβλητών του προβλήματος βελτιστοποίησης.



Πίνακας 8.5: Εύρος τιμών και βήμα για τις 7 μεταβλητές του προβλήματος βελτιστοποίησης.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΒΗΜΑ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	6	0	1
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ (kW)	2800	0	100
ΙΣΧΥΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ (kW)	2800	0	100
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΒΑΤΩΝ	3500	0	200
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΙΓΩΝ	7500	0	200
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (m <sup>3</sup> )	1995000	0	10000
ΕΚΤΑΣΗ ΓΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΦΥΤΩΝ (ha)	150	0	10

Η εύρεση της εγκατεστημένης ισχύος της διάταξης παραγωγής ενέργειας από το βιοαέριο για το κάθε σενάριο, έγινε με τη χρήση της σχέσης:

$$P_{bg} = \left( \frac{\frac{N_s}{N_{s,max}} + \frac{N_g}{N_{g,max}}}{2} \right) P_{bg,max} \quad (8.1)$$

Όπου:

$P_{bg}$ , είναι η εγκατεστημένη ισχύς της διάταξης του βιοαερίου, σε kW

$N_s$ , είναι ο αριθμός των προβάτων του σεναρίου, τυχαία επιλεγμένος εντός των ορίων του Πίνακας 8.5

$N_g$ , είναι ο αριθμός των αιγών του σεναρίου, τυχαία επιλεγμένος εντός των ορίων του Πίνακας 8.5

$N_{s,max}$ , είναι ο μέγιστος αριθμός των προβάτων (Πίνακας 8.5)

$N_{g,max}$ , είναι ο μέγιστος αριθμός των αιγών (Πίνακας 8.5)

$P_{bg,max}$ , είναι η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς της διάταξης του βιοαερίου, που ισούται με την αιχμή της ενεργειακής ζήτησης, δηλαδή 2800 kW (Πίνακας 8.6)

Το αντλιοστάσιο, θα αποτελείται από μία αντλία τύπου 1 και μία αντλία τύπου 2, μαζί με τις εφεδρικές τους για την περίπτωση που παρουσιαστεί βλάβη ή ανάγκη για συντήρηση σε κάποια από τις αντλίες.

Η εύρεση της εγκατεστημένης ισχύος του υδροστροβίλου για το κάθε σενάριο έγινε με χρήση της σχέσης:

$$P_{ht} = \left( \frac{\frac{N_{wt}}{N_{wt,max}} + \frac{P_{sp}}{P_{sp,max}} + \frac{P_{wod}}{P_{wod,max}} + \frac{V_{wt}}{V_{wt,max}}}{4} \right) P_{ht,max} \quad (8.2)$$

Όπου:

$P_{ht}$ , είναι η εγκατεστημένη ισχύς του υδροστροβίλου του σεναρίου

$N_{wt}$ , είναι ο αριθμός των ανεμογεννητριών του σεναρίου

$P_{sp}$ , είναι η εγκατεστημένη ισχύς του φωτοβολταϊκού πάρκου του σεναρίου, τυχαία επιλεγμένη εντός των ορίων του Πίνακα 8.5, σε kW

$P_{wod}$ , είναι η εγκατεστημένη ισχύς της διάταξης υπερπήδησης κυμάτων του σεναρίου, τυχαία επιλεγμένη εντός των ορίων του Πίνακα 8.5, σε kW

$V_{wst}$ , είναι ο όγκος της δεξαμενής άντλησης - ταμίευσης του σεναρίου, τυχαία επιλεγμένος εντός των ορίων του Πίνακα 8.5, σε m<sup>3</sup>

$N_{wt,max}$ , είναι ο μέγιστος αριθμός των ανεμογεννητριών (Πίνακας 8.5)

$P_{sp,max}$ , είναι η μέγιστη έκταση του φωτοβολταϊκού πάρκου (Πίνακας 8.5), σε kW

$P_{wod,max}$ , είναι η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς της διάταξης υπερπήδησης κυμάτων (Πίνακας 8.5), σε kW

$V_{ps,max}$ , είναι ο μέγιστος όγκος της δεξαμενής άντλησης - ταμίευσης (Πίνακας 8.5), σε m<sup>3</sup>

$P_{ht,max}$ , είναι η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς του υδροστροβίλου, σε kW (Πίνακας 8.6)

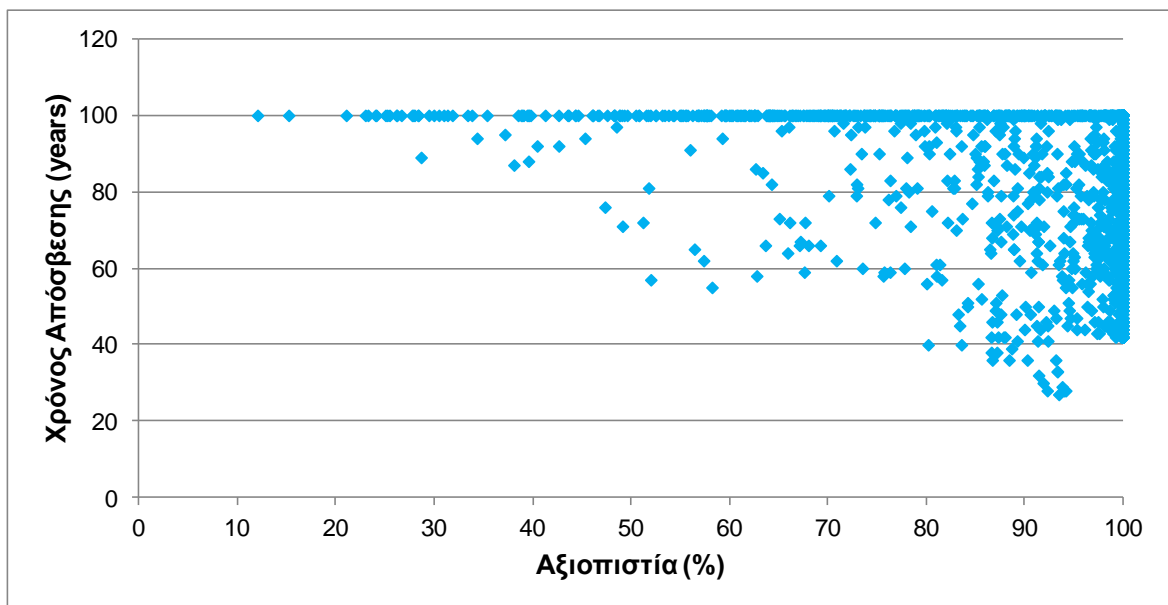
Η εγκατεστημένη ισχύς της διάταξης παραγωγής ενέργειας με χρήση βιομάζας θα είναι ίση με την αιχμή της ενεργειακής ζήτησης για τα 100 έτη λειτουργίας του συστήματος και συνεπώς ίση με 2800 kW. Αυτό επιλέχθηκε καθώς η διάταξη της βιομάζας έχει την μικρότερη αβεβαιότητα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας του υβριδικού συστήματος και επομένως υπάρχει μικρότερη πιθανότητα αστοχίας της διάταξης βιομάζας ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης.

Πίνακας 8.6: Μέγιστες τιμές για τα μεγέθη που υπολογίζονται ως μέσο ποσοστό των τυχαίων μεταβλητών με τις οποίες σχετίζονται

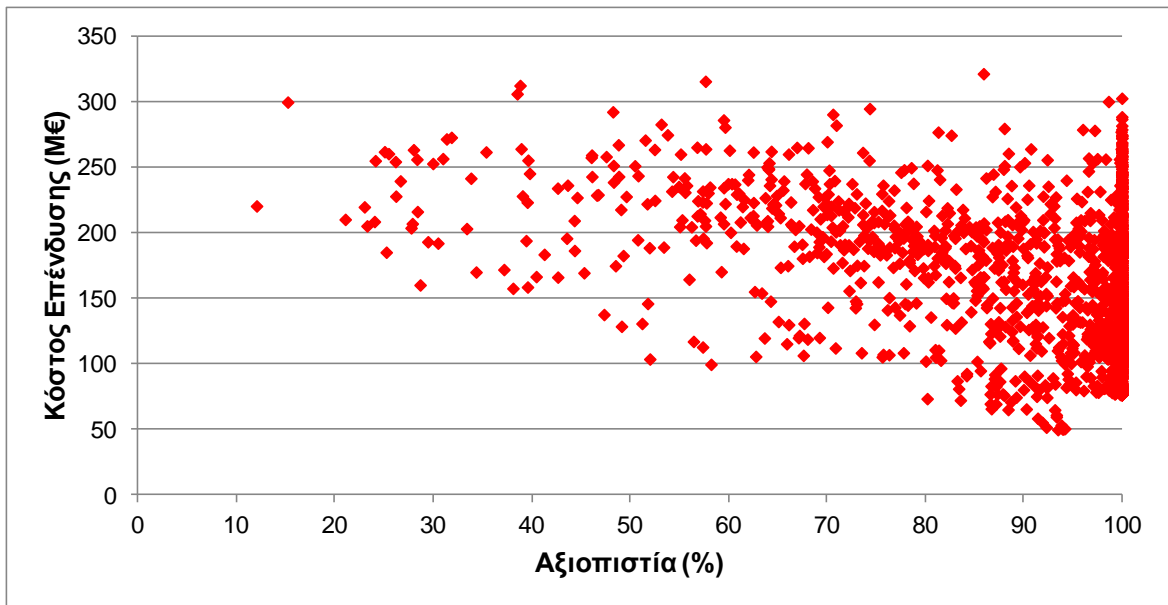
ΜΕΓΕΘΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ
ΙΣΧΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ (kW)	2800
ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ (kW)	2800

## 8.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

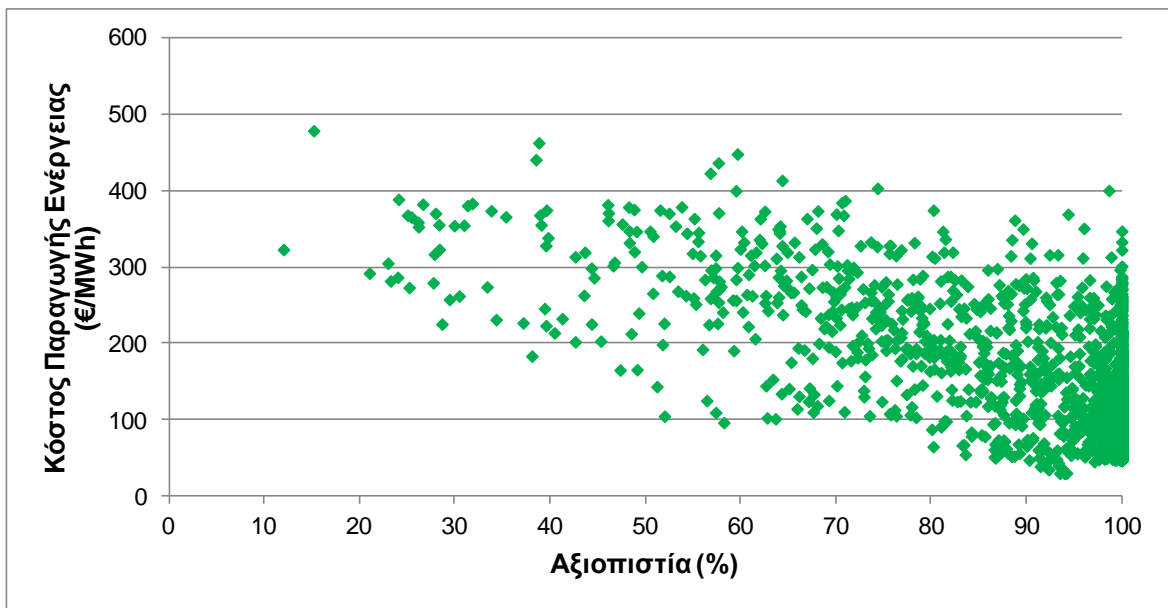
Η ωριαία προσομοίωση της λειτουργίας του συστήματος παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας της Αστυπάλαιας, για τα 100 έτη ωφέλιμης διάρκειας ζωής του συστήματος, έγινε με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού python. Στα παρακάτω δύο διαγράμματα (Διάγραμμα 8.31, Διάγραμμα 8.32, Διάγραμμα 8.33 και Διάγραμμα 8.34) παρουσιάζεται ο χρόνος απόσβεσης, το συνολικό κόστος επένδυσης, το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας και το συνολικό οικονομικό όφελος σε συνάρτηση με την αξιοπιστία για τα 2000 σενάρια που προσομοιώθηκαν.



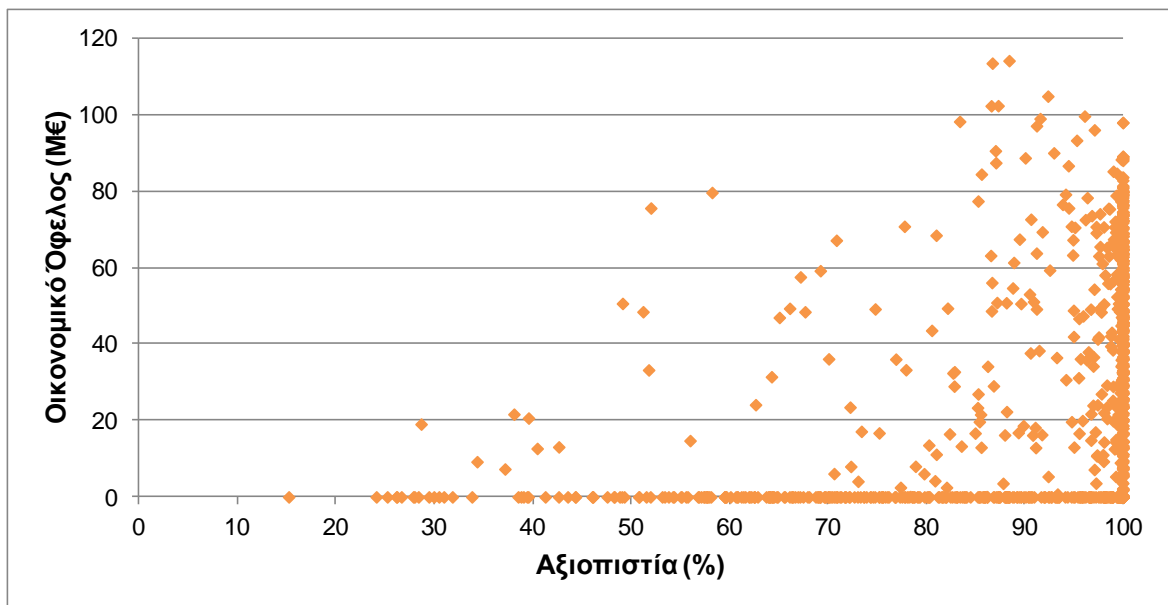
Διάγραμμα 8.31: Χρόνος απόσβεσης και αξιοπιστία για τα 2000 σενάρια που προσομοιώθηκαν μέσω της μεθόδου Monte Carlo



Διάγραμμα 8.32: Κόστος επένδυσης και αξιοπιστία για τα 2000 σενάρια που προσομοιώθηκαν μέσω της μεθόδου Monte Carlo



Διάγραμμα 8.33: Μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας και αξιοπιστία για τα 2000 σενάρια που προσομοιώθηκαν μέσω της μεθόδου Monte Carlo



Διάγραμμα 8.34: Συνολικό οικονομικό όφελος από την επένδυση και αξιοπιστία για τα 2000 σενάρια που προσομοιώθηκαν μέσω της μεθόδου Monte Carlo

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται πως υπάρχουν σενάρια που έχουν αποδεκτή αξιοπιστία ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης. Σε ότι έχει να κάνει με τον χρόνο που απαιτείται για την απόσβεση του κόστους της συνολικής επένδυσης για την εγκατάσταση - αντικατάσταση και τη λειτουργία του υβριδικού συστήματος για χρονική διάρκεια 100 ετών, φαίνεται πως υπάρχουν σενάρια με χαμηλό χρόνο απόσβεσης της επένδυσης (Διάγραμμα 8.31). Εκείνο όμως που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον από τα παραπάνω σενάρια είναι το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας που φαίνεται να είναι στην πλειονότητα των σεναρίων κατά πολύ χαμηλότερο από το αντίστοιχο μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας με τη χρήση πετρελαίου καθώς και το συνολικό οικονομικό όφελος από της επένδυσης που φαίνεται πως είναι υψηλό σε αρκετά σενάρια προσομοίωσης.

### 8.6.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Σε αυτήν την υποενότητα αναλύονται ορισμένα από τα παραπάνω σενάρια προσομοίωσης του συστήματος παραγωγής ενέργειας της Αστυπάλαιας, ως προς τη σύσταση του ενεργειακού μείγματος και τα οικονομικά τους χαρακτηριστικά.

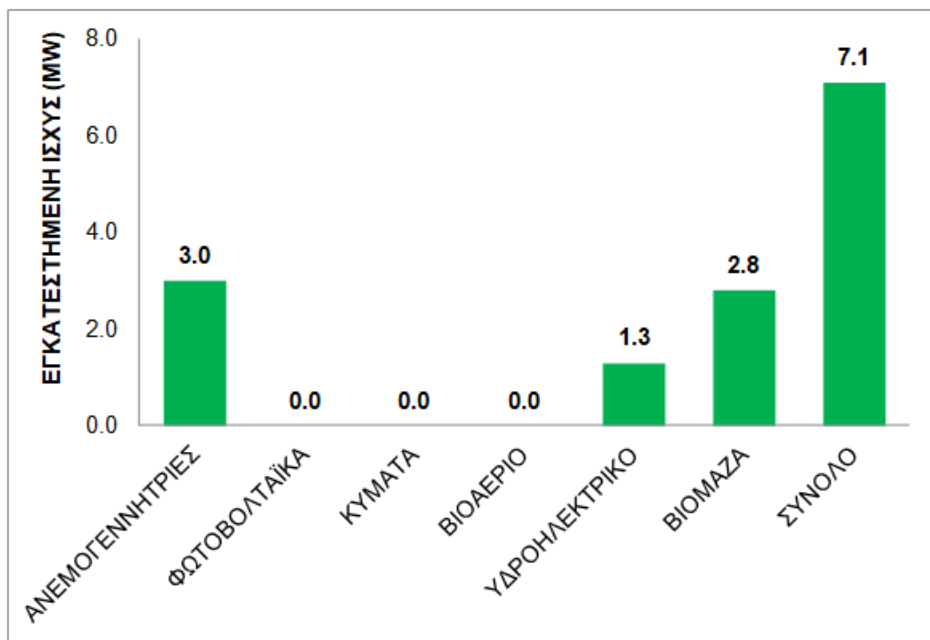
Το πρώτο σενάριο που επιλέχθηκε είναι το βέλτιστο σενάριο που προέκυψε από την προσομοίωση και το οποίο είναι αυτό με την μέγιστη αξιοπιστία και τον μικρότερο χρόνο απόσβεσης της συνολικής επένδυσης. Το σενάριο αυτό έχει αξιοπιστία ίση με 100% ως προς

την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης και χρόνο απόσβεσης της συνολικής επένδυσης ίσο με 42 έτη. Οι τυχαίες μεταβλητές της προσομοίωσης Monte Carlo για το εν λόγω σενάριο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

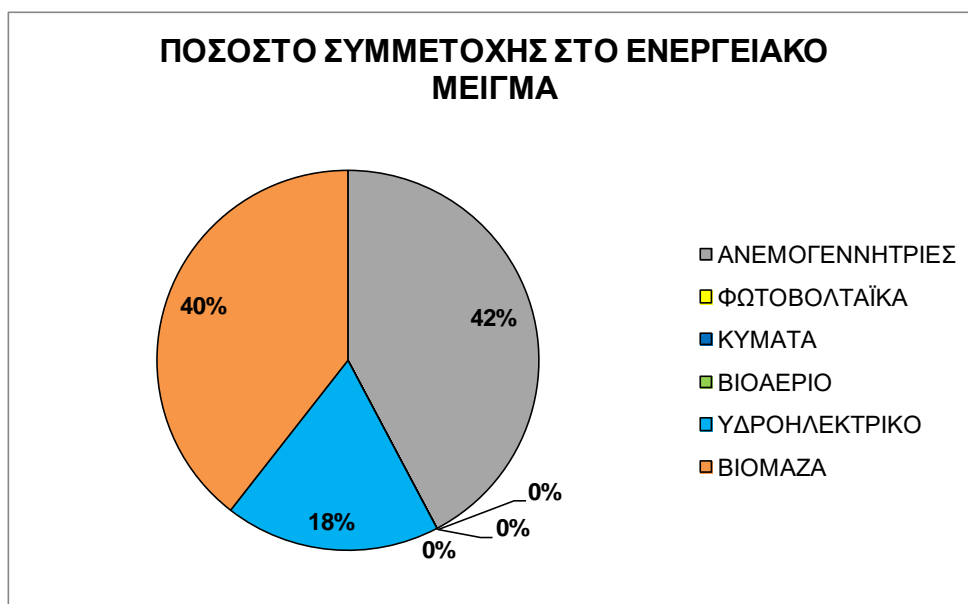
Πίνακας 8.7: Τυχαίες μεταβλητές του βέλτιστου από πλευράς αξιοπιστίας και χρόνου απόσβεσης, σεναρίου

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΤΙΜΗ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	6
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ (kW)	0
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ (kW)	0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΒΑΤΩΝ	0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΙΓΩΝ	0
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (m <sup>3</sup> )	80000
ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ (ha)	40

Η σύσταση του ενεργειακού μείγματος του βέλτιστου σεναρίου με βάση τα κριτήρια της αξιοπιστίας και του χρόνου απόσβεσης, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας από τις οποίες αποτελείται, φαίνεται στο Διάγραμμα 8.35. Στο Διάγραμμα 8.36 φαίνεται το ποσοστό συμμετοχής, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ, της κάθε διάταξης παραγωγής ενέργειας του συστήματος, για το παραπάνω σενάριο. Το παραπάνω σενάριο αποτελεί και το σενάριο με αξιοπιστία 100% που είναι βέλτιστο ως προς το συνολικό κόστος επένδυσης και ως προς το συνολικό κέρδος από την επένδυση.



Διάγραμμα 8.35: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του βέλτιστου, από πλευράς αξιοπιστίας και χρόνου απόσβεσης, σεναρίου



Διάγραμμα 8.36: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το βέλτιστο, από πλευράς αξιοπιστίας και χρόνου απόσβεσης, σενάριο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας που διαμορφώνεται από το παραπάνω ενεργειακό σύστημα καθώς και ορισμένα συνολικά οικονομικά στοιχεία της επένδυσης (συνολικό κόστος εγκατάστασης, συνολικό λειτουργικό κόστος, συνολικό κόστος επένδυσης και συνολικό όφελος από την επένδυση).

Πίνακας 8.8: Οικονομικά στοιχεία του βέλτιστου, από πλευράς αξιοπιστίας και χρόνου απόσβεσης, σεναρίου

<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	
ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€/MWh)	47.25
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Μ€)	42.94
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (Μ€)	33.58
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (Μ€)	0.00
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (Μ€)	76.52
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ (Μ€)	102.70

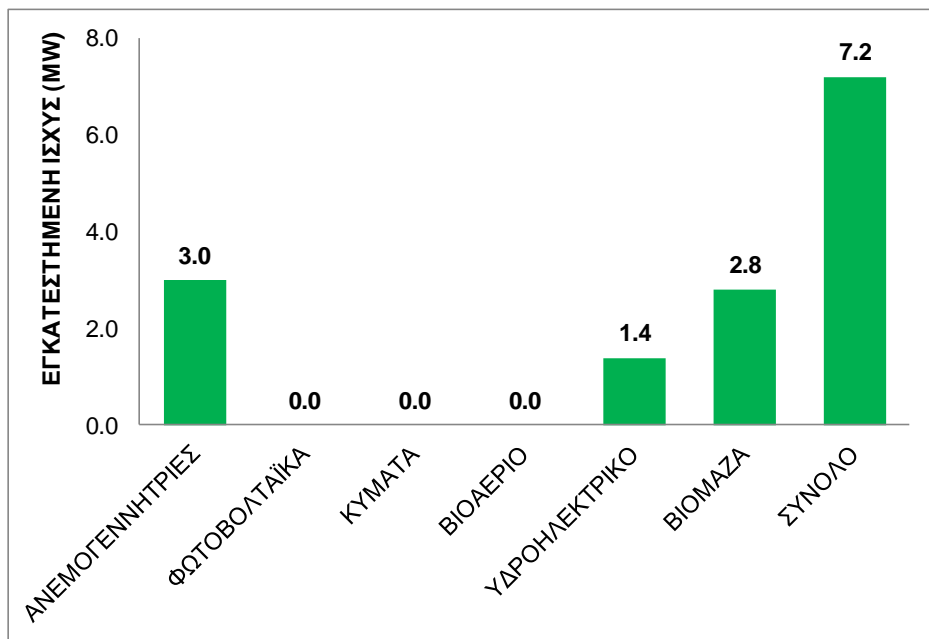


Το δεύτερο σενάριο που επιλέχθηκε είναι το βέλτιστο σενάριο από πλευράς αξιοπιστίας και μέσου κόστους παραγωγής ενέργειας. Το σενάριο αυτό έχει αξιοπιστία ίση με 100% ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης και χρόνο απόσβεσης της συνολικής επένδυσης ίσο με 42 έτη. Οι τυχαίες μεταβλητές της προσομοίωσης Monte Carlo για το εν λόγω σενάριο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

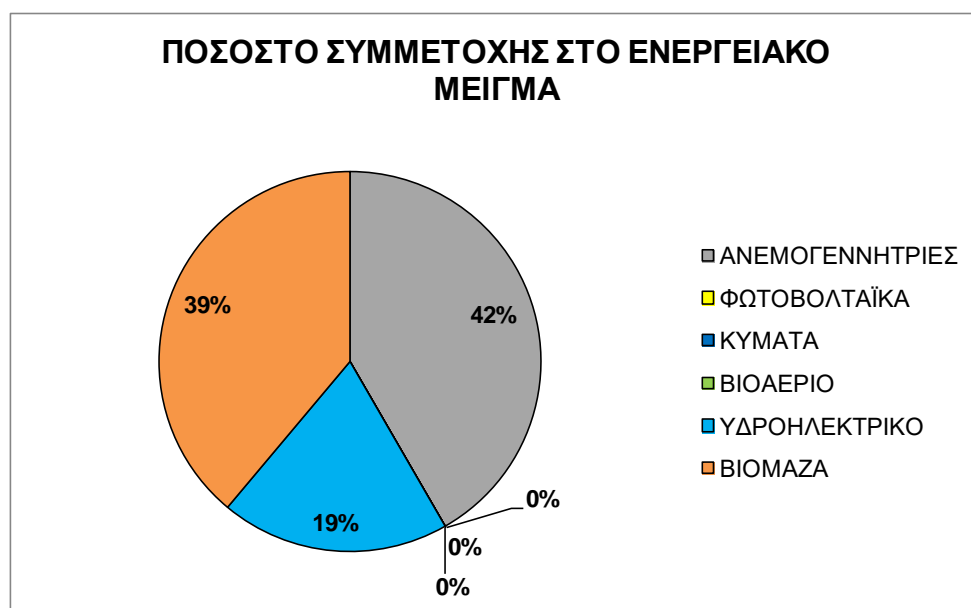
Πίνακας 8.9: Τυχαίες μεταβλητές του βέλτιστου, από πλευράς αξιοπιστίας και μέσου κόστους παραγωγής ενέργειας, σεναρίου

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΤΙΜΗ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	6
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ (kW)	0
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ (kW)	0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΒΑΤΩΝ	0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΙΓΩΝ	0
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (m <sup>3</sup> )	100000
ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ (ha)	140

Η σύσταση του ενεργειακού μείγματος του βέλτιστου σεναρίου με βάση τα κριτήρια της αξιοπιστίας και του μέσου κόστους παραγωγής ενέργειας, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας από τις οποίες αποτελείται, φαίνεται στο Διάγραμμα 8.37. Στο Διάγραμμα 8.38 φαίνεται το ποσοστό συμμετοχής, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ, της κάθε διάταξης παραγωγής ενέργειας του συστήματος, για το παραπάνω σενάριο.



Διάγραμμα 8.37: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του βέλτιστου, από πλευράς αξιοπιστίας και μέσου κόστους παραγωγής ενέργειας, σεναρίου



Διάγραμμα 8.38: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το βέλτιστο, από πλευράς αξιοπιστίας και μέσου κόστους παραγωγής ενέργειας, σενάριο

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας που διαμορφώνεται από το παραπάνω ενεργειακό σύστημα καθώς και ορισμένα συνολικά οικονομικά στοιχεία της επένδυσης (συνολικό κόστος εγκατάστασης, συνολικό λειτουργικό κόστος, συνολικό κόστος επένδυσης και συνολικό όφελος από την επένδυση).

Πίνακας 8.10: Οικονομικά στοιχεία του βέλτιστου, από πλευράς αξιοπιστίας και μέσου κόστους παραγωγής ενέργειας, σεναρίου

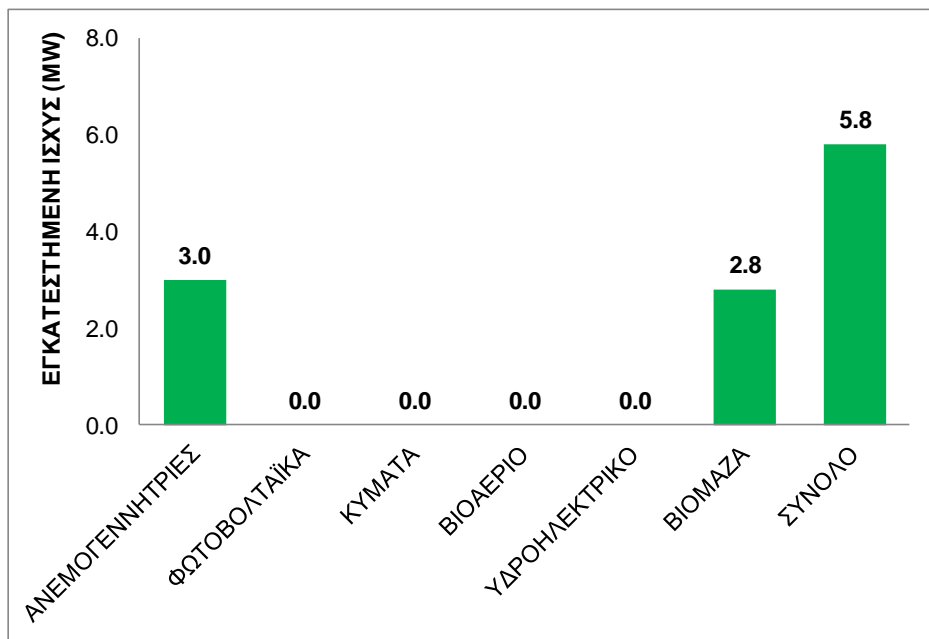
<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	
ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€/MWh)	47.14
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Μ€)	43.66
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (Μ€)	33.00
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (Μ€)	0.00
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (Μ€)	76.66
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ (Μ€)	102.56

Το τρίτο σενάριο που επιλέχθηκε είναι το βέλτιστο σενάριο από πλευράς αξιοπιστίας και κόστους εγκατάστασης - αντικατάστασης του συστήματος παραγωγής ενέργειας. Το σενάριο αυτό έχει αξιοπιστία ίση με 100% ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης και χρόνο απόσβεσης της συνολικής επένδυσης ίσο με 54 έτη. Οι τυχαίες μεταβλητές της προσομοίωσης Monte Carlo για το εν λόγω σενάριο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

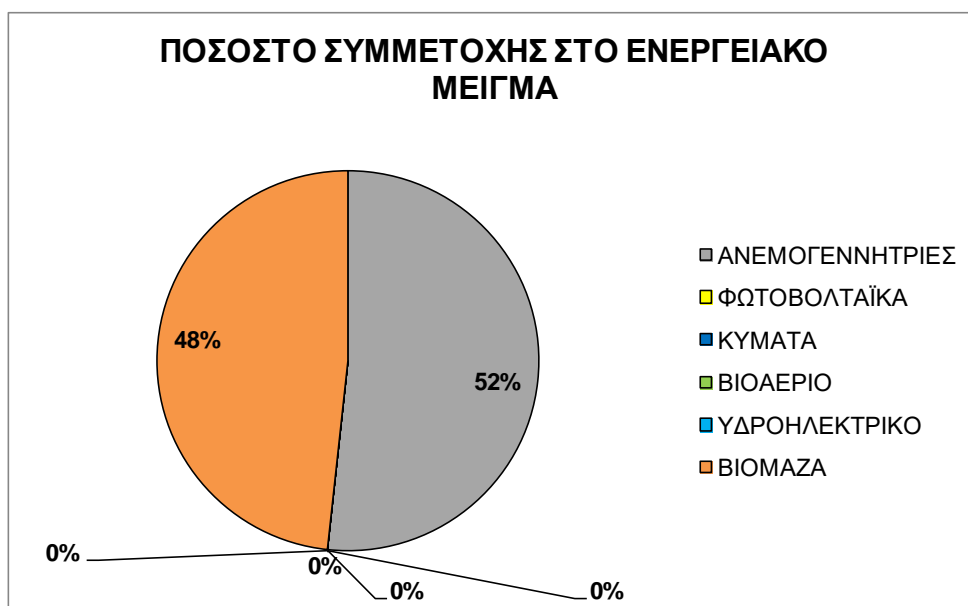
Πίνακας 8.11: Τυχαίες μεταβλητές του βέλτιστου, από πλευράς αξιοπιστίας και κόστους εγκατάστασης - αντικατάστασης του υβριδικού συστήματος, σεναρίου

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΤΙΜΗ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	6
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ (kW)	0
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ (kW)	0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΒΑΤΩΝ	0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΙΓΩΝ	0
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (m <sup>3</sup> )	0
ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ (ha)	150

Η σύσταση του ενεργειακού μείγματος του βέλτιστου σεναρίου με βάση τα κριτήρια της αξιοπιστίας και του κόστους εγκατάστασης - αντικατάστασης του υβριδικού συστήματος, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας από τις οποίες αποτελείται, φαίνεται στο Διάγραμμα 8.39. Στο Διάγραμμα 8.40 φαίνεται το ποσοστό συμμετοχής, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ, της κάθε διάταξης παραγωγής ενέργειας του συστήματος, για το παραπάνω σενάριο.



Διάγραμμα 8.39: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του βέλτιστου, από πλευράς αξιοπιστίας και κόστους εγκατάστασης - αντικατάστασης του υβριδικού συστήματος, σεναρίου



Διάγραμμα 8.40: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος, για το βέλτιστο από πλευράς αξιοπιστίας και κόστους εγκατάστασης - αντικατάστασης του υβριδικού συστήματος, σεναρίου

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας που διαμορφώνεται από το παραπάνω ενεργειακό σύστημα καθώς και ορισμένα συνολικά οικονομικά στοιχεία της επένδυσης (συνολικό κόστος εγκατάστασης - αντικατάστασης,

συνολικό λειτουργικό κόστος, συνολικό κόστος επένδυσης και συνολικό όφελος από την επένδυση).

Πίνακας 8.12: Οικονομικά στοιχεία του βέλτιστου, από πλευράς αξιοπιστίας και συνολικού κόστους εγκατάστασης - αντικατάστασης του υβριδικού συστήματος, σεναρίου

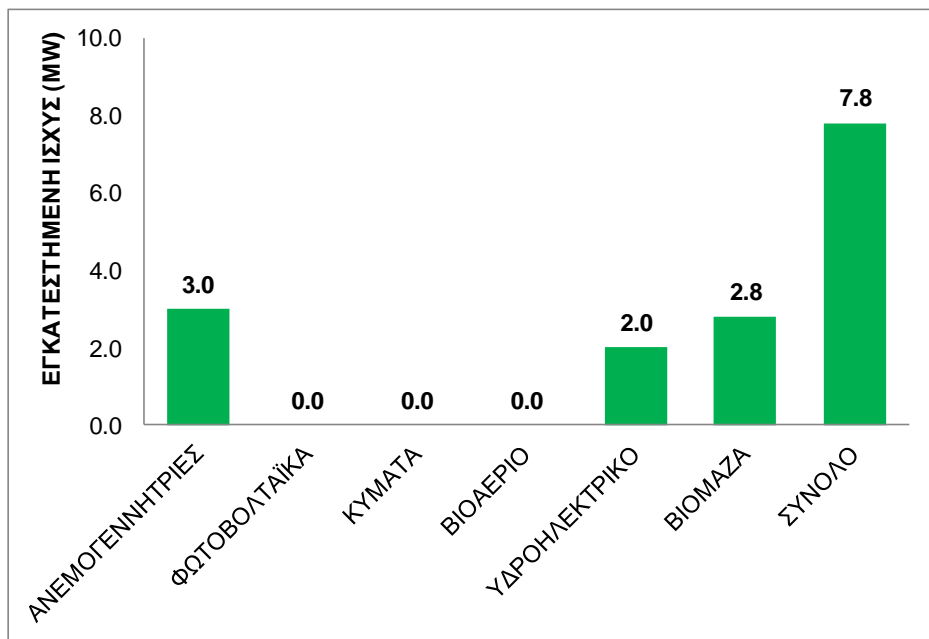
<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	
ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€/MWh)	72.26
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Μ€)	38.00
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (Μ€)	59.93
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (Μ€)	0.00
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (Μ€)	97.93
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ (Μ€)	81.29

Το τέταρτο σενάριο που επιλέχθηκε είναι το βέλτιστο σενάριο από πλευράς αξιοπιστίας και λειτουργικού κόστους του συστήματος παραγωγής ενέργειας. Το σενάριο αυτό έχει αξιοπιστία ίση με 100% ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης και χρόνο απόσβεσης της συνολικής επένδυσης ίσο με 46 έτη. Οι τυχαίες μεταβλητές της προσομοίωσης Monte Carlo για το εν λόγω σενάριο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

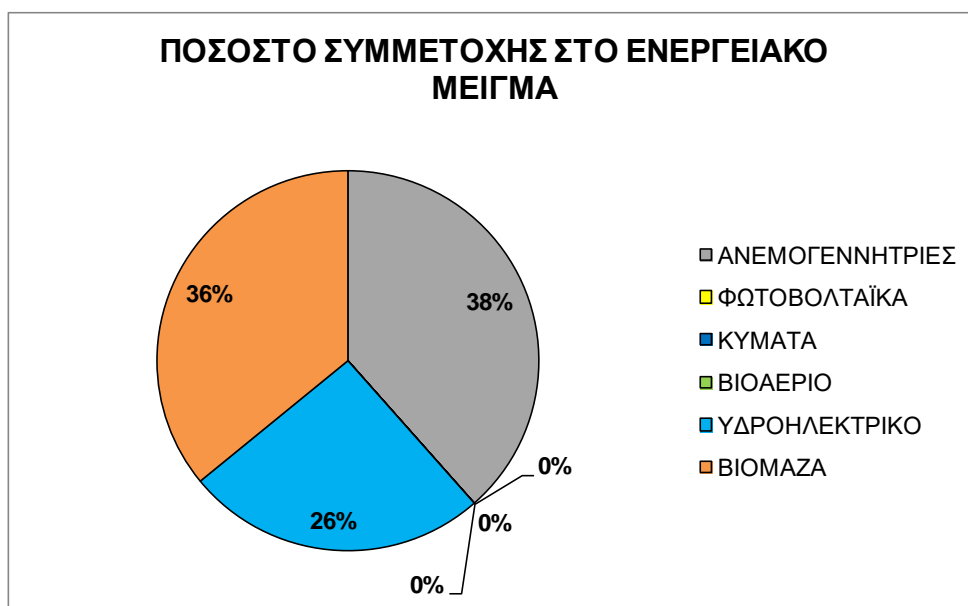
Πίνακας 8.13: Τυχαίες μεταβλητές για το βέλτιστο από πλευράς αξιοπιστίας και λειτουργικού κόστους του υβριδικού συστήματος σενάριο

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΤΙΜΗ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	6
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ (kW)	0
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ (kW)	0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΒΑΤΩΝ	0
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΙΓΩΝ	0
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (m <sup>3</sup> )	390000
ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ (ha)	90

Η σύσταση του ενεργειακού μείγματος του βέλτιστου σεναρίου με βάση τα κριτήρια αξιοπιστίας και του λειτουργικού κόστους του υβριδικού συστήματος, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας από τις οποίες αποτελείται, φαίνεται στο Διάγραμμα 8.41. Στο Διάγραμμα 8.42 φαίνεται το ποσοστό συμμετοχής, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ, της κάθε διάταξης παραγωγής ενέργειας του συστήματος, για το παραπάνω σενάριο.



Διάγραμμα 8.41: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του βέλτιστου, από πλευράς αξιοπιστίας και λειτουργικού κόστους του υβριδικού συστήματος, σεναρίου



Διάγραμμα 8.42: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το βέλτιστο από πλευράς αξιοπιστίας και λειτουργικού κόστους του υβριδικού συστήματος σεναρίου

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας που διαμορφώνεται από το παραπάνω ενεργειακό σύστημα καθώς και ορισμένα συνολικά οικονομικά στοιχεία της επένδυσης (συνολικό κόστος εγκατάστασης - αντικατάστασης,



συνολικό λειτουργικό κόστος, συνολικό κόστος επένδυσης και συνολικό όφελος από την επένδυση).

Πίνακας 8.14: Οικονομικά στοιχεία του βέλτιστου, από πλευράς αξιοπιστίας και λειτουργικού κόστους του υβριδικού συστήματος, σεναρίου

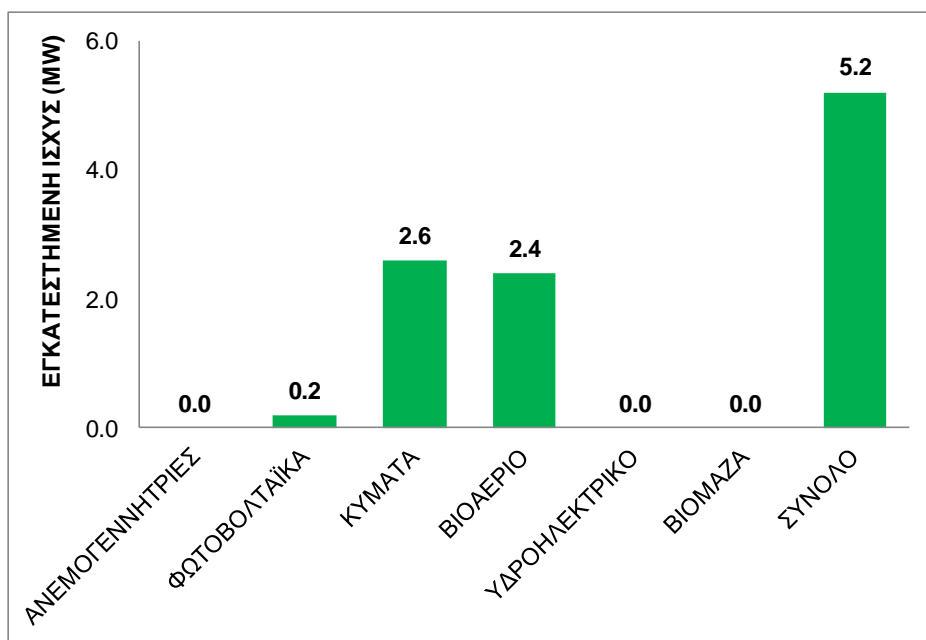
<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	
ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€/MWh)	50.18
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Μ€)	53.50
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (Μ€)	30.15
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (Μ€)	0.00
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (Μ€)	83.65
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ (Μ€)	95.57

Το πέμπτο σενάριο που επιλέχθηκε είναι το σενάριο με την ελάχιστη αξιοπιστία ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης. Το σενάριο αυτό έχει αξιοπιστία ίση με 12.01% ως και χρόνο απόσβεσης της συνολικής επένδυσης μεγαλύτερο από 100 έτη. Οι τυχαίες μεταβλητές της προσομοίωσης Monte Carlo για το εν λόγω σενάριο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

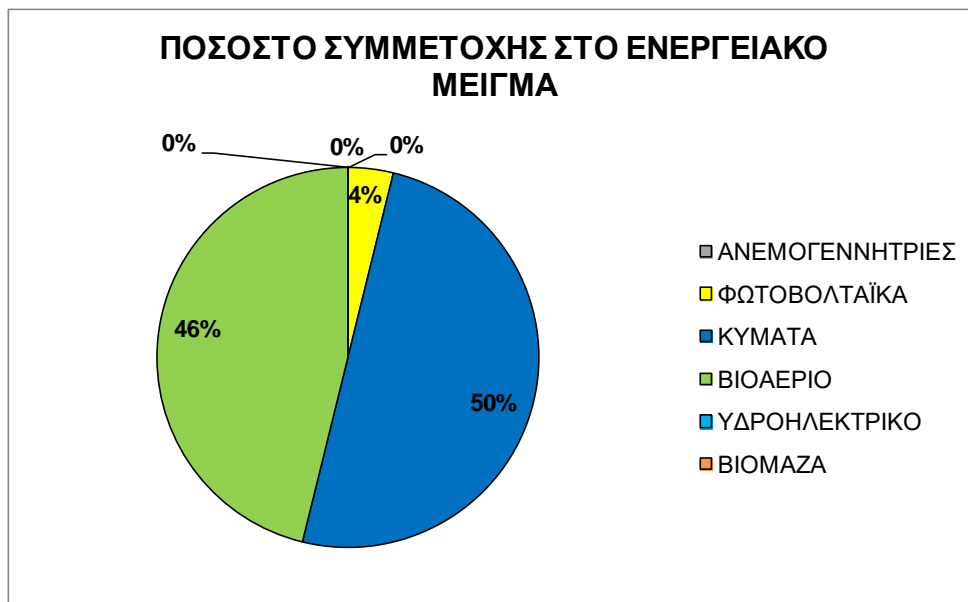
Πίνακας 8.15: Τυχαίες μεταβλητές για το σενάριο με την ελάχιστη αξιοπιστία ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΤΙΜΗ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	0
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ (kW)	200
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ (kW)	2600
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΒΑΤΩΝ	3200
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΙΓΩΝ	5800
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (m <sup>3</sup> )	0
ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ (ha)	0

Η σύσταση του ενεργειακού μείγματος, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας, από τις οποίες αποτελείται και με βάση το κριτήριο της ελάχιστης αξιοπιστίας, φαίνεται στο Διάγραμμα 8.43. Στο Διάγραμμα 8.44 φαίνεται το ποσοστό συμμετοχής, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ, της κάθε διάταξης παραγωγής ενέργειας του συστήματος, για το παραπάνω σενάριο.



Διάγραμμα 8.43: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου με την ελάχιστη αξιοπιστία ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης



Διάγραμμα 8.44: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο με την ελάχιστη αξιοπιστία ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας που διαμορφώνεται από το παραπάνω ενεργειακό σύστημα καθώς και ορισμένα συνολικά οικονομικά στοιχεία της επένδυσης (συνολικό κόστος εγκατάστασης - αντικατάστασης, συνολικό λειτουργικό κόστος, συνολικό κόστος επένδυσης και συνολικό όφελος από την επένδυση).

Πίνακας 8.16: Οικονομικά στοιχεία του βέλτιστου, από πλευράς αξιοπιστίας και λειτουργικού κόστους του υβριδικού συστήματος, σεναρίου

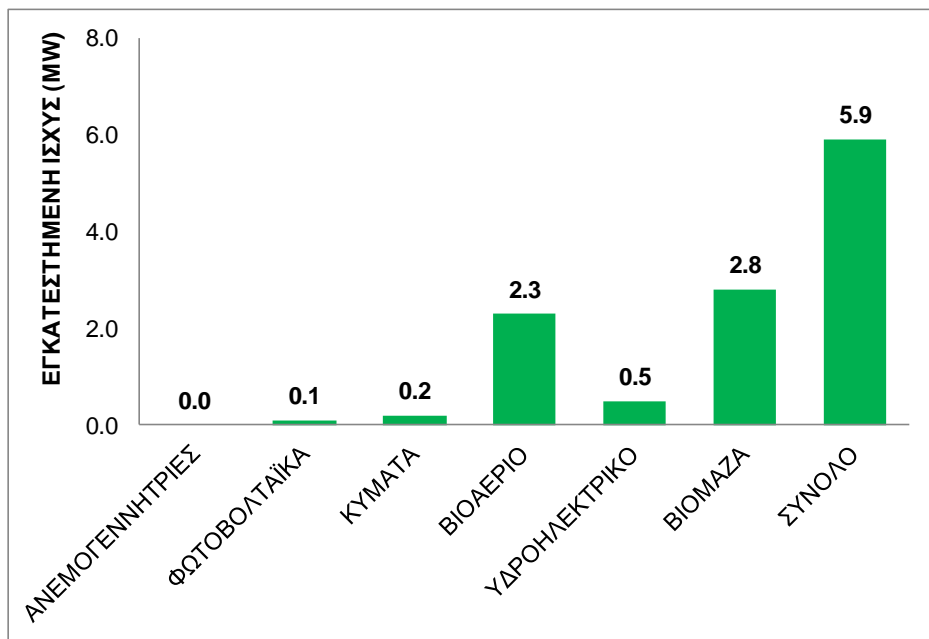
<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	
ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€/MWh)	322.82
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Μ€)	77.23
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (Μ€)	20.00
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (Μ€)	123.23
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (Μ€)	220.46
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ (Μ€)	0.00

Το έκτο σενάριο που επιλέχθηκε είναι το σενάριο με το μεγαλύτερο μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας. Το σενάριο αυτό έχει αξιοπιστία ίση με 15.18% ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης και χρόνο απόσβεσης της συνολικής επένδυσης μεγαλύτερο από 100 έτη. Οι τυχαίες μεταβλητές της προσομοίωσης Monte Carlo για το εν λόγω σενάριο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

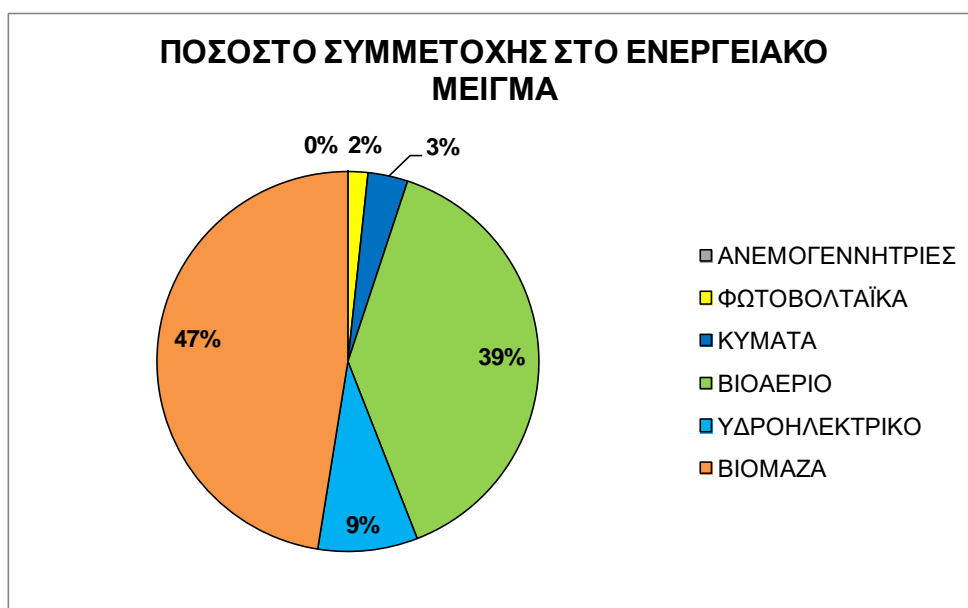
Πίνακας 8.17: Τυχαίες μεταβλητές του σεναρίου με το μεγαλύτερο κόστος παραγωγής ενέργειας

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΤΙΜΗ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	0
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ (kW)	100
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ (kW)	200
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΒΑΤΩΝ	2600
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΙΓΩΝ	7000
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (m <sup>3</sup> )	1230000
ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ (ha)	10

Η σύσταση του ενεργειακού μείγματος του παραπάνω σεναρίου, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας από τις οποίες αποτελείται, φαίνεται στο Διάγραμμα 8.45. Στο Διάγραμμα 8.46 φαίνεται το ποσοστό συμμετοχής, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ, της κάθε διάταξης παραγωγής ενέργειας του συστήματος, για το παραπάνω σενάριο.



Διάγραμμα 8.45: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου με το μεγαλύτερο κόστος παραγωγής ενέργειας



Διάγραμμα 8.46: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο με το μεγαλύτερο κόστος παραγωγής ενέργειας

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας που διαμορφώνεται από το παραπάνω ενεργειακό σύστημα καθώς και ορισμένα συνολικά οικονομικά στοιχεία της επένδυσης (συνολικό κόστος εγκατάστασης - αντικατάστασης, συνολικό λειτουργικό κόστος, συνολικό κόστος επένδυσης και συνολικό όφελος από την επένδυση).

Πίνακας 8.18: Οικονομικά στοιχεία του σεναρίου με το μεγαλύτερο κόστος παραγωγής ενέργειας

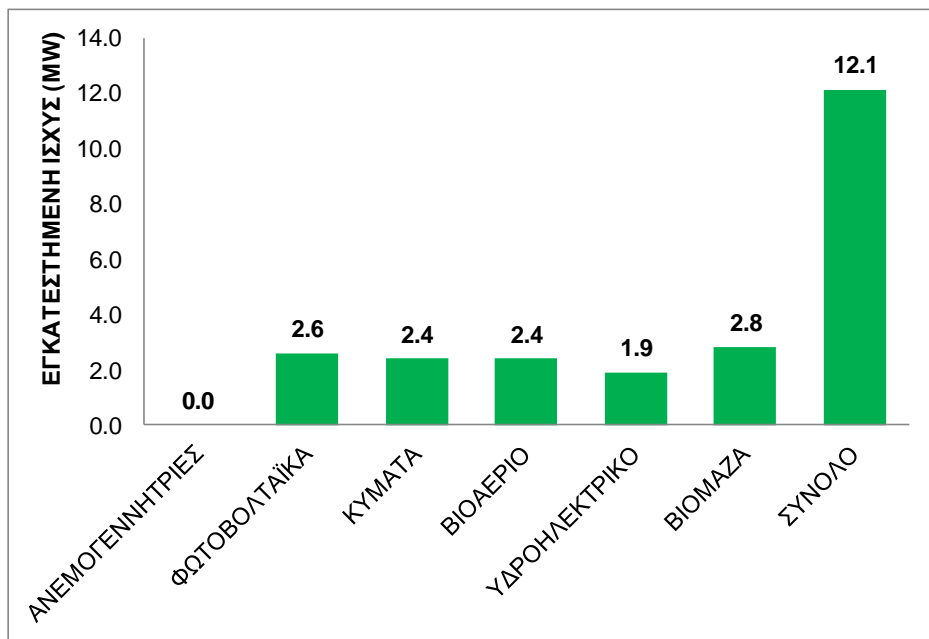
<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	
ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€/MWh)	478.23
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Μ€)	138.08
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (Μ€)	41.55
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (Μ€)	120.07
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (Μ€)	299.69
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ (Μ€)	0.00

Το έβδομο σενάριο που επιλέχθηκε είναι το σενάριο με το μεγαλύτερο συνολικό κόστος επένδυσης. Το σενάριο αυτό έχει αξιοπιστία ίση με 85.93% ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης και χρόνο απόσβεσης της συνολικής επένδυσης μεγαλύτερο από 100 έτη. Αυτό είναι, προφανώς, και το σενάριο με το μικρότερο συνολικό κέρδος από την επένδυση. Οι τυχαίες μεταβλητές της προσομοίωσης Monte Carlo για το εν λόγω σενάριο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

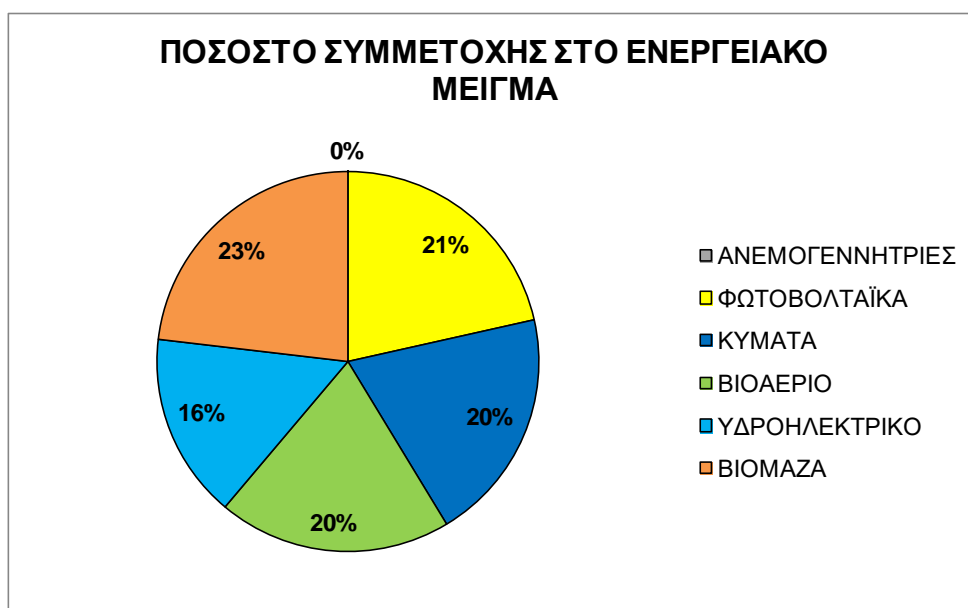
Πίνακας 8.19: Τυχαίες μεταβλητές του σεναρίου με το μεγαλύτερο κόστος επένδυσης

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΤΙΜΗ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	0
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ (kW)	2600
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ (kW)	2400
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΒΑΤΩΝ	3400
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΙΓΩΝ	5600
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (m <sup>3</sup> )	1990000
ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ (ha)	40

Η σύσταση του ενεργειακού μείγματος του παραπάνω σεναρίου, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας από τις οποίες αποτελείται, φαίνεται στο Διάγραμμα 8.47. Στο Διάγραμμα 8.48 φαίνεται το ποσοστό συμμετοχής, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ, της κάθε διάταξης παραγωγής ενέργειας του συστήματος, για το παραπάνω σενάριο.



Διάγραμμα 8.47: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου με το μεγαλύτερο κόστος επένδυσης



Διάγραμμα 8.48: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο με το μεγαλύτερο κόστος επένδυσης

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας που διαμορφώνεται από το παραπάνω ενεργειακό σύστημα καθώς και ορισμένα συνολικά οικονομικά στοιχεία της επένδυσης (συνολικό κόστος εγκατάστασης - αντικατάστασης, συνολικό λειτουργικό κόστος, συνολικό κόστος επένδυσης και συνολικό όφελος από την επένδυση).



Πίνακας 8.20: Οικονομικά στοιχεία του σεναρίου με την ελάχιστη αξιοπιστία και το μεγαλύτερο κόστος επένδυσης

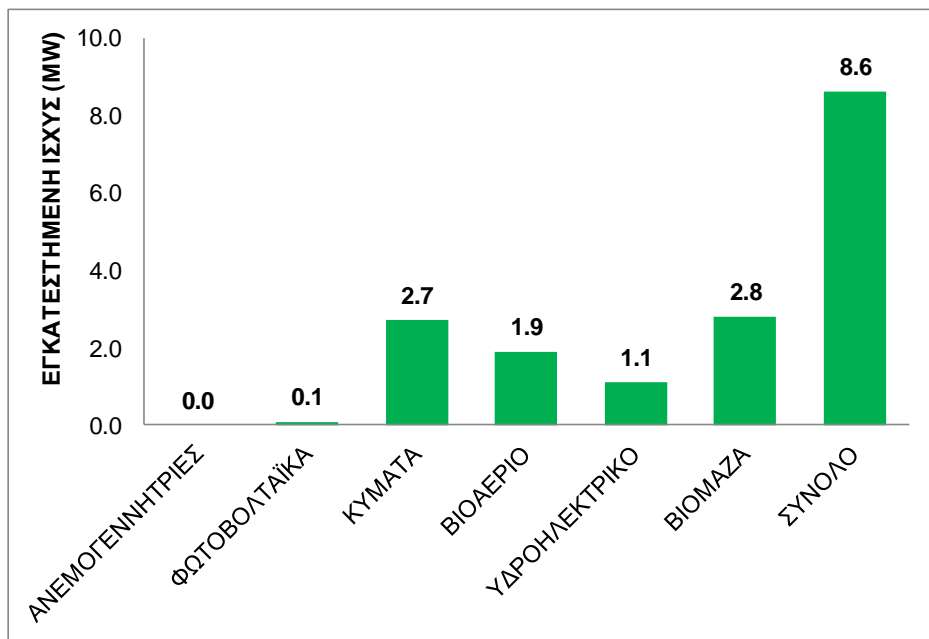
<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	
ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€/MWh)	296.18
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Μ€)	240.06
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (Μ€)	60.15
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (Μ€)	21.13
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (Μ€)	321.34
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ (Μ€)	0.00

Το όγδοο σενάριο που επιλέχθηκε είναι το σενάριο με το μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος του συστήματος. Το σενάριο αυτό έχει αξιοπιστία ίση με 90.54% ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης και χρόνο απόσβεσης της συνολικής επένδυσης μεγαλύτερο από 100 έτη. Οι τυχαίες μεταβλητές της προσομοίωσης Monte Carlo για το εν λόγω σενάριο φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

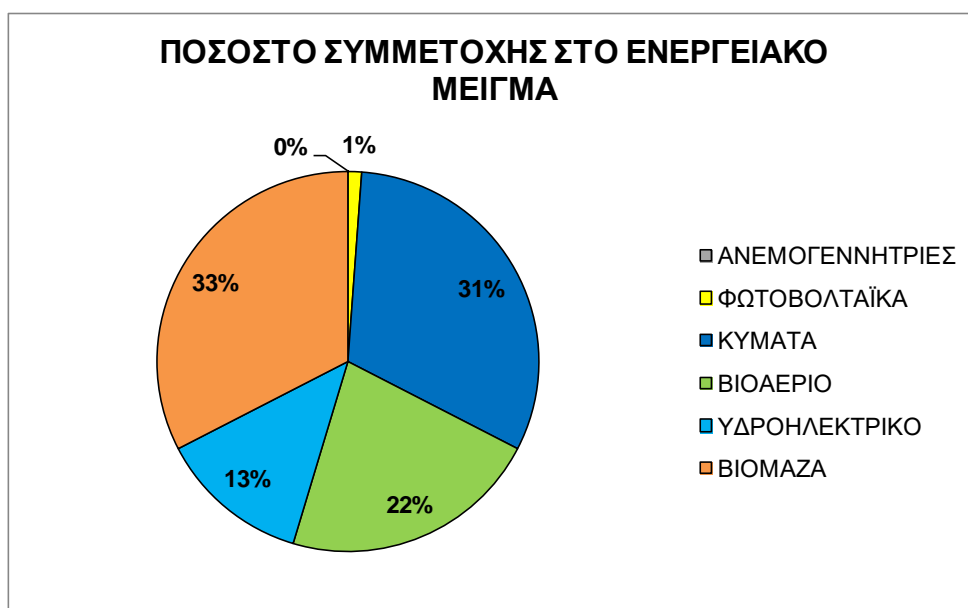
Πίνακας 8.21: Τυχαίες μεταβλητές του σεναρίου με το μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος του συστήματος

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΤΙΜΗ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	0
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ (kW)	100
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ (kW)	2700
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΒΑΤΩΝ	1200
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΙΓΩΝ	7400
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (m <sup>3</sup> )	60000
ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ (ha)	140

Η σύσταση του ενεργειακού μείγματος του παραπάνω σεναρίου, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας από τις οποίες αποτελείται, φαίνεται παρακάτω στο Διάγραμμα 8.49. Στο Διάγραμμα 8.50 φαίνεται το ποσοστό συμμετοχής, ως προς την εγκατεστημένη ισχύ, της κάθε διάταξης παραγωγής ενέργειας του συστήματος, για το παραπάνω σενάριο.



Διάγραμμα 8.49: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου με το μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος του συστήματος



Διάγραμμα 8.50: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος, για το σενάριο με το μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος του συστήματος

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας που διαμορφώνεται από το παραπάνω ενεργειακό σύστημα καθώς και ορισμένα συνολικά οικονομικά στοιχεία της επένδυσης (συνολικό κόστος εγκατάστασης - αντικατάστασης, συνολικό λειτουργικό κόστος, συνολικό κόστος επένδυσης και συνολικό όφελος από την επένδυση).

Πίνακας 8.22: Οικονομικά στοιχεία του σεναρίου με το μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος του συστήματος

<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	
ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€/MWh)	331.04
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Μ€)	118.31
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (Μ€)	108.03
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (Μ€)	9.90
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (Μ€)	236.25
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΝΔΥΣΗ (Μ€)	0.00

Αυτό που παρατηρείται από τις 8 παραπάνω περιπτώσεις σεναρίων προσομοίωσης είναι πως τα σενάρια που έχουν τα «χειρότερα» αποτελέσματα από πλευράς αξιοπιστίας είναι αυτά που έχουν μεγάλο ποσοστό της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος του συστήματος στις διατάξεις των κυμάτων και του βιοαερίου. Επιπλέον, παρατηρείται ότι τα σενάρια που έχουν τα «χειρότερα» οικονομικά αποτελέσματα είναι αυτά που έχουν μηδενική εγκατεστημένη ισχύ στις ανεμογεννήτριες και μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ στη διάταξη του βιοαερίου.

Επίσης, παρατηρείται πως στα «βέλτιστα» σενάρια η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος υπερβαίνει ακόμα και 3 φορές την ενεργειακή αιχμή των 100 ετών. Η μεγάλη εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος συγκριτικά με την ενεργειακή αιχμή, που αποτελεί και ένα εν γένει μειονέκτημα των συστημάτων παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα το αυξημένο κόστος εγκατάστασης και οδηγεί σε πλεόνασμα παραγόμενης ενέργειας το οποίο, αν δεν υπάρχουν διατάξεις αποθήκευσής του στο σύστημα, μένει ανεκμετάλλευτο.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας με την εγκατεστημένη ισχύ, την αξιοπιστία και τον χρόνο απόσβεσης για 10 εκ των 2000 σεναρίων της προσομοίωσης ταξινομημένων κατά φθίνουσα σειρά με βάση την αξιοπιστία, ο πίνακας με την παραγόμενη ενέργεια από την κάθε διάταξη, ο πίνακας με τα οικονομικά τους στοιχεία και ο πίνακας με τις τυχαίες μεταβλητές καθενός εκ των 10 προσομοιώσεων.

Πίνακας 8.23: Στοιχεία εγκατεστημένης ισχύος και αξιοπιστίας των 10 σεναρίων προσομοίωσης

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)							ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ (%)	ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ (a)
	ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	ΚΥΜΑΤΑ	ΒΙΟΑΕΡΙΟ	ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ	ΒΙΟΜΑΖΑ	ΣΥΝΟΛΟ		
1	3.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.8	7.1	100.00	42
2	1.5	1.1	0.2	1.7	1.1	0.0	5.6	90.00	44
3	1.5	0.2	1.1	1.3	1.1	0.0	5.2	80.05	56
4	0.5	0.4	1.9	1.8	1.1	2.8	8.5	70.01	100
5	0.0	0.7	2.1	1.4	1.1	2.8	8.1	59.95	100
6	0.0	0.5	2.3	2.1	1.1	2.8	8.8	50.47	100
7	0.0	1.4	0.9	0.9	0.6	0.0	3.8	40.44	92
8	0.0	0.1	2.7	0.1	1.3	2.8	7.0	29.94	100
9	0.0	0.4	2.4	1.3	0.8	0.0	4.9	21.03	100
10	0.0	0.2	2.6	2.4	0.0	0.0	5.2	12.01	100

Πίνακας 8.24: Παραγόμενη ενέργεια των 10 σεναρίων προσομοίωσης

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ (GWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (GWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (GWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ (GWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ (GWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ (GWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (GWh)
1	1133.04	0.00	0.00	0.00	169.34	55.96	0.00
2	566.52	172.12	61.24	44.25	121.07	0.00	67.69
3	566.52	31.10	125.74	23.41	114.20	0.00	124.69
4	188.84	62.44	144.73	49.70	44.60	97.03	163.10
5	0.00	109.44	147.84	29.73	25.24	149.53	232.54
6	0.00	78.11	150.54	69.65	22.67	97.05	270.41
7	0.00	219.13	118.12	23.25	37.12	0.00	323.02
8	0.00	15.44	155.02	2.51	20.16	70.83	419.14
9	0.00	62.44	151.76	40.49	22.29	0.00	409.53
10	0.00	31.10	154.00	67.04	0.00	0.00	430.77

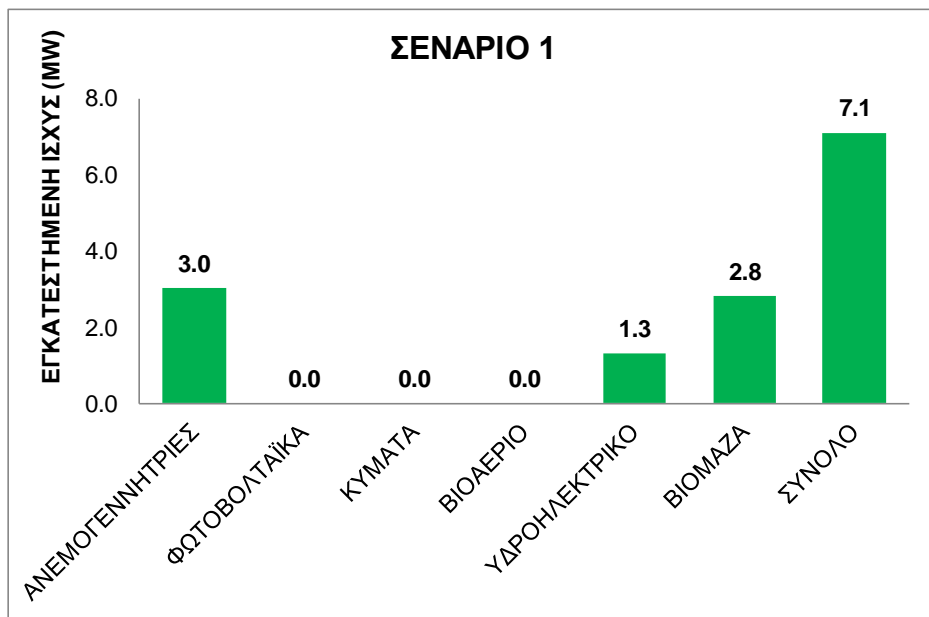
Πίνακας 8.25: Οικονομικά μεγέθη των 10 σεναρίων προσομοίωσης

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Μ€)	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (Μ€)	ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΤΟΧΙΑΣ (Μ€)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (Μ€)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (Μ€)	ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€/MWh)
1	42.94	33.58	0.00	76.52	102.70	47.25
2	39.96	20.96	19.36	80.29	98.94	65.67
3	45.21	21.16	35.67	102.04	77.19	87.63
4	114.13	53.19	46.65	213.97	0.00	260.85
5	110.99	59.90	66.52	237.41	0.00	323.49
6	119.57	54.14	77.35	251.07	0.00	346.77
7	58.33	15.82	92.40	166.55	12.67	213.79
8	95.59	37.34	119.90	252.83	0.00	354.07
9	73.43	19.62	117.15	210.20	0.00	291.90
10	77.23	20.00	123.23	220.46	0.00	322.82

Πίνακας 8.26: Τυχαίες μεταβλητές των 10 σεναρίων προσομοίωσης

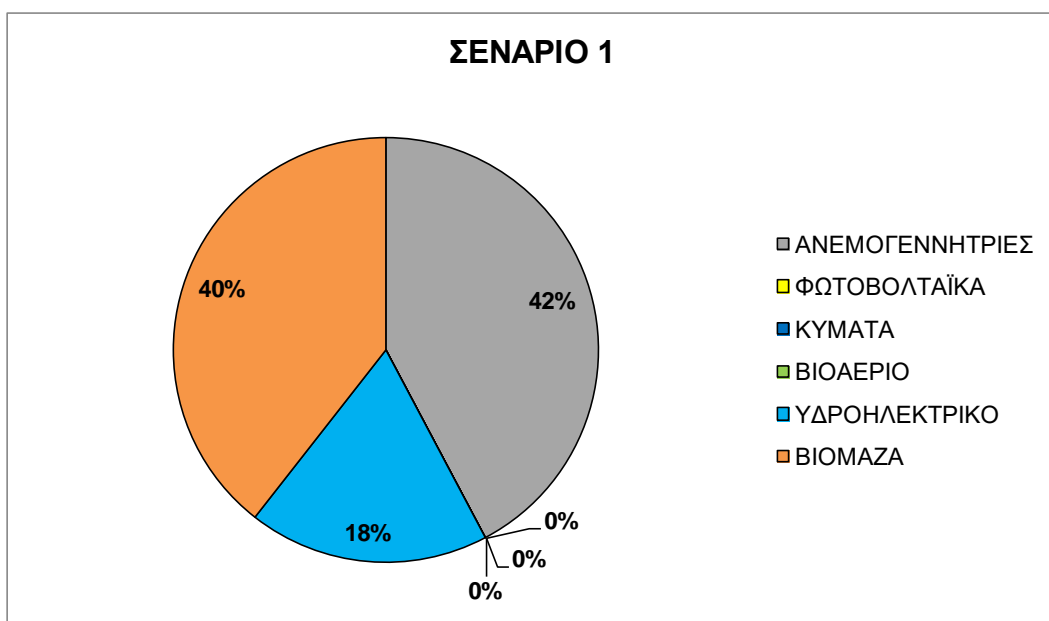
ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΣΕΝΑΡΙΟ 1	ΣΕΝΑΡΙΟ 2	ΣΕΝΑΡΙΟ 3	ΣΕΝΑΡΙΟ 4	ΣΕΝΑΡΙΟ 5	ΣΕΝΑΡΙΟ 6	ΣΕΝΑΡΙΟ 7	ΣΕΝΑΡΙΟ 8	ΣΕΝΑΡΙΟ 9	ΣΕΝΑΡΙΟ 10
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	6	3	3	1	0	0	0	0	0	0
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ (kW)	0	1100	200	400	700	500	1400	100	400	200
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ (kW)	0	200	1100	1900	2100	2300	900	2700	2400	2600
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΒΑΤΩΝ	0	2600	2800	2600	2600	2200	1200	200	1400	3200
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΙΓΩΝ	0	3600	1200	4200	2000	6600	2000	200	3800	5800
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (m <sup>3</sup> )	80000	60000	60000	60000	60000	60000	210000	80000	20000	0
ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ (ha)	40	0	0	30	50	30	0	20	0	0

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς και το ποσοστό συμμετοχής επί της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος, των σεναρίων του Πίνακας 8.23.

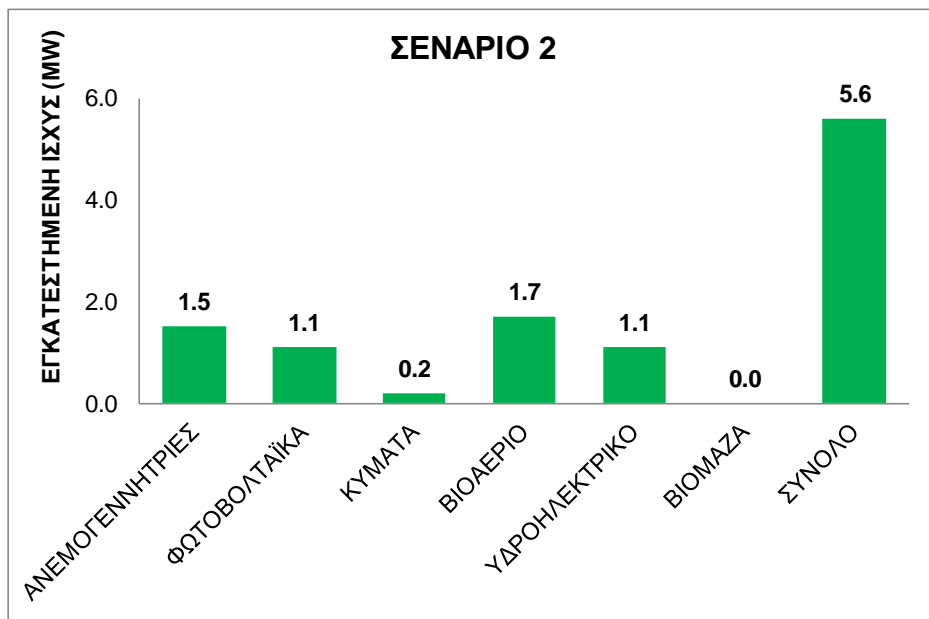


Διάγραμμα 8.51: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

1

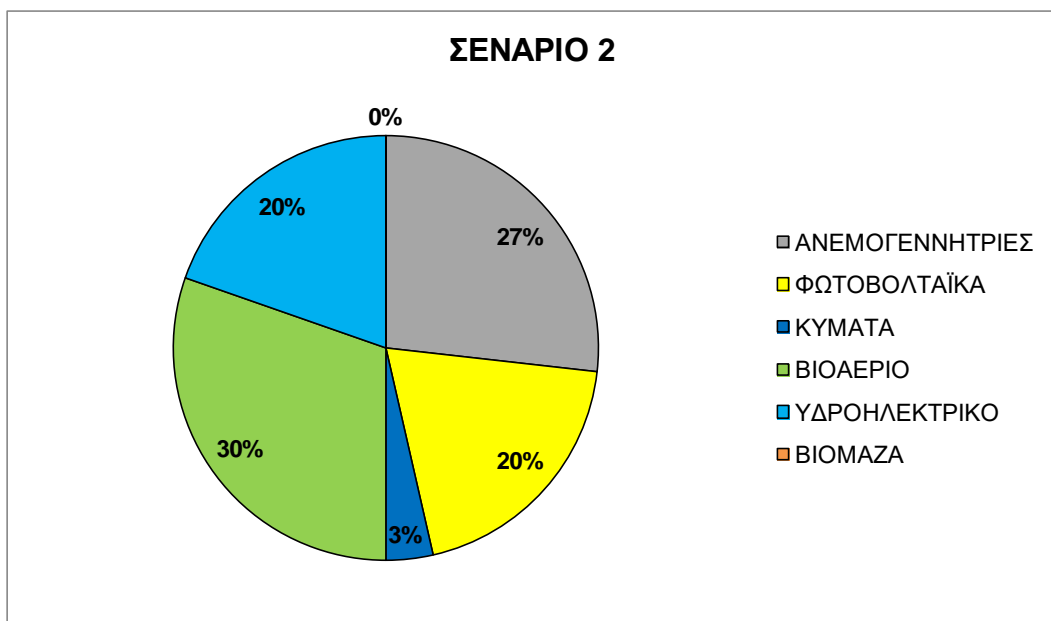


Διάγραμμα 8.52: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 1



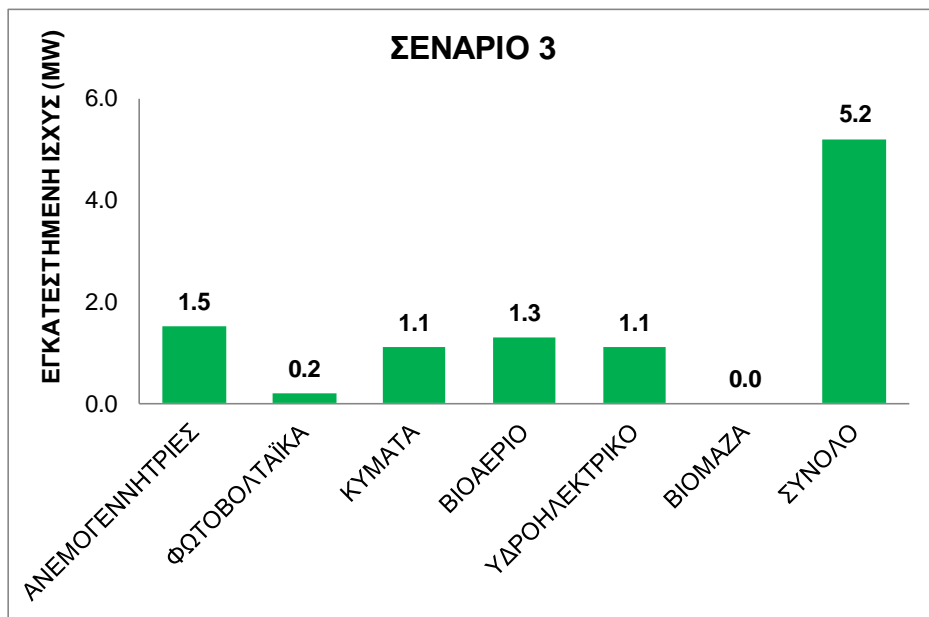
Διάγραμμα 8.53: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

2



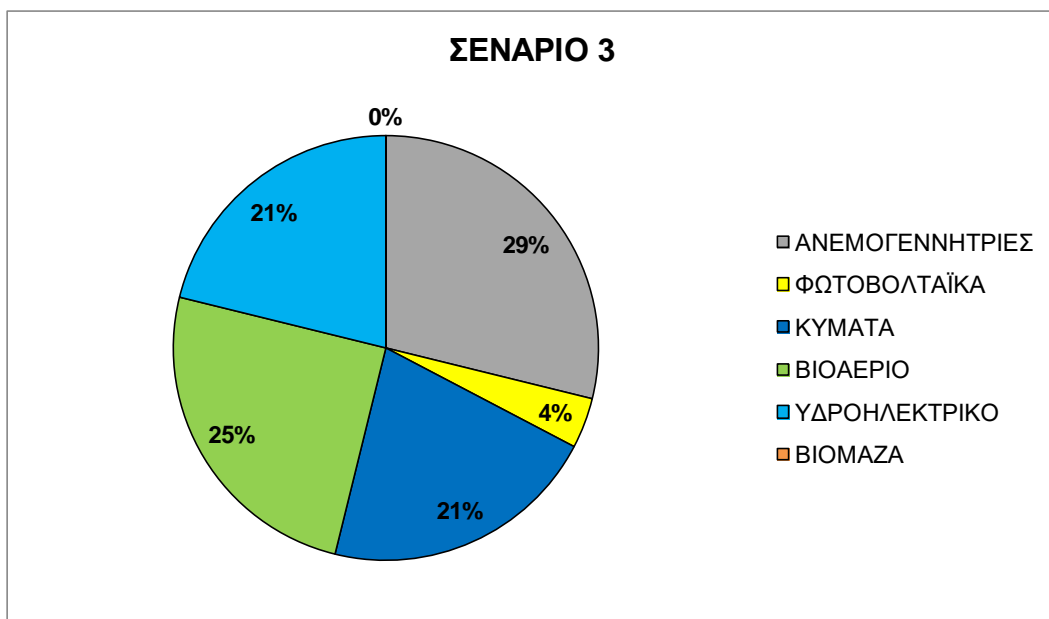
Διάγραμμα 8.54: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 2



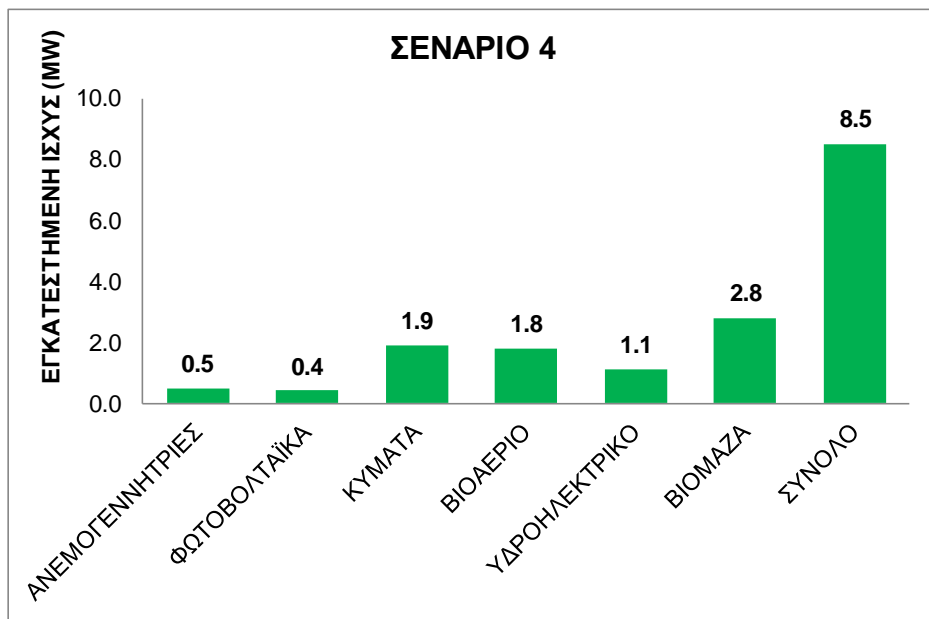


Διάγραμμα 8.55: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

3

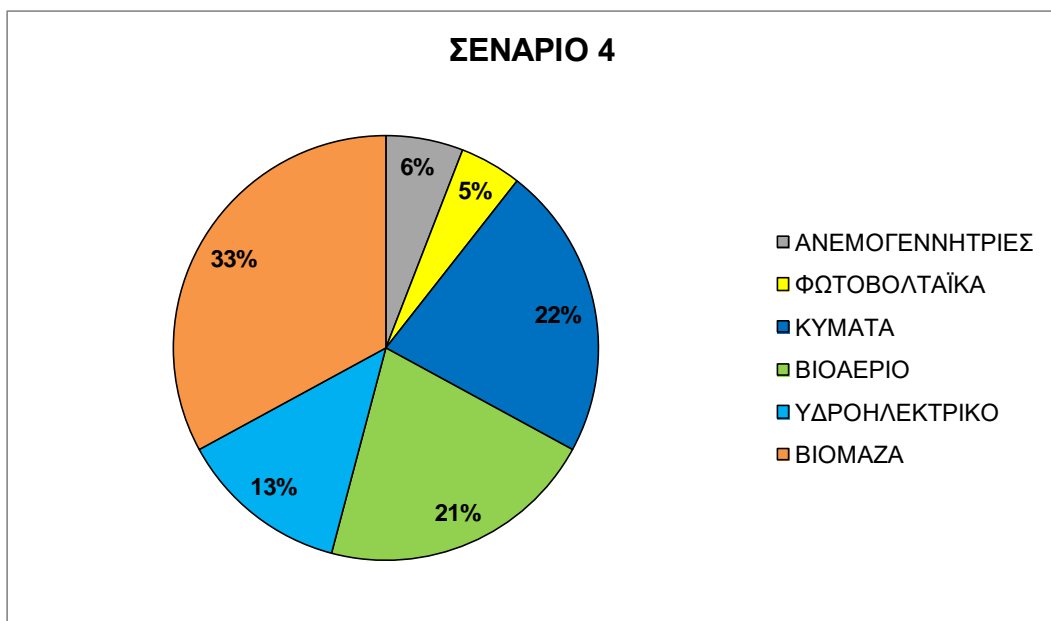


Διάγραμμα 8.56: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 3

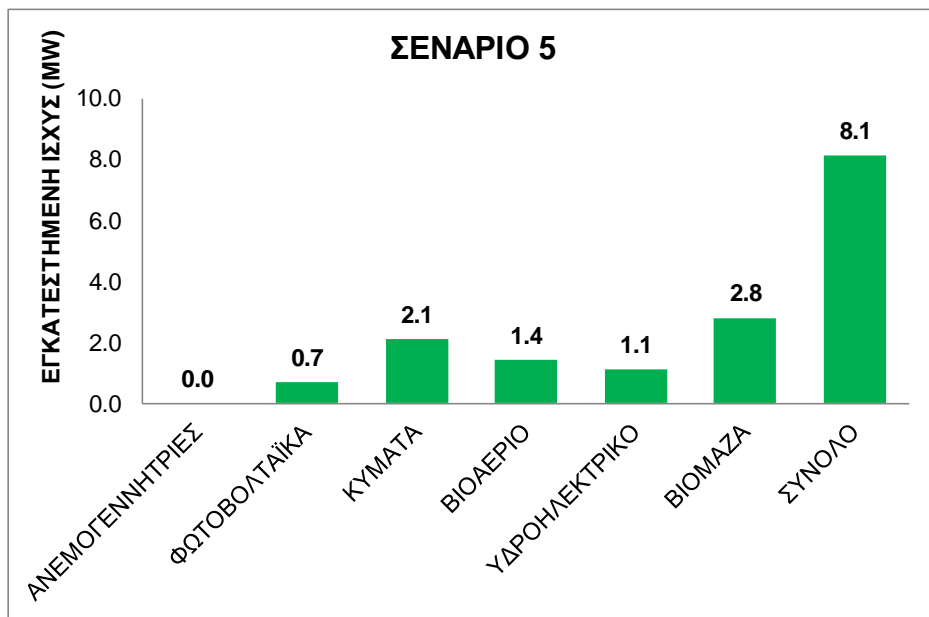


Διάγραμμα 8.57: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

4

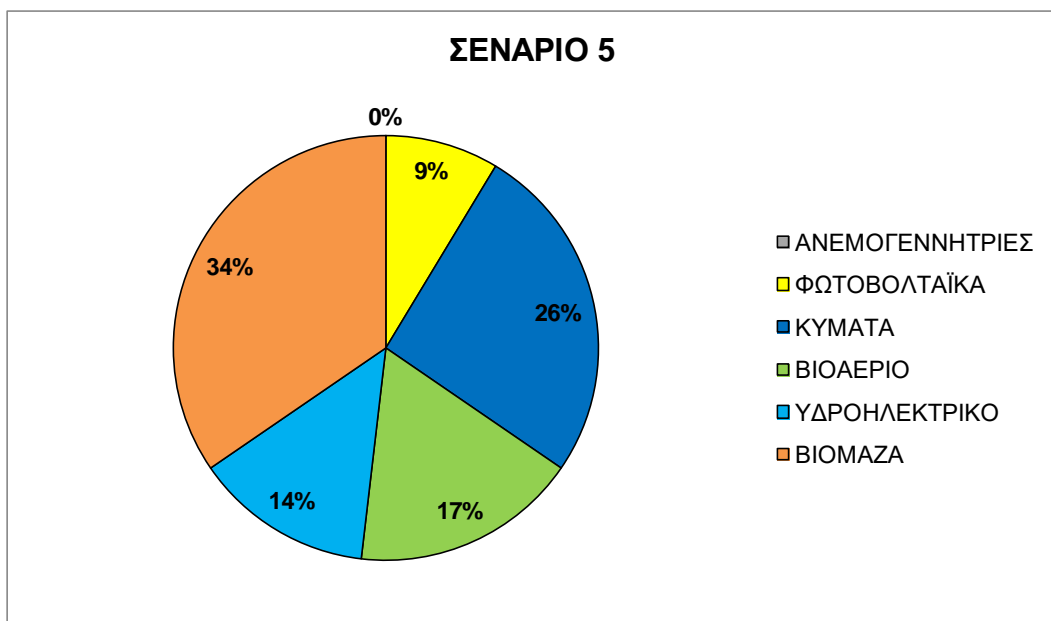


Διάγραμμα 8.58: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 4

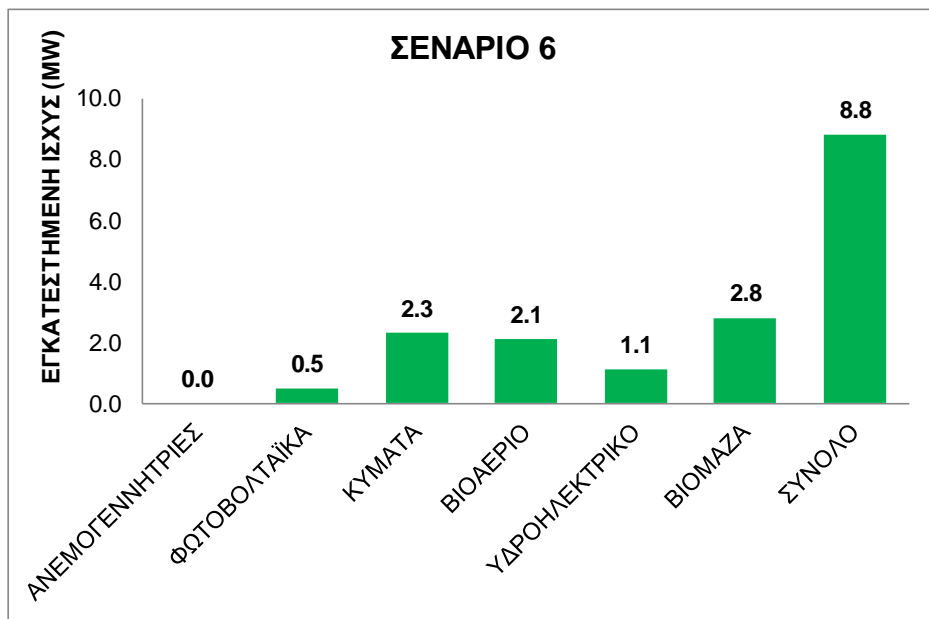


Διάγραμμα 8.59: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

5

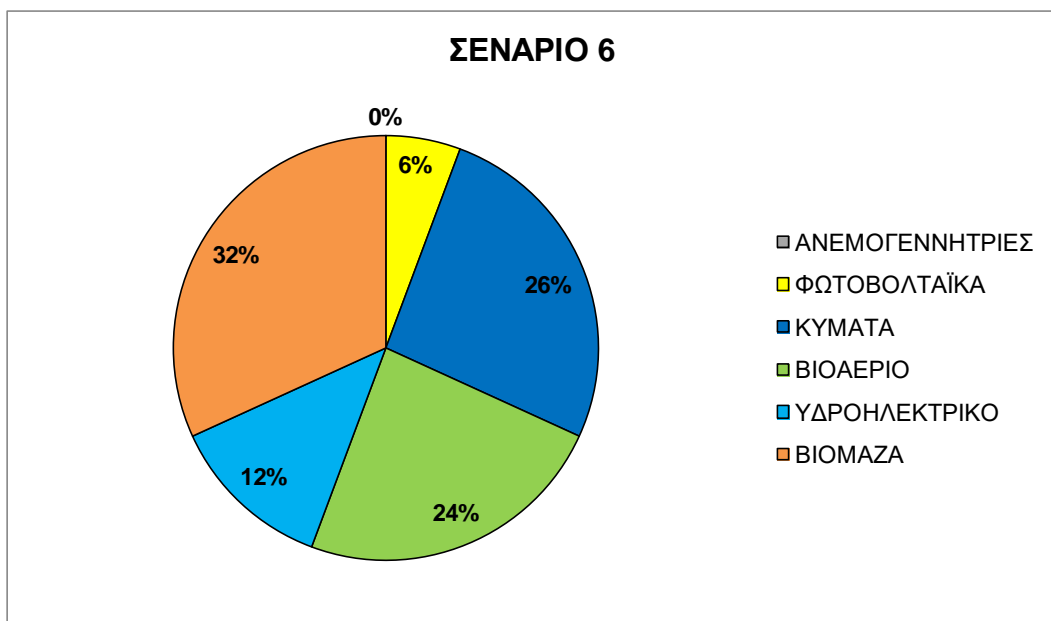


Διάγραμμα 8.60: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 5

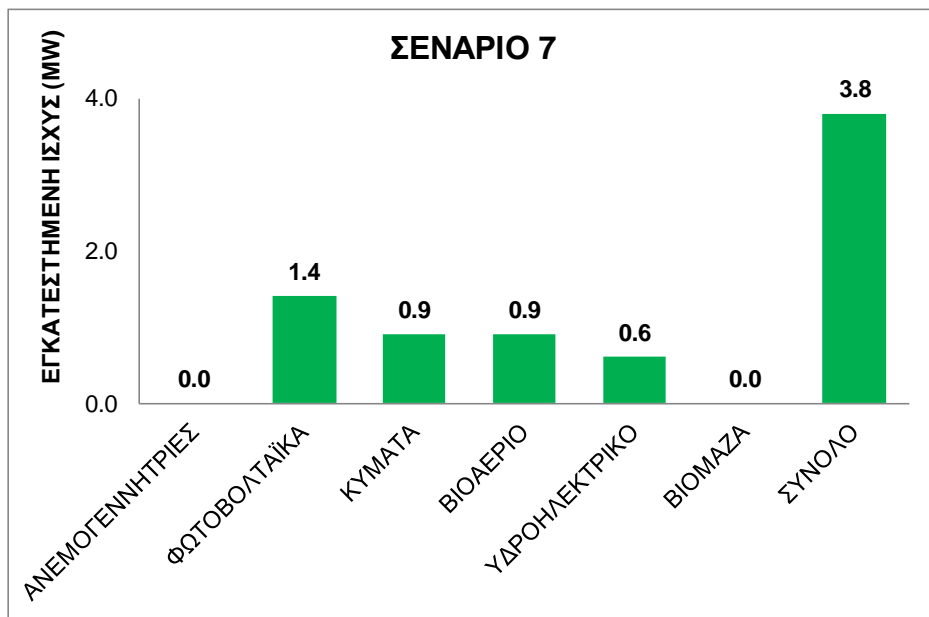


Διάγραμμα 8.61: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

6

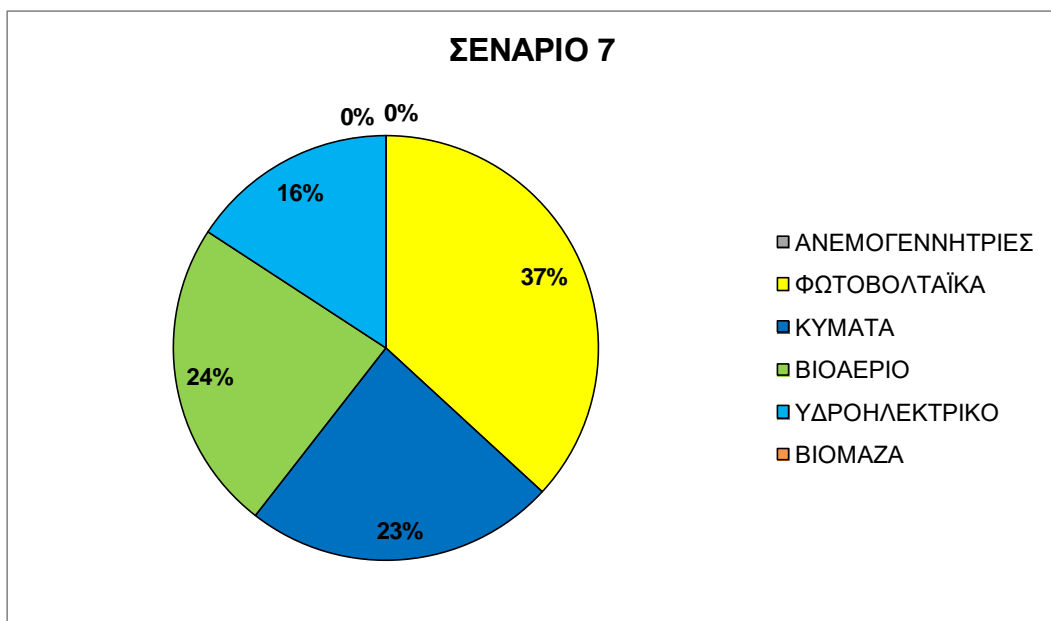


Διάγραμμα 8.62: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 6

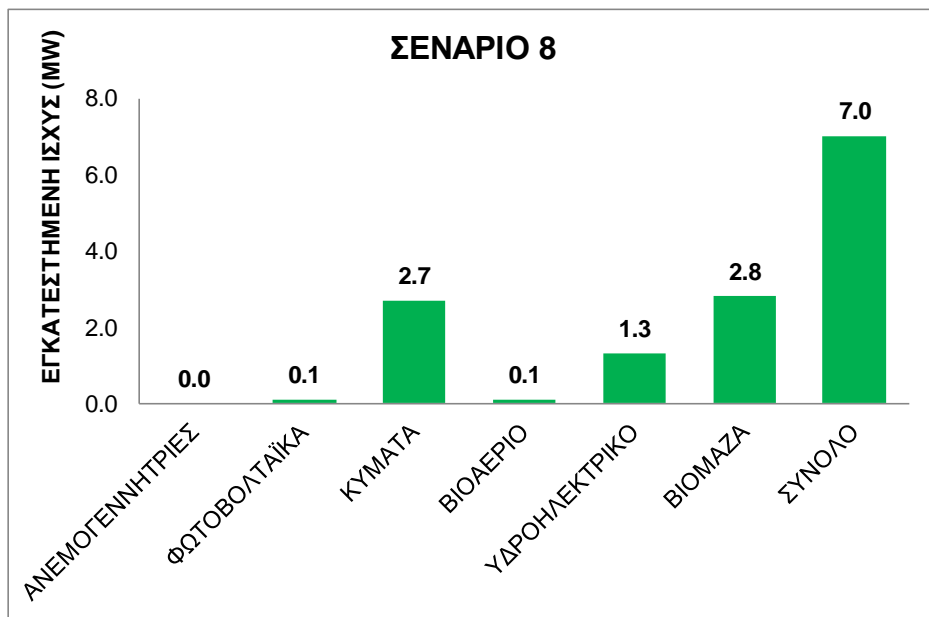


Διάγραμμα 8.63: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

7

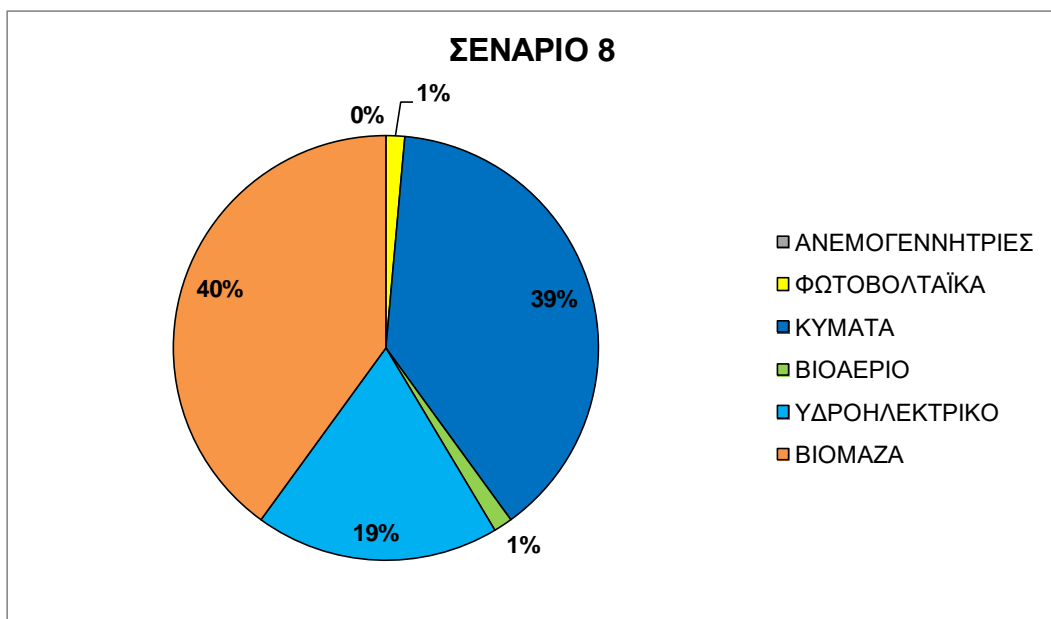


Διάγραμμα 8.64: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 7

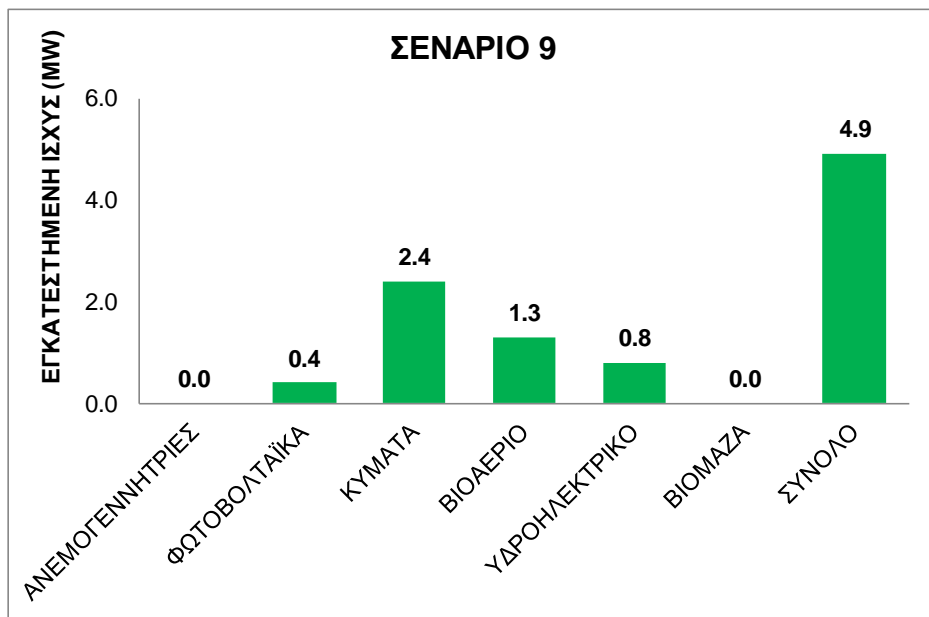


Διάγραμμα 8.65: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

8

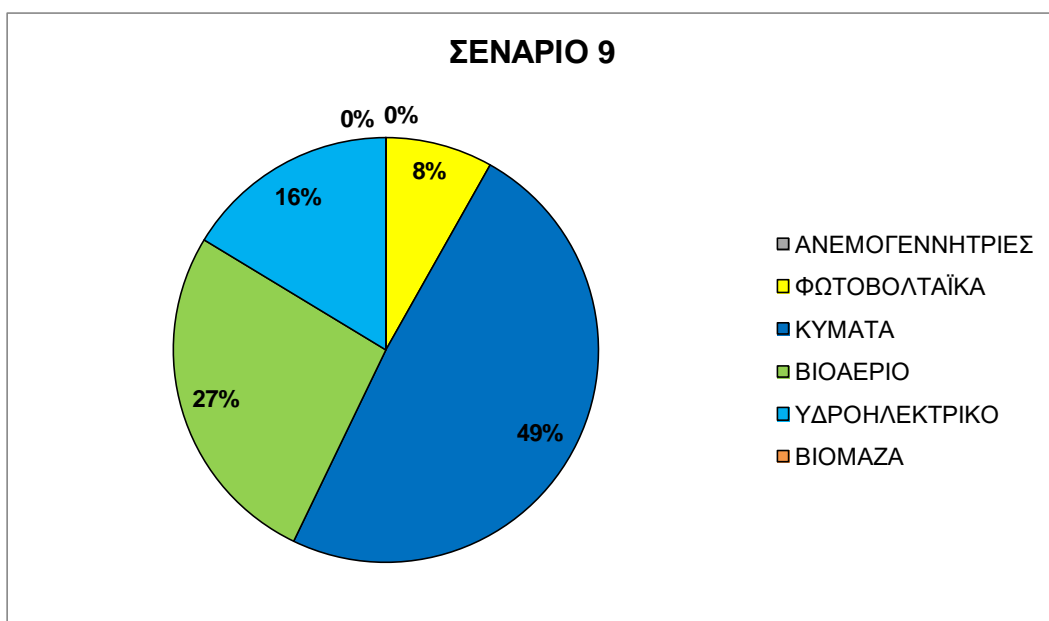


Διάγραμμα 8.66: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 8

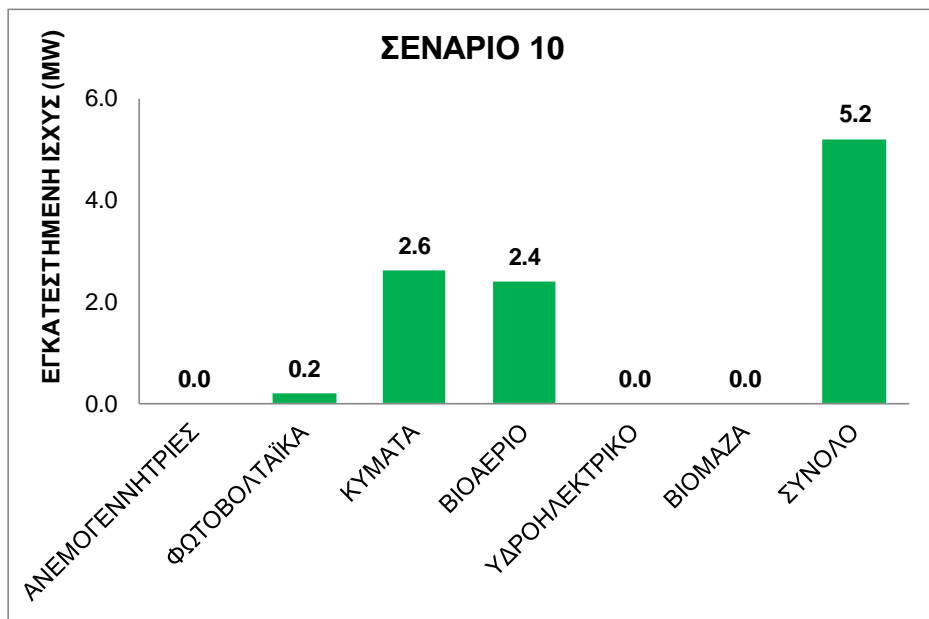


Διάγραμμα 8.67: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

9

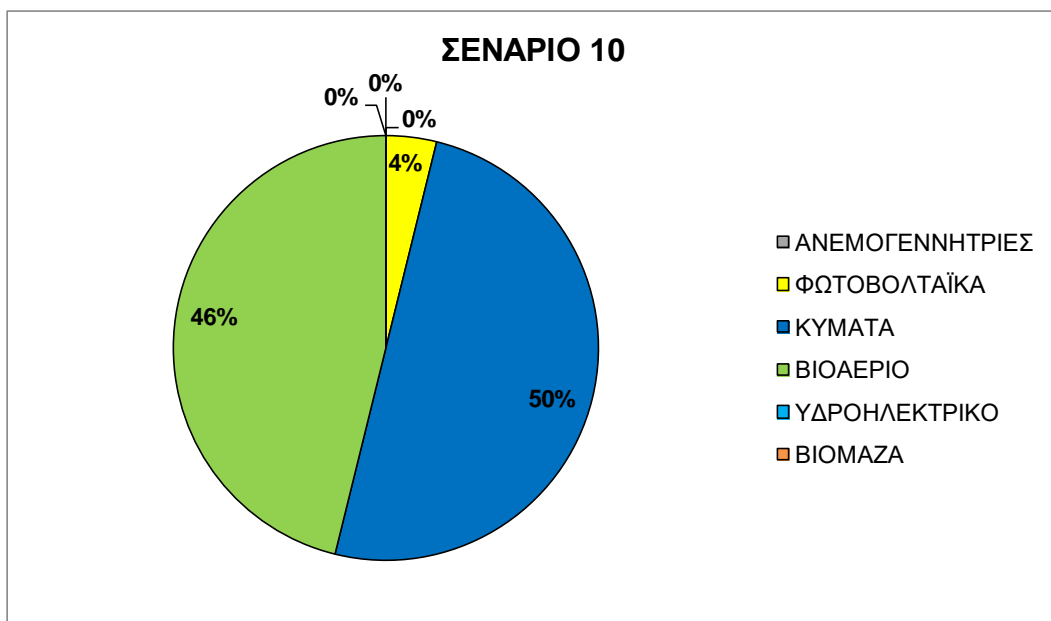


Διάγραμμα 8.68: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 9



Διάγραμμα 8.69: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

10



Διάγραμμα 8.70: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 10



Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με την εγκατεστημένη ισχύ, την αξιοπιστία και το χρόνο απόσβεσης για 8 εκ των 2000 σεναρίων της προσομοίωσης ταξινομημένων κατά αύξουσα σειρά με βάση τον χρόνο απόσβεσης, ο πίνακας με την παραγόμενη ενέργεια από την κάθε διάταξη, ο πίνακας με τα οικονομικά τους στοιχεία και ο πίνακας με τις τυχαίες μεταβλητές καθενός εκ των 8 προσομοιώσεων.

Πίνακας 8.27: Στοιχεία εγκατεστημένης ισχύος, αξιοπιστίας και χρόνου απόσβεσης για 8 σενάρια της προσομοίωσης

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)							ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ (%)	ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ (a)
	ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	ΚΥΜΑΤΑ	ΒΙΟΑΕΡΙΟ	ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ	ΒΙΟΜΑΖΑ	ΣΥΝΟΛΟ		
1	2.0	0.8	0.0	0.0	1.2	0.0	4.0	91.90	30
2	2.0	0.3	0.5	0.2	0.8	0.0	3.8	83.58	40
3	2.0	1.1	0.0	0.6	1.4	2.8	7.9	100.00	50
4	2.5	2.0	2.4	1.0	1.8	0.0	9.7	94.77	60
5	1.0	1.7	0.2	1.2	1.3	2.8	8.2	90.52	70
6	2.5	0.0	2.6	0.5	1.8	2.8	10.2	100.00	80
7	1.5	1.8	1.5	1.6	1.2	2.8	10.4	100.0	90
8	0.0	1.1	1.1	2.0	1.0	2.8	8.0	59.7	100

Πίνακας 8.28: Παραγόμενη ενέργεια των 8 σεναρίων προσομοίωσης

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ (GWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (GWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΥΜΑΤΩΝ (GWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ (GWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ (GWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΒΙΟΜΑΖΑΣ (GWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ (GWh)
1	755.36	125.11	0.00	0.00	172.04	0.00	58.04
2	755.36	46.77	95.06	1.62	122.90	0.00	111.45
3	755.36	172.12	0.00	15.99	153.74	52.97	0.00
4	944.20	313.14	151.76	17.90	139.56	0.00	34.58
5	377.68	266.13	61.24	24.25	124.92	44.52	56.77
6	944.20	0.00	154.00	15.95	155.68	62.39	0.00
7	566.52	281.80	136.90	31.59	116.21	72.75	0.00
8	0.00	172.12	125.74	50.68	27.65	97.05	226.78

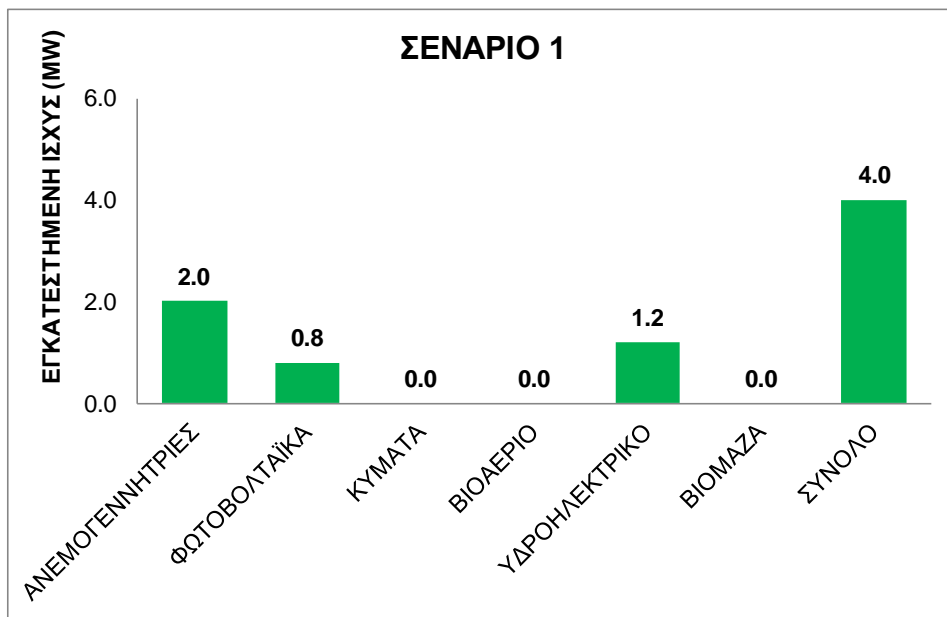
Πίνακας 8.29: Οικονομικά μεγέθη για 8 σενάρια της προσομοίωσης

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (Μ€)	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (Μ€)	ΚΟΣΤΟΣ ΑΕΤΟΧΙΑΣ (Μ€)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (Μ€)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (Μ€)	ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€/MWh)
1	29.69	9.00	16.60	55.29	123.93	39.97
2	26.16	14.24	31.88	72.28	106.95	54.80
3	55.50	35.31	0.00	90.81	88.41	65.35
4	76.02	22.52	9.89	108.43	70.79	59.70
5	72.43	37.51	16.24	126.19	53.04	109.86
6	101.32	43.65	0.00	144.97	34.25	92.08
7	113.56	48.98	0.00	162.54	16.69	117.58
8	105.07	52.28	64.87	222.22	0.00	299.18

Πίνακας 8.30: Τυχαίες μεταβλητές των 8 σεναρίων προσομοίωσης

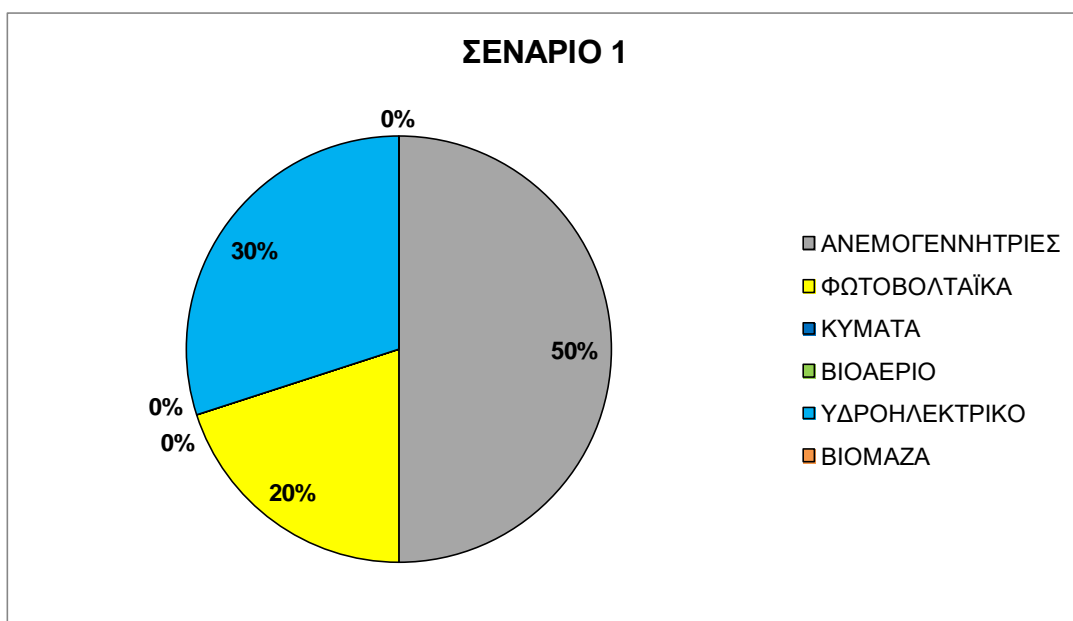
ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΣΕΝΑΡΙΟ 1	ΣΕΝΑΡΙΟ 2	ΣΕΝΑΡΙΟ 3	ΣΕΝΑΡΙΟ 4	ΣΕΝΑΡΙΟ 5	ΣΕΝΑΡΙΟ 6	ΣΕΝΑΡΙΟ 7	ΣΕΝΑΡΙΟ 8
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	4	4	4	5	2	5	3	0
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ (kW)	800	300	1100	2000	1700	0	1800	1100
ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΕΡΠΗΔΗΣΗΣ - ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΚΥΜΑΤΩΝ (kW)	0	500	0	2400	200	2600	1500	1100
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΒΑΤΩΝ	0	400	800	2000	2200	400	3000	3200
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΙΓΩΝ	0	0	1400	1000	1600	1600	2000	4000
ΟΓΚΟΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ (m <sup>3</sup> )	400000	20000	90000	20000	90000	80000	10000	60000
ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ (ha)	0	0	100	0	10	110	70	30

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς και το ποσοστό συμμετοχής επί της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος, των σεναρίων του Πίνακας 8.27.

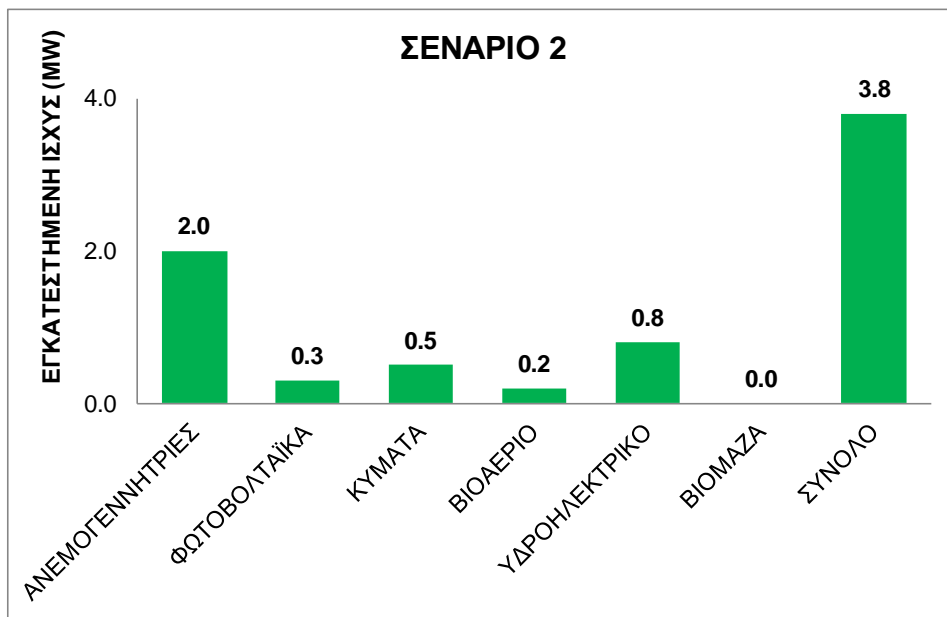


Διάγραμμα 8.71: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

1

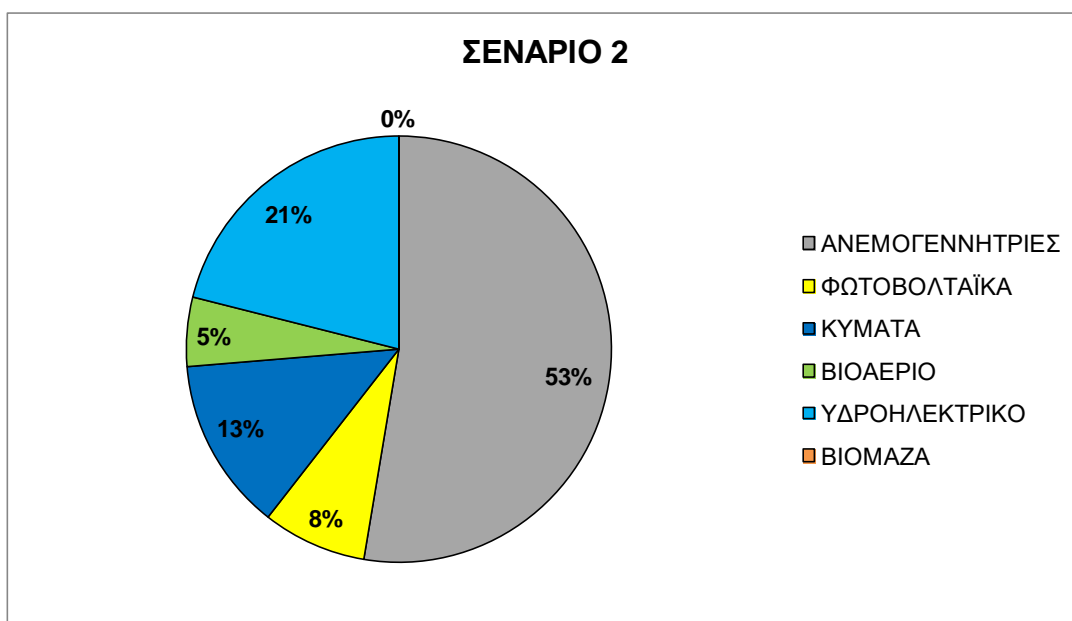


Διάγραμμα 8.72: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 1

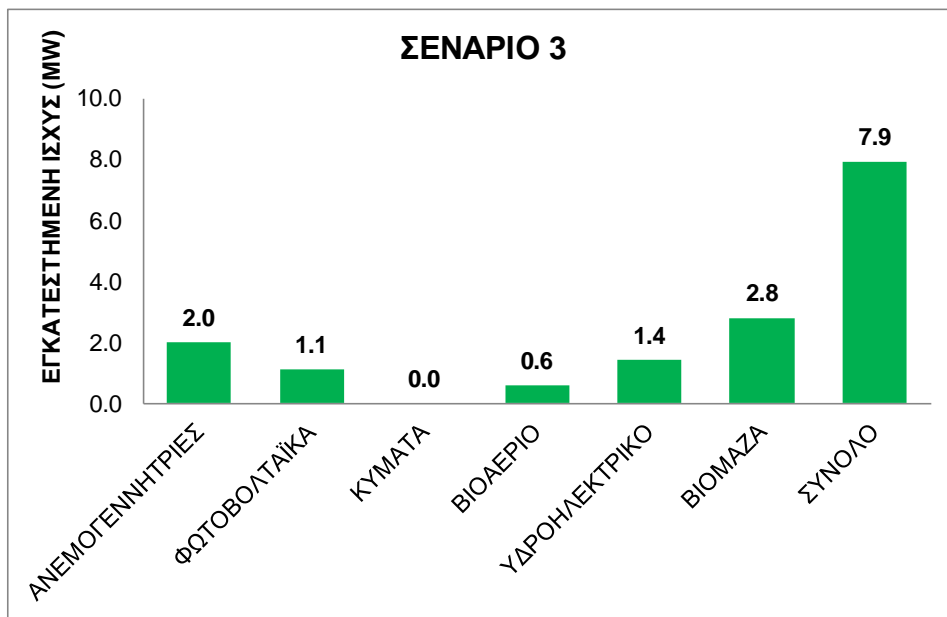


Διάγραμμα 8.73: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

2

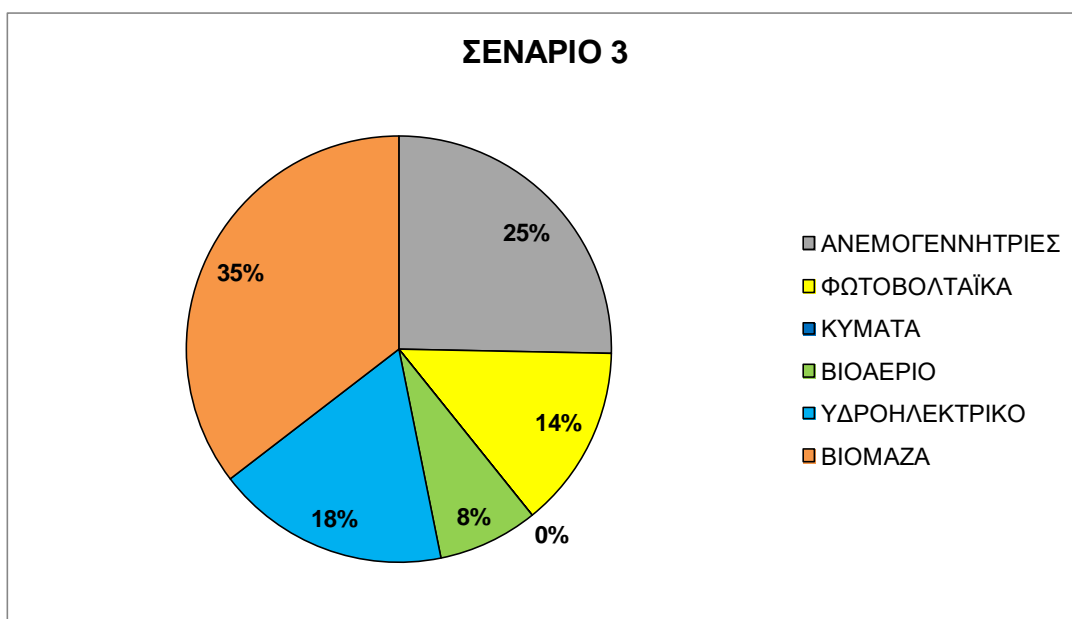


Διάγραμμα 8.74: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 2

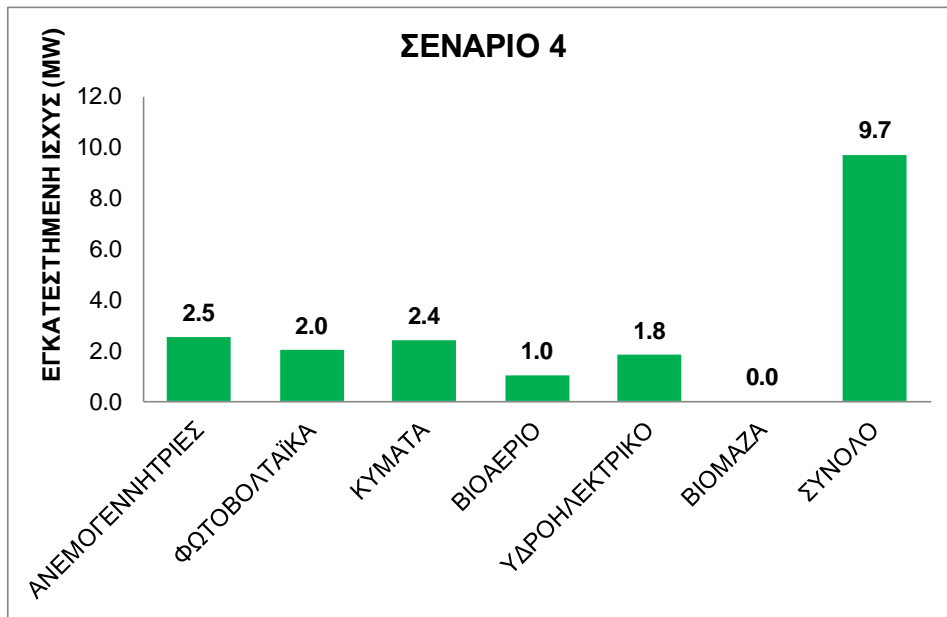


Διάγραμμα 8.75: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

3

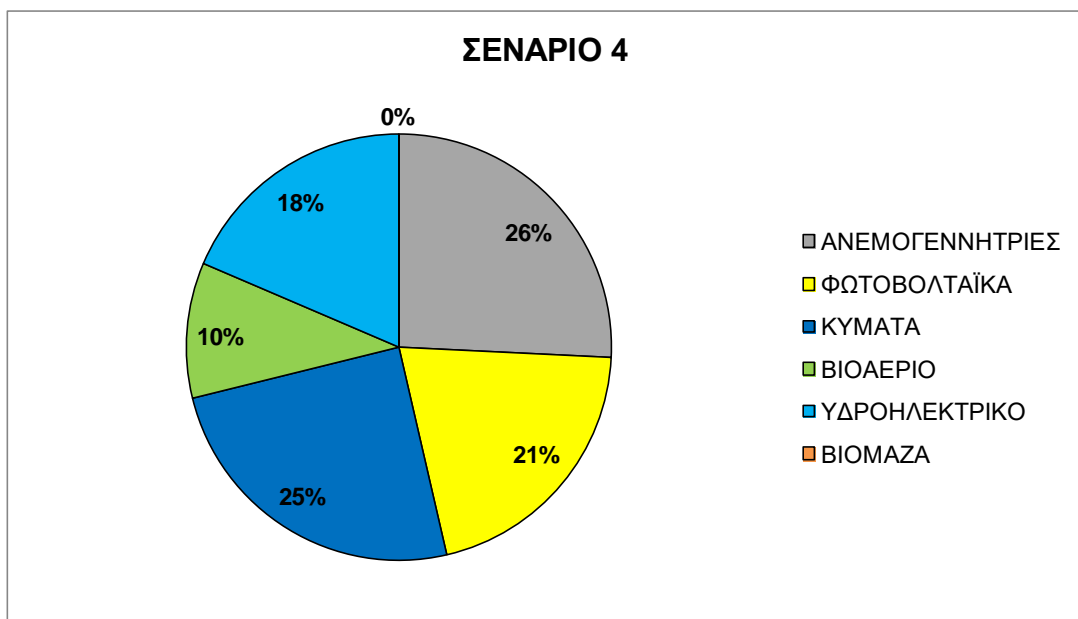


Διάγραμμα 8.76: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 3

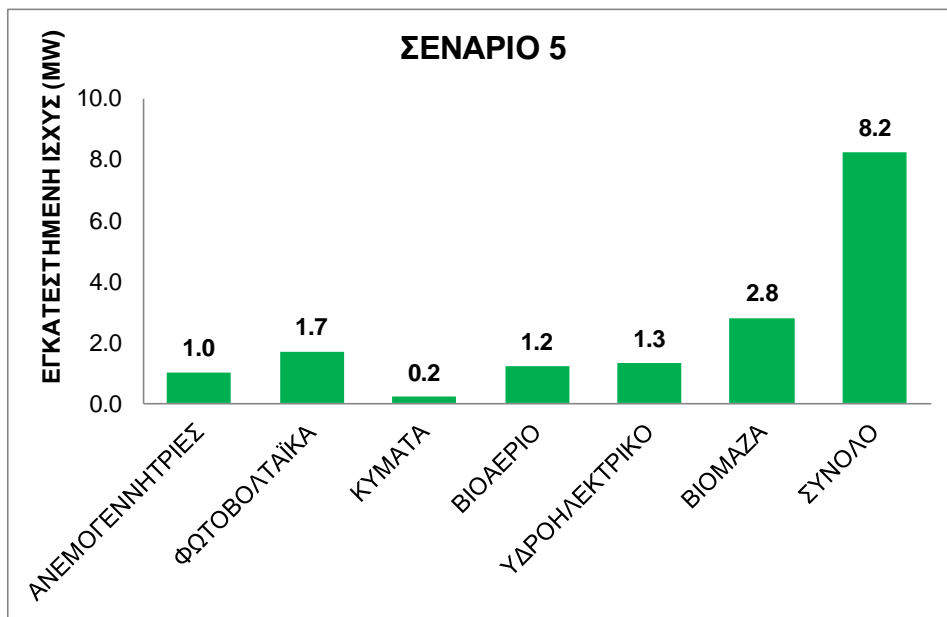


Διάγραμμα 8.77: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

4

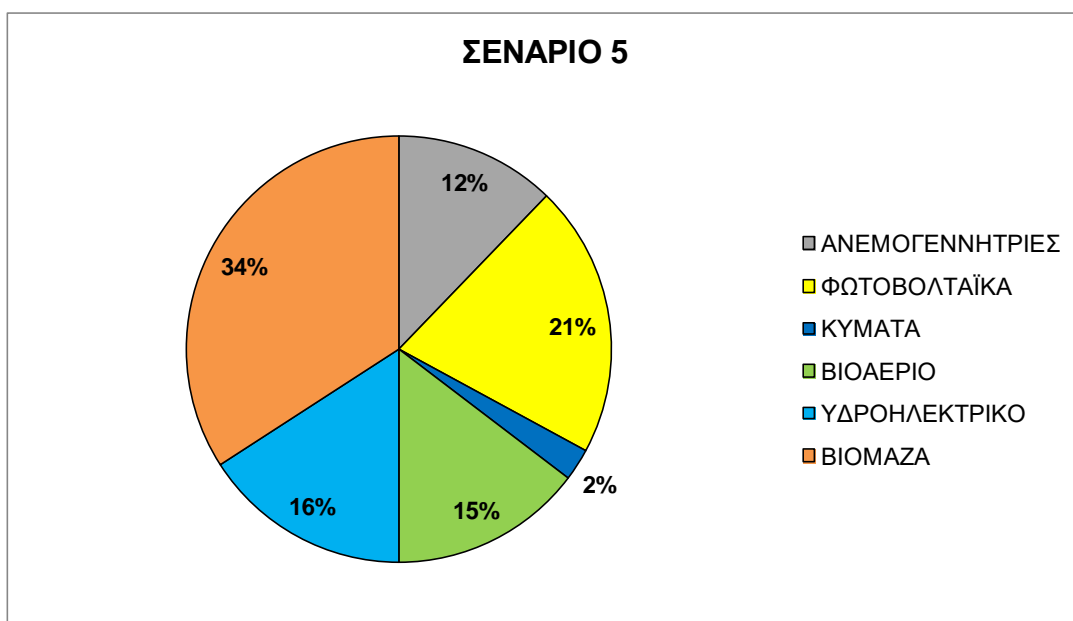


Διάγραμμα 8.78: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 4

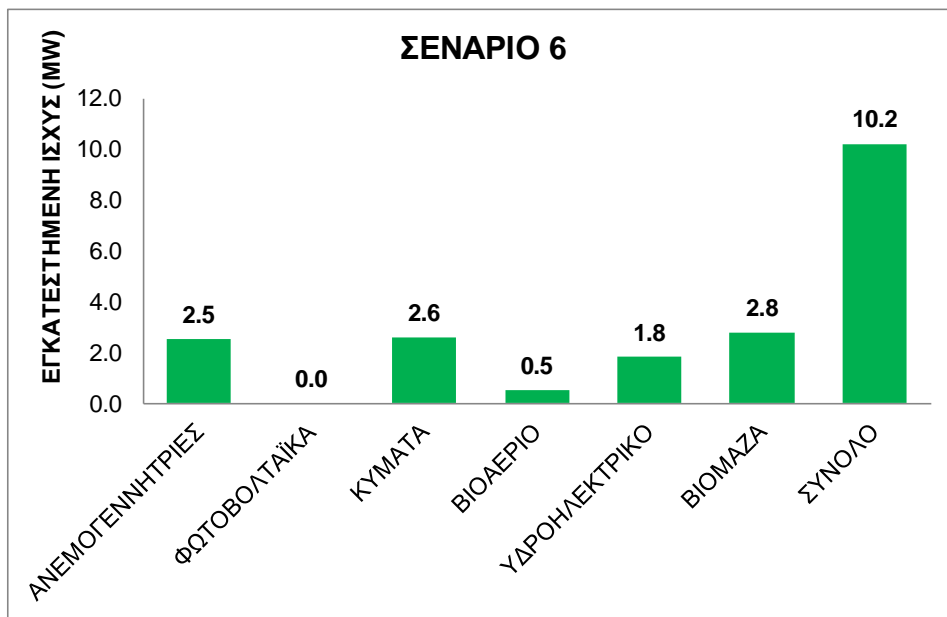


Διάγραμμα 8.79: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

5

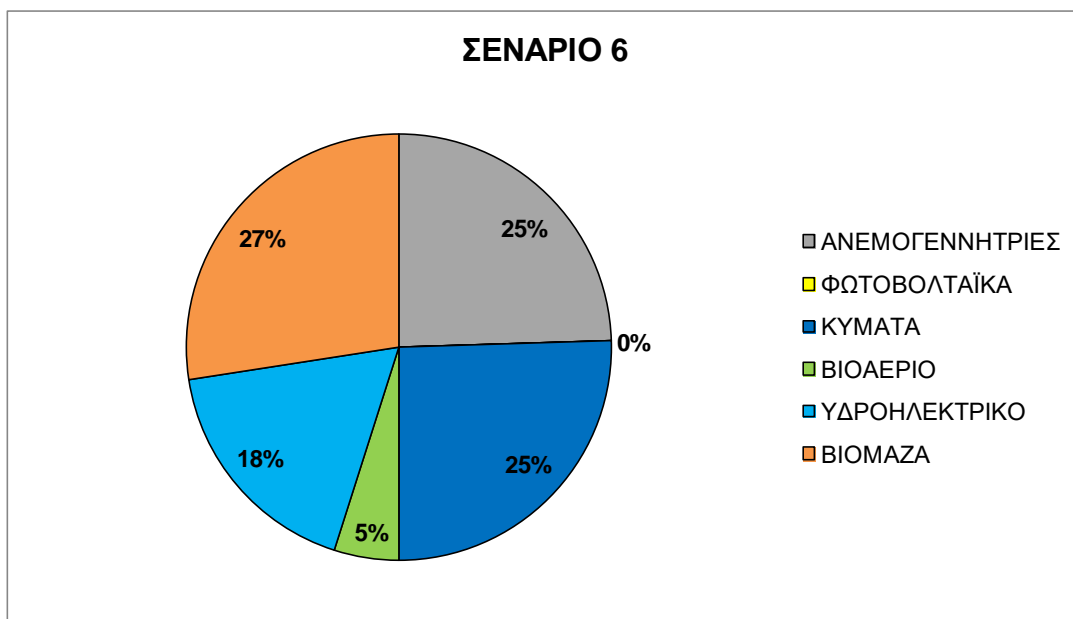


Διάγραμμα 8.80: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 5



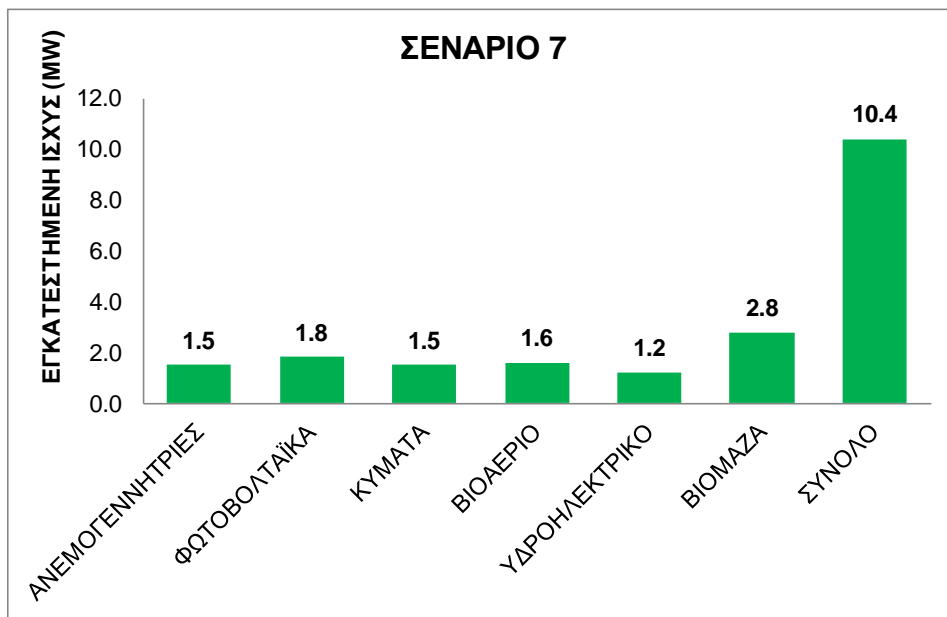
Διάγραμμα 8.81: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

6



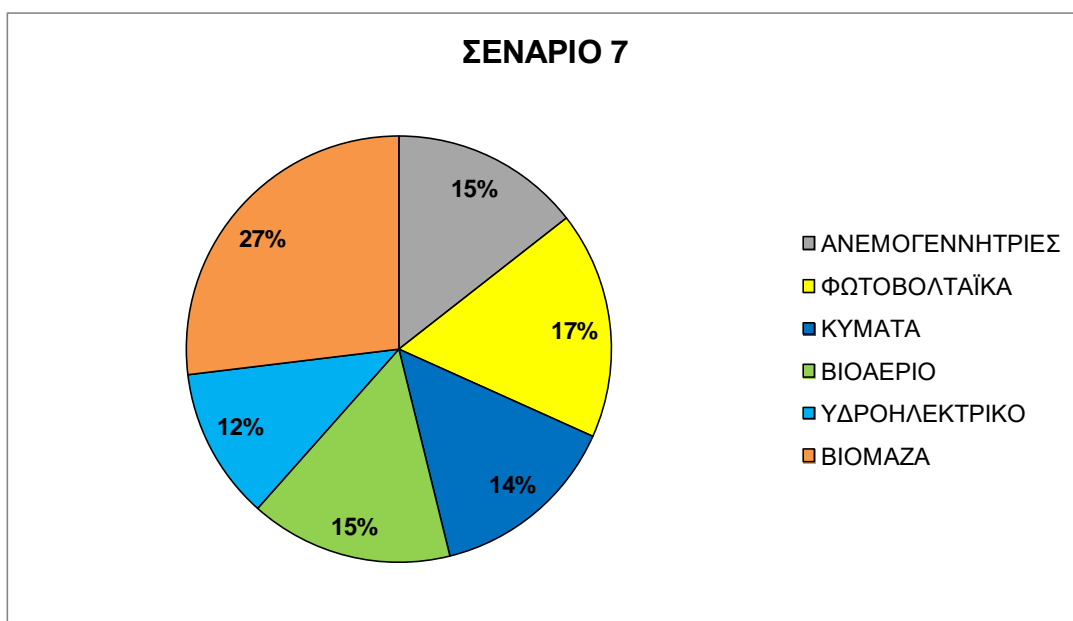
Διάγραμμα 8.82: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 6



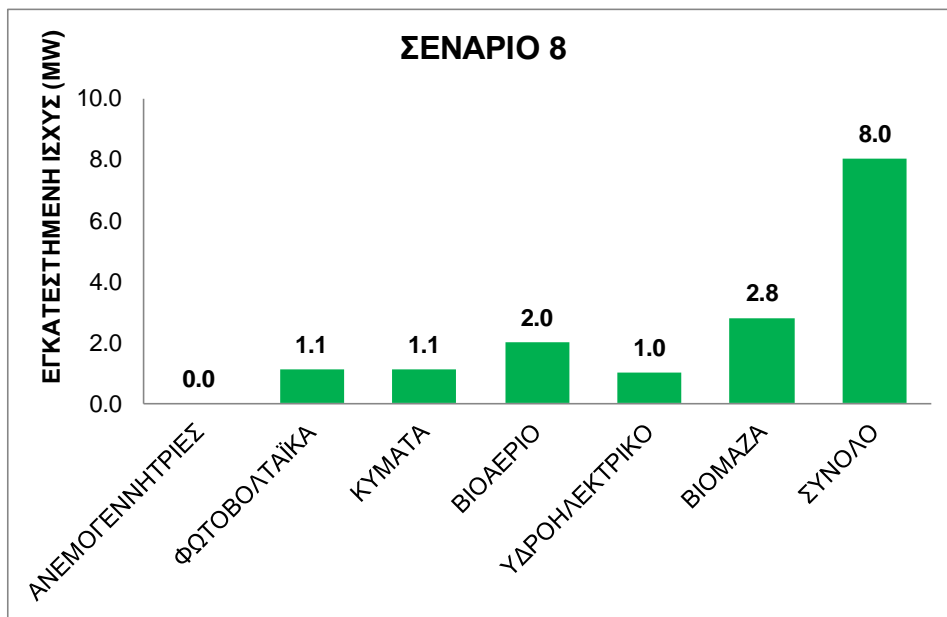


Διάγραμμα 8.83: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

7

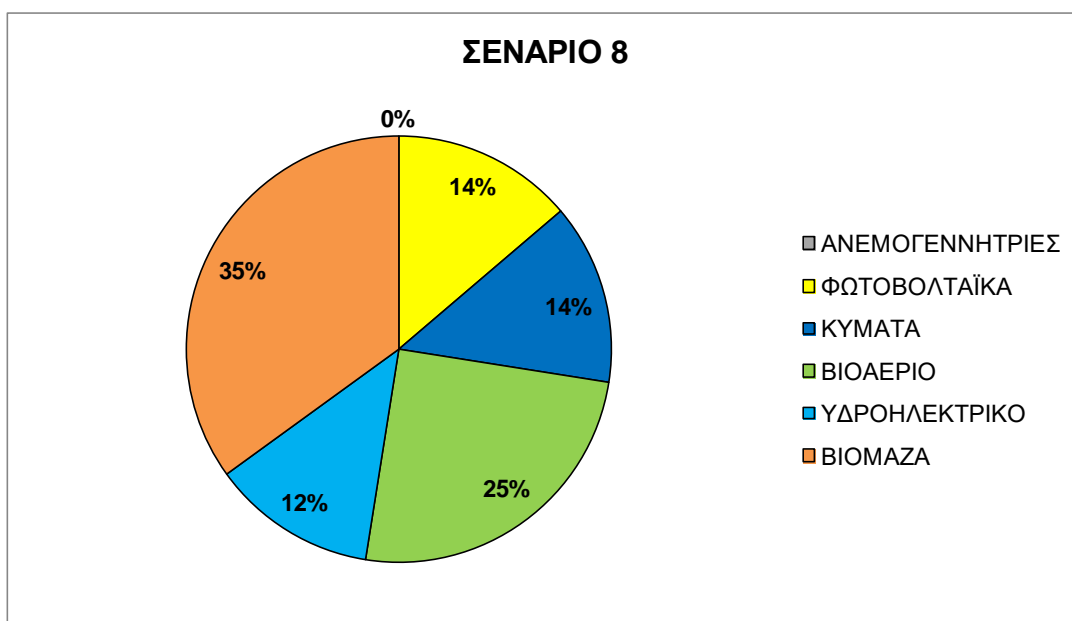


Διάγραμμα 8.84: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 7



Διάγραμμα 8.85: Εγκατεστημένη ισχύς των διατάξεων παραγωγής ενέργειας του σεναρίου

8



Διάγραμμα 8.86: Ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους διατάξεων παραγωγής ενέργειας στην εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος για το σενάριο 8

Από όλα τα παραπάνω διαγράμματα (από Διάγραμμα 8.51 έως Διάγραμμα 8.82 Διάγραμμα 8.90) βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα:

Σε ότι έχει να κάνει με την αξιοπιστία του συστήματος παραγωγής ενέργειας της Αστυπάλαιας φαίνεται πως υψηλή αξιοπιστία ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης παρουσιάζουν τα σενάρια στα οποία η εγκατεστημένη ισχύς των ανεμογεννητριών και του υδροηλεκτρικού είναι αυξημένη. Αντιθέτως παρατηρείται πως τα σενάρια με αυξημένο ποσοστό εγκατεστημένης ισχύος στη διάταξη παραγωγής ενέργειας από τα κύματα και στη διάταξη παραγωγής ενέργειας μέσω βιοαερίου, σε συνδυασμό και με το μειωμένο ποσοστό της εγκατεστημένης ισχύος των ανεμογεννητριών στο ενεργειακό μείγμα, παρουσιάζουν χαμηλή αξιοπιστία ως προς την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης. Αυτό εξηγείται πρώτον από το γεγονός ότι ο βαθμός απόδοσης των ανεμογεννητριών είναι μεγαλύτερος από αυτόν των υπολοίπων μη ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας του συστήματος με αποτέλεσμα η παραγόμενη ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες να είναι μεγαλύτερη και δεύτερον λόγω του πλεονάσματος ενέργειας που δημιουργούν οι ανεμογεννήτριες, μεγάλο μέρος του οποίου μπορεί να αποθηκευτεί.

Σε ότι έχει να κάνει με τον χρόνο απόσβεσης της συνολικής επένδυσης παρατηρείται πως πιο μεγάλο χρόνο απόσβεσης έχουν τα σενάρια στα οποία η εγκατεστημένη ισχύς της διάταξης παραγωγής ενέργειας από τα κύματα και από το βιοαέριο αλλά και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος είναι αυξημένη. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι το κόστος εγκατάστασης - αντικατάστασης και λειτουργίας των παραπάνω διατάξεων σε σύγκριση με την ενέργεια που παράγουν είναι πολύ αυξημένο με αποτέλεσμα τα επιβαρύνεται το συνολικό κόστος της επένδυσης και το κεφάλαιο που μπορεί να εξοικονομηθεί από την αποφυγή της χρήσης του πετρελαίου να μην επαρκεί για την απόσβεσή της.

## 8.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕ ΤΑ ΣΗΜΕΡΙΝΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Όπως έχει προαναφερθεί τα οικονομικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων προέκυψαν με δεδομένο πως το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας στην Αστυπάλεια θα είναι, για τα επόμενα 100 έτη ωφέλιμης διάρκειας ζωής του υβριδικού συστήματος που εξετάστηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, ίσο με το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας στην Αστυπάλεια το έτος 2016, που ήταν 286.06 €/MWh (Εικόνα 3.5, [5]). Με βάση όμως τα σημερινά δεδομένα, που λόγω διεθνών κρίσεων η τιμή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου είναι κατά πολύ υψηλότερη από αυτή του έτους 2016, το μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα διαμορφώνεται τον Αύγουστο του 2022 στα 432.70 €/MWh [5].

Με δεδομένη αυτή την τιμή ως μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας στην Αστυπάλεια για τα επόμενα 100 έτη της λειτουργίας του υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας, που ενδεχομένως να είναι και ευμενής παραδοχή, καθώς το έτος 2016 που το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας στην Αστυπάλεια ήταν 286.06 €/MWh το αντίστοιχο μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα ήταν ίσο με περίπου 50.51 €/MWh [5], παρουσιάζονται οι παρακάτω πίνακες που απεικονίζουν τον χρόνο απόσβεσης και το συνολικό οικονομικό όφελος στην περίπτωση του υπολογισμού με βάση το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας του έτους 2016 και του έτους 2022.

Τα σενάρια που απεικονίζονται στον Πίνακα 8.31 και στον Πίνακα 8.32 αφορούν τα σενάρια προσομοίωσης του Πίνακα 8.23.

Πίνακας 8.31: Σύγκριση χρόνου απόσβεσης με βάση το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας στην Αστυπάλεια το έτος 2016 και 2022

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΕΤΟΣ 2016 (years)	ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΕΤΟΣ 2022 (years)
1	42	27
2	44	32
3	56	42
4	100	80
5	100	99
6	100	100
7	92	75
8	100	100
9	100	99
10	100	100

Πίνακας 8.32: Σύγκριση συνολικού οικονομικού οφέλους με βάση το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας στην Αστυπάλαια το έτος 2016 και 2022

ΣΕΝΑΡΙΟ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΕΤΟΣ 2016 (Μ€)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΡΔΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΕΤΟΣ 2022 (Μ€)
1	102.70	196.67
2	98.94	182.48
3	77.19	154.73
4	0.00	52.13
5	0.00	0.55
6	0.00	0.00
7	12.67	65.63
8	0.00	0.00
9	0.00	1.47
10	0.00	0.00

Από τους δύο παραπάνω πίνακες παρατηρείται, όπως ήταν αναμενόμενο, πως ο χρόνος απόσβεσης του συστήματος για το βέλτιστο από πλευράς αξιοπιστίας και χρόνου απόσβεσης σενάριο (Σενάριο 1) μειώνεται κατά 15 έτη και πως το συνολικό οικονομικό όφελος από την επένδυση για το ίδιο σενάριο αυξάνεται κατά περίπου 94 Μ€, πράγμα που κάνει το αυτόνομο σύστημα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας μια μακράν πιο συμφέρουσα οικονομικά επιλογή από τη χρήση του πετρελαίου σε περιπτώσεις διεθνών κρίσεων και μεγάλων ανατιμήσεων του πετρελαίου.

## 8.8 ΣΕΝΑΡΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ

Σε αυτήν την υποενότητα πραγματοποιείται η προσομοίωση της λειτουργίας των δύο φάσεων του υβριδικού συστήματος της Αστυπάλλιας όπως αυτές περιγράφονται στο πλαίσιο της μεγάλης επένδυσης που γίνεται από τον όμιλο Volkswagen στο νησί, με τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα και τις διατάξεις αποθήκευσης που έχουν επιλεγεί στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα οι δύο φάσεις του υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας της Αστυπάλλιας έχουν περιγραφεί αναλυτικά στην Ενότητα 3.6.

Για την πρώτη φάση προβλέπεται η αντικατάσταση του στόλου των οχημάτων που φέρουν κινητήρες εσωτερικής καύσης με ηλεκτρικά αυτοκίνητα, των οποίων οι ανάγκες φόρτισης θα καλύπτονται εξ ολοκλήρου μέσω φορτιστών που θα τροφοδοτούνται από φωτοβολταϊκό πάρκο εγκατεστημένης ισχύος 3 MWp και από διάταξη μπαταριών για την αποθήκευση ενέργειας, συνολικής αποθηκευτικής ικανότητας 7.2 MWh και μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος 2 MW (Εικόνα 3.6). Επίσης, το υβριδικό αυτό σύστημα προβλέπεται να καλύπτει το 50% των αναγκών του νησιού σε ηλεκτρική ενέργεια. Ακόμα, η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης που προβλέπεται να επιφέρουν τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, στο δίκτυο της Αστυπάλλιας, φαίνεται να μην ξεπερνάει το 15% των ετήσιων ενεργειακών αναγκών του νησιού [52].

Στη δεύτερη φάση προβλέπεται η επέκταση του υβριδικού συστήματος με την προσθήκη μίας ή δύο ανεμογεννητριών και ο στόχος μετά το πέρας της είναι η κάλυψη της συνολικής ενεργειακής ζήτησης του νησιού σε ποσοστό άνω του 80% και η μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [52].

Για την προσομοίωση της πρώτης φάσης του υβριδικού συστήματος της Αστυπάλλιας, προβλέφθηκε η συμμετοχή φωτοβολταϊκού πάρκου εγκατεστημένης ισχύος 3 MWp, η συμμετοχή διάταξης άντλησης - ταμίευσης με δεξαμενή, ωφέλιμου όγκου ικανού να αποθηκεύσει ενέργεια 7.2 MWh και υδροηλεκτρική διάταξη εγκατεστημένης ισχύος 2 MW. Ο όγκος της δεξαμενής που μπορεί να αποθηκεύσει νερό ικανό να παραγάγει 7.2 MWh ενέργειας, προκύπτει από τη Σχέση 5.22, για το ελάχιστο ύψος πτώσης (360 m) και για τον ελάχιστο βαθμό απόδοσης του υδροστροβίλου (78%), ίσος με περίπου 10000 m<sup>3</sup>.

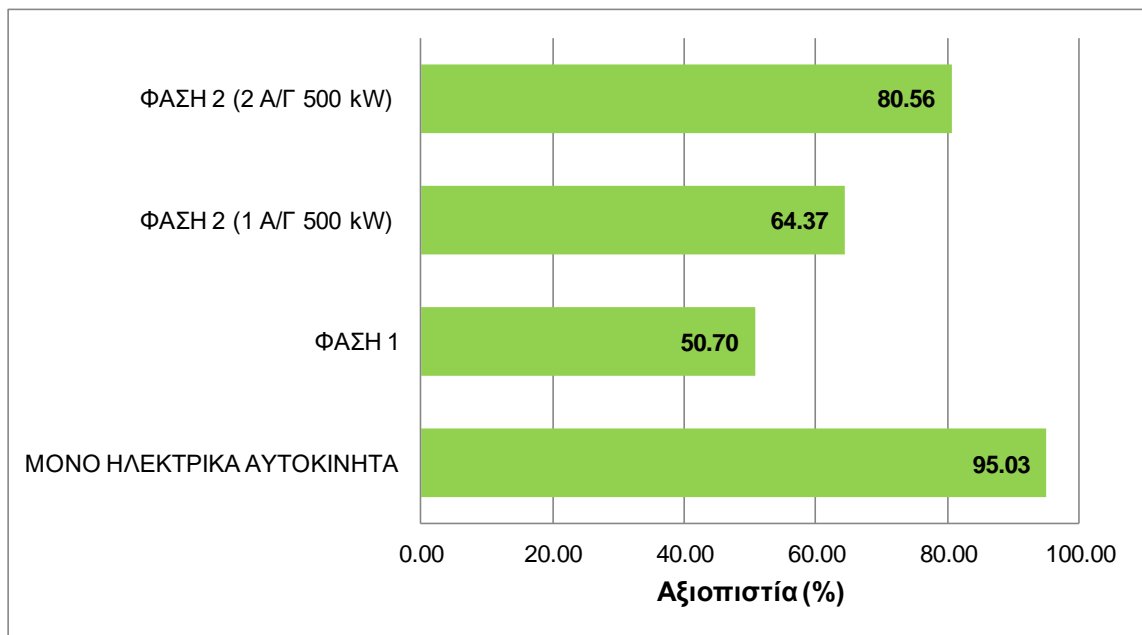
Για την προσομοίωση της δεύτερης φάσης προβλέφθηκε ένα σενάριο με την προσθήκη μίας ανεμογεννήτριας εγκατεστημένης ισχύος 500 kW και ένα σενάριο με την προσθήκη δύο ανεμογεννητριών εγκατεστημένης ισχύος 500 kW η κάθε μία.

Από την προσομοίωση προέκυψε το Διάγραμμα 8.87 που απεικονίζει την αξιοπιστία του συστήματος για τα 4 εξεταζόμενα σενάρια. Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι σε κανένα από τα σενάρια προσομοίωσης δεν εξετάστηκε σύστημα αμφίδρομης φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων και επομένως δεν εκτιμήθηκε η συνεισφορά της ενέργειας που θα βρίσκεται αποθηκευμένη στις μπαταρίες των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης του νησιού. Επίσης δεν εξετάστηκε και η συνεισφορά των μπαταριών των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στην αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας του συστήματος.

Το πρώτο σενάριο αφορά την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων που προβλέπεται να αντικαταστήσουν τα συμβατικά οχήματα του νησιού, αποκλειστικά από το υβριδικό σύστημα που πρόκειται να εγκατασταθεί στο νησί και το οποίο θα αποτελείται από φωτοβολταϊκό πάρκο εγκατεστημένης ισχύος 3 MWp και από μπαταρία με μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα 7.2 MWh και μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος 2 MW.

Το δεύτερο σενάριο αφορά την πρώτη φάση του σχεδίου της παρούσας επένδυσης στην Αστυπάλαια που προβλέπει την πλήρη κάλυψη των ενεργειακών του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων και του 50% των ετήσιων ενεργειακών αναγκών του νησιού, αποκλειστικά από το υβριδικό σύστημα του νησιού, αποτελούμενο από τις διατάξεις που περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Το τρίτο σενάριο αφορά τη δεύτερη φάση της του σχεδίου της παρούσας επένδυσης στην Αστυπάλαια που προβλέπει την κάλυψη του συνόλου των ενεργειακών του νησιού σε ποσοστό άνω του 80% από τις διατάξεις που περιγράφηκαν παραπάνω αλλά και με την προσθήκη μίας ανεμογεννήτριας εγκατεστημένης ισχύος 500 kW στο σύστημα, ενώ το τέταρτο σενάριο είναι όμοιο με το τρίτο με την προσθήκη δύο ανεμογεννητριών εγκατεστημένης ισχύος 500 kW η κάθε μία.



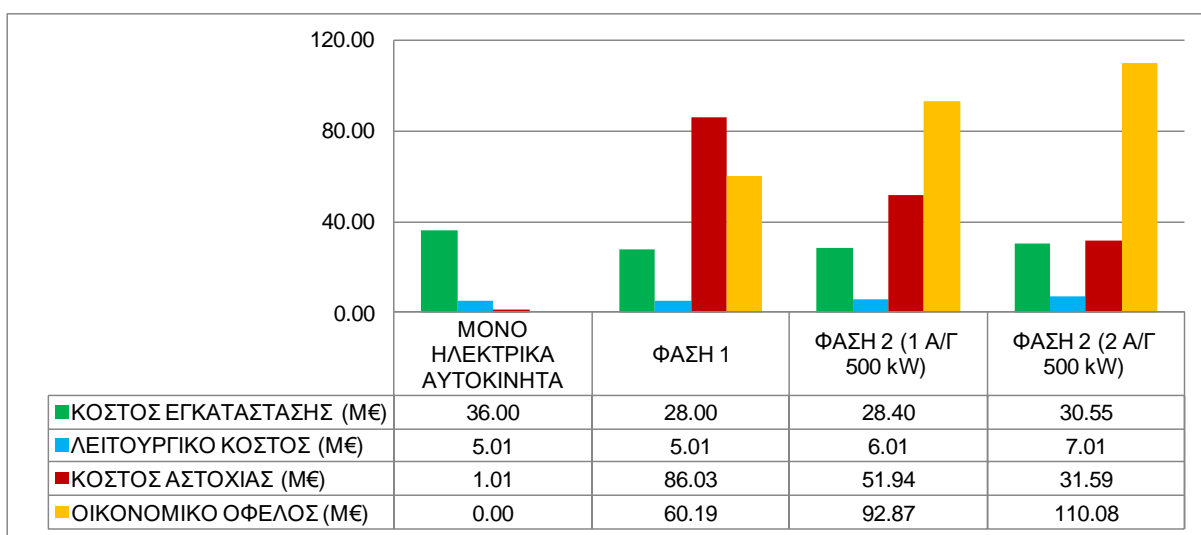
Διάγραμμα 8.87: Αξιοπιστία των σεναρίων που προβλέπονται από το πλάνο της παρούσας επένδυσης στην Αστυπάλαια με τα δεδομένα και τις διατάξεις που εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι με τα δεδομένα και τις διατάξεις παραγωγής ενέργειας της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορεί να μην ικανοποιείται πλήρως ο στόχος της κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης του στόλου των ηλεκτρικών οχημάτων, αλλά καλύπτεται σε ποσοστό 95.03% που είναι αρκετά υψηλό. Ο στόχος αξιοπιστίας της πρώτης φάσης δεν επιτυγχάνεται από το παρόν σύστημα, καθώς η αξιοπιστία του υβριδικού συστήματος είναι μικρότερη από 65%, πράγμα που σημαίνει πως δεν μπορεί να καλυφθεί το σύνολο των ενεργειακών αναγκών των ηλεκτρικών οχημάτων ( $\cong 15\%$  της παρούσας ενεργειακής ζήτησης) και του 50% της ενεργειακής ζήτησης του νησιού. Ομοίως ο στόχος της δεύτερης φάσης της επένδυσης δεν φαίνεται να επιτυγχάνεται, καθώς η αξιοπιστία του υβριδικού συστήματος είναι μικρότερη από 95%, πράγμα που σημαίνει πως δεν μπορεί να καλυφθεί το σύνολο των ενεργειακών αναγκών των ηλεκτρικών οχημάτων ( $\cong 15\%$  της παρούσας ενεργειακής ζήτησης) και τουλάχιστον το 80% της ενεργειακής ζήτησης του νησιού.

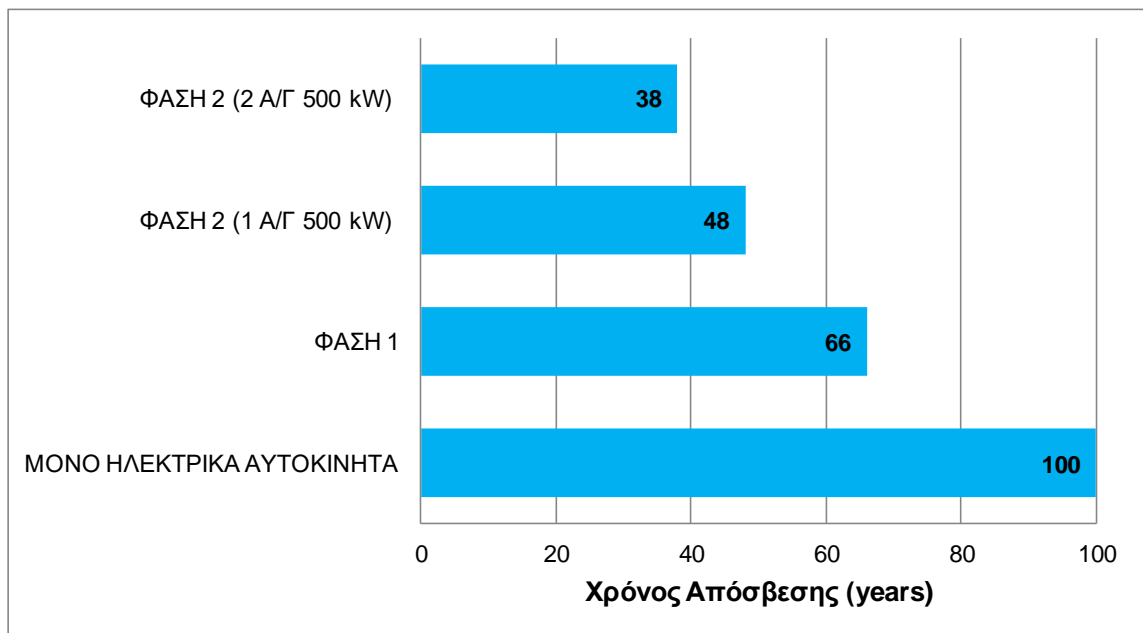
Ωστόσο φαίνεται πως με την προσθήκη μίας ανεμογεννήτριας εγκατεστημένης ισχύος 500 kW μπορεί να επιτευχθεί ο στόχος της πρώτης φάσης, ενώ με την προσθήκη δύο ανεμογεννητριών εγκατεστημένης ισχύος 500 kW η κάθε μία, μπορούν να καλυφθούν οι στόχοι της δεύτερης φάσης της επένδυσης σε ποσοστό 65% ως προς την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νησιού και σε ποσοστό 100% ως προς την κάλυψη των αναγκών φόρτισης των ηλεκτρικών αυτοκινήτων.



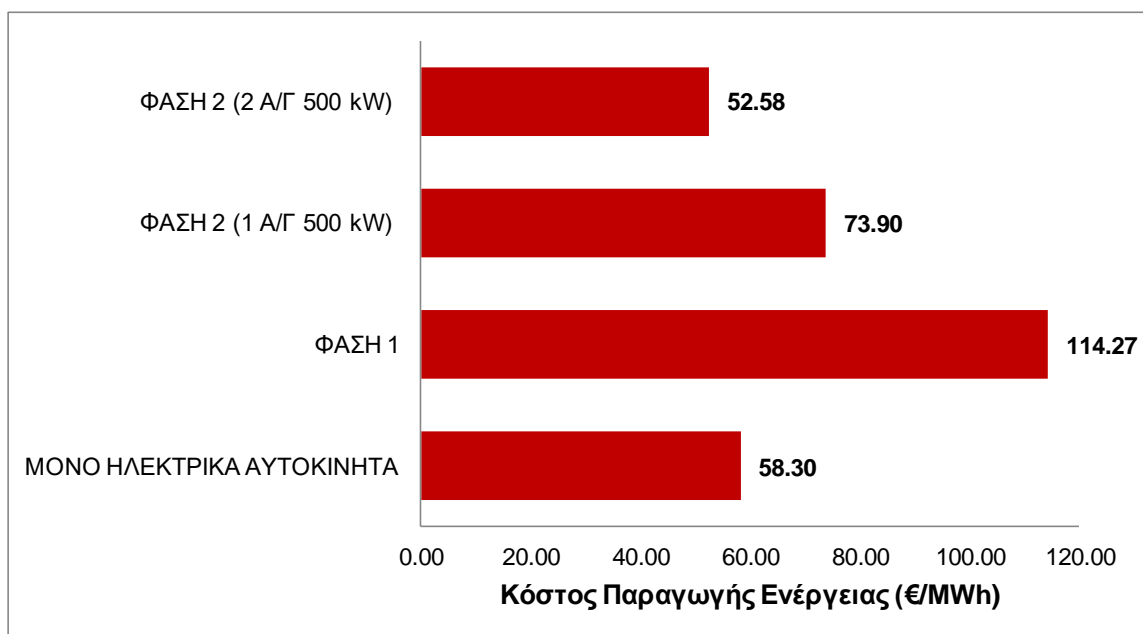
Ως προς τα οικονομικά μεγέθη της επένδυσης στο Διάγραμμα 8.88 παρουσιάζεται το αναλυτικό κόστος και το συνολικό όφελος της επένδυσης για κάθε σενάριο και για λειτουργία του συστήματος για 100 έτη, στο Διάγραμμα 8.89 παρουσιάζεται ο χρόνος απόσβεσης της συνολικής επένδυσης και στο Διάγραμμα 8.90 παρουσιάζεται το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας από το σύστημα της Αστυπάλαιας. Αξίζει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι το όφελος που προκύπτει από τον περιορισμό της χρήσης πετρελαίου υπολογίστηκε με βάση την παρούσα ζήτηση του νησιού και όχι με την αυξημένη ζήτηση κατά 15% λόγω των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Από το Διάγραμμα 8.90 φαίνεται πως η μείωση κατά τουλάχιστον 25% του κόστους παραγωγής ενέργειας στο νησί της Αστυπάλαιας επιτυγχάνεται με ευκολία αφού το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας μετά τη δεύτερη φάση της επένδυσης διαμορφώνεται στα 52.58 €/MWh, δηλαδή μειωμένο σε σχέση με το παρόν κόστος παραγωγή ενέργειας του νησιού κατά περίπου 81.61%.



Διάγραμμα 8.88: Ανάλυση κόστους και όφελος για κάθε φάση της παρούσας επένδυσης στην Αστυπάλαια με βάση τα δεδομένα και τις διατάξεις που επιλέχθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία



Διάγραμμα 8.89: Χρόνος απόσβεσης για κάθε φάση της παρούσας επένδυσης στην Αστυπάλαια με βάση τα δεδομένα και τις διατάξεις που επιλέχθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία



Διάγραμμα 8.90: Μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας για κάθε φάση της παρούσας επένδυσης στην Αστυπάλαια με βάση τα δεδομένα και τις διατάξεις που επιλέχθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία

## 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τη διερεύνηση που έγινε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας σχετικά με την δυνατότητα πλήρους αυτονομίας ενός ενεργειακού συστήματος, αποκλειστικά βασισμένου σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αλλά και την οικονομική βιωσιμότητα της ανάλογης επένδυσης που πρέπει να γίνει για την κατασκευή και τη λειτουργία του συστήματος αυτού, εξήχθησαν τα παρακάτω χρήσιμα συμπεράσματα. Ορισμένα από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία αφορούν αποκλειστικά το ενεργειακό σύστημα του νησιού της Αστυπάλαιας, καθώς η διερεύνηση έγινε με τα δεδομένα του νησιού αυτού, αλλά ορισμένα εκ των συμπερασμάτων αφορούν γενικότερα τα συστήματα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας γιατί έχουν να κάνουν με σταθερές που ισχύουν ανεξαρτήτως των χαρακτηριστικών του κάθε τόπου.

Αρχικά, πρέπει να επισημανθεί ότι πως έγιναν ορισμένες παραδοχές για λόγους ευκολίας της μοντελοποίησης, όπως για παράδειγμα ο σταθερός βαθμός απόδοσης των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από βιομάζα και βιοαέριο που ενδεχομένως και αυτές να οδηγούν σε μικρές αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές, αλλά που δεν είναι ικανές να επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στα τελικά αποτελέσματα και κατ' επέκταση στα εξαγόμενα συμπεράσματα.

Το πρώτο βασικό συμπέρασμα που εξήχθη και που ισχύει για κάθε σύστημα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας είναι πως οι μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν μπορούν να προσφέρουν αυτονομία στο σύστημα. Η αυτονομία και η σταθεροποίηση του ενεργειακού συστήματος παρέχεται από τη συμμετοχή ελέγξιμων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα.

Το δεύτερο εξίσου σημαντικό συμπέρασμα που εξήχθη είναι πως η αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται από τις μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές του συστήματος και δεν μπορεί να απορροφηθεί από το δίκτυο, είναι ίσως ο μόνος αποτελεσματικός τρόπος για την επίτευξη ενεργειακής αυτονομίας ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας βασισμένου αποκλειστικά σε ανανεώσιμες πηγές.

Συγκρίνοντας τις ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά και την διάταξη υπερπήδησης - ανύψωσης κυμάτων προκύπτει πως οι ανεμογεννήτριες έχουν ουσιαστικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με τις άλλες δύο διατάξεις, αφού είναι σε θέση να παραγάγουν μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας με μικρότερο κόστος. Επίσης, φαίνεται πως είναι οι μόνες που αν συνδυαστούν με διάταξη άντλησης - ταμίευσης ή διάταξη παραγωγής ενέργειας με χρήση

βιομάζας μπορούν να προσφέρουν πολύ υψηλή αξιοπιστία, ακόμα και αυτονομία, στο σύστημα παραγωγής ενέργειας.

Σχετικά με τις ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, το βιοαέριο σε συνδυασμό με την αποθήκευσή του σε κατάλληλες διατάξεις μπορεί να αυξήσει την αξιοπιστία του συστήματος παραγωγής ενέργειας, αλλά έχει το μειονέκτημα του αυξημένου κόστους παραγωγής ενέργειας σε σχέση με το πετρέλαιο.

Η βιομάζα είναι η μόνη ελέγξιμη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που υπό συνθήκες μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως τη χρήση πετρελαίου, αλλά που έχει αυτή αυξημένο κόστος παραγωγής και ειδικά σε ένα απομακρυσμένο νησί του Αιγαίου που το κόστος του πετρελαίου είναι υψηλό, αλλά έχει και μεγαλύτερη αβεβαιότητα σε σύγκριση με το πετρέλαιο καθώς η παραγωγή ξηρής ουσίας κάθε έτους μπορεί να μην είναι η αναμενόμενη αφού εξαρτάται από παράγοντες που τους διακρίνει στοχαστικότητα. Με τον συνδυασμό όμως της βιομάζας με μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές όπως ο άνεμος και ο ήλιος, το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας που συστήματος μπορεί να μειωθεί δραστικά σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος του πετρελαίου, χωρίς να επηρεαστεί η αυτονομία του συστήματος.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει ως βασικό πλεονέκτημα το γεγονός πως συνδυάζεται με την ύπαρξη δεξαμενής ή ταμιευτήρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την αποθήκευση του πλεονάσματος της ενέργειας που παράγεται από τις μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας του συστήματος. Ακόμα, οι υδροηλεκτρικές διατάξεις σε κατάλληλο συνδυασμό με μη ελέγξιμες ανανεώσιμες πηγές μπορούν να πετύχουν πολύ υψηλούς βαθμούς αξιοπιστίας και διακρίνονται και από υψηλούς βαθμούς απόδοσης.

Σε σχέση με τα οικονομικά μεγέθη, τα οποία αφορούν το νησί της Αστυπάλαιας, το σημαντικότερο συμπέρασμα που προέκυψε είναι πως το μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας από ορισμένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μικρότερο από το παρόν μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και αυτό γιατί το κόστος προμήθειας του πετρελαίου, που χρησιμοποιείται σήμερα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί, είναι πολύ αυξημένο. Ακόμα ο χρόνος που απαιτείται για την απόσβεση της επένδυσης σε ένα αυτόνομο σύστημα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας στο νησί της Αστυπάλαιας, με ωφέλιμο χρόνο ζωής τα 100 έτη είναι αποδεκτός και το κέρδος από τον περιορισμό της χρήσης του πετρελαίου για την παραγωγή ενέργειας είναι αυξημένο.

Το βασικότερο όμως συμπέρασμα είναι πως η μετάβαση από την καύση υδρογονανθράκων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην παραγωγή ανανεώσιμης ενέργεια μέσω αυτόνομων συστημάτων είναι εφικτή και από τεχνικής και από οικονομικής

πλευράς και υπό την προϋπόθεση, κυρίως της αποθήκευσης της ανανεώσιμης ενέργειας, μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο σε μη διασυνδεδεμένα νησιά του Αιγαίου αλλά και στην ηπειρωτική χώρα.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, «Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης,» 05 06 2009. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=FR>.
- [2] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο & Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, «Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης,» 21 12 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=LV>.
- [3] ΕΛΣΤΑΤ, 2011. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.statistics.gr/2011-census-pop-hous>.
- [4] Β. Δανιήλ, «Διερεύνηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μη διασυνδεδεμένο νησί της Αστυπάλαιας,» *Διπλωματική εργασία*, p. 112, Μάρτιος 2018.
- [5] ΔΕΔΔΗΕ. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://deddie.gr/>.
- [6] ΔΕΗ, 2014 - 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.dei.gr/el/>.
- [7] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://smartastypalea.gov.gr/>.
- [8] K. Mavroyeoryos, I. Engonopoulos, H. Tyrallis, P. Dimitriadis, and D. Koutsoyiannis, «Simulation of electricity demand in a remote island for optimal planning of a hybrid renewable energy system,» *Energy Procedia*, pp. 125, 435–442, 2017.
- [9] A. Koskinas, E. Zacharopoulou, G. Pouliasis, I. Engonopoulos, K. Mavroyeoryos, I. Deligiannis, G. Karakatsanis, P. Dimitriadis, T. Iliopoulou, D. Koutsoyiannis, and H. Tyrallis, «Simulation of electricity demand in a remote island for optimal planning of a hybrid renewable energy system,» σε *European Geosciences Union*, Vienna, 2017.
- [10] E. Moschos, G. Manou, C. Georganta, P. Dimitriadis, T. Iliopoulou, H. Tyrallis, D. Koutsoyiannis, and V. Tsoukala, «Investigation of the stochastic nature of wave processes for renewable resources management: a pilot application in a remote island in the Aegean sea,» σε *European Geosciences Union*, Vienna, 2017.
- [11] E. Moschos, G. Manou, P. Dimitriadis, V. Afendoulis, D. Koutsoyiannis, and V. Tsoukala, «Harnessing wind and wave resources for a Hybrid Renewable Energy System in remote islands: a combined stochastic and deterministic approach,» *Energy Procedia*,

pp. 125, 415 - 424, 2017.

- [12] Α. Γκολέμης, «Στοχαστική διερεύνηση και προσομοίωση της ταχύτητας του ανέμου - Εφαρμογή στην διαχείριση αιολικής εγκατάστασης,» *Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*, p. 103, Φεβρουάριος 2019.
- [13] P. Dimitriadis, and D. Koutsoyiannis, «Stochastic synthesis approximating any process dependence and distribution,» *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, pp. 32 (6), 1493 - 1515, 2018.
- [14] P. Dimitriadis, and D. Koutsoyiannis, «Application of stochastic methods to double cyclostationary processes for hourly wind speed simulation,» *Energy Procedia*, pp. 76, 406 - 411, 2015.
- [15] I. Deligiannis, P. Dimitriadis, O. Daskalou, Y. Dimakos, and D. Koutsoyiannis, «Global investigation of double periodicity of hourly wind speed for stochastic simulation; application in Greece,» *Energy Procedia*, pp. 97, 278 - 285, 2016.
- [16] Η. Δεληγιάννης, «Διερεύνηση διπλής κυκλοστασιμότητας ανέμου για εφαρμογή σε στοχαστικά μοντέλα πρόβλεψης,» *Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*, p. 119, Ιούλιος 2016.
- [17] P. Dimitriadis, and D. Koutsoyiannis, «Climacogram versus autocovariance and power spectrum in stochastic modelling for Markovian and Hurst-Kolmogorov processes,» *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, pp. 29 (6), 1649 - 1669, 2015.
- [18] Γ. Κουντούρης, «Στοχαστική διερεύνηση της χρονικής μεταβολής της ηλιακής ακτινοβολίας,» *Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*, p. 104, Νοέμβριος 2017.
- [19] G. Koudouris, P. Dimitriadis, T. Iliopoulou, N. Mamassis, and D. Koutsoyiannis, «Investigation of the stochastic nature of solar radiation for renewable resources management,» σε *European Geosciences Union*, Vienna, 2017.
- [20] G. Koudouris, P. Dimitriadis, T. Iliopoulou, N. Mamassis, and D. Koutsoyiannis, «Investigation on the stochastic nature of the solar radiation process,» *Energy Procedia*, pp. 125, 398 - 404, 2017.
- [21] G. Koudouris, P. Dimitriadis, T. Iliopoulou, N. Mamassis, and D. Koutsoyiannis, «A stochastic model for the hourly solar radiation process for application in renewable resources management,» *Advances in Geosciences*, pp. 45, 139 - 145, 14 August 2018.

- [22] K. Papoulakos, G. Pollakis, Y. Moustakis, A. Markopoulos, T. Plioroulou, P. Dimitriadis, D. Koutsoyiannis, and A. Efstratiadis, «Simulation of water-energy fluxes through small-scale reservoir systems under limited data availability,» *European Geosciences Union*, Vienna 2017.
- [23] K. Papoulakos, G. Pollakis, Y. Moustakis, A. Markopoulos, T. Plioroulou, P. Dimitriadis, D. Koutsoyiannis, and A. Efstratiadis, «Simulation of water-energy fluxes through small-scale reservoir systems under limited data availability,» *Energy Procedia*, pp. 125, 405–414, 2017.
- [24] Κουτσογιάννης Δ. & Ξανθόπουλος Θ., *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3 επιμ., Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ, 1999.
- [25] A Maria-Arenas, AJ Garrido, E Rusu, I Garrido , «Control Strategies Applied to Wave Energy Converters: State of the Art,» *Energies*, pp. 12(16), 3115, 2019.
- [26] Α. Θεόδωρος, «Τεχνολογίες αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή,» *Διπλωματική Εργασία*, p. 109, Οκτώβριος 2018.
- [27] Κ. Ι. Μουτζούρης, ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ, Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ, 2009, p. 127.
- [28] Α. Ανδρεαδάκης, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΙΛΥΟΣ, Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ, 2015, p. 401.
- [29] Ι. Αχείλας, «Επίδραση θερμικής επεξεργασίας στην παραγωγή μεθανίου από αγροβιομηχανικά απόβλητα,» *Διπλωματική Εργασία*, 2015.
- [30] Siemens Gas Engine Overview Brochure, 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9bc49909-dd4d-4381-8b58-6a0736407342/version:1599737241/gasengines-overview.pdf>.
- [31] Ε. Μπόζου, «Διαχείριση Κτηνοτροφικών και Τυροκομικών Αποβλήτων με σκοπό την Παραγωγή Ενέργειας και Εδαφοβελτιωτικού με χρήση της μεθόδου της Αναερόβιας Χώνευσης, στην Περιφέρεια Θεσσαλίας,» *Μεταπτυχιακή Εργασία*, p. 247, 2016.
- [32] Imeni, S.M., Pelaz, L., Corchado-Lopo, C., Busquets, A.M., Ponsá, S. and Colón, J., «Techno-economic assessment of anaerobic co-digestion of livestock manure and cheese whey (Cow, Goat & Sheep) at small to medium dairy farms,» *Bioresource technology*, pp. 291, 121872, 1 November 2019.
- [33] Martí-Herrero J, Alvarez R, Cespedes R, Rojas MR, Conde V, Aliaga L, Balboa M, Danov S., «Cow, sheep and llama manure at psychrophilic anaerobic co-digestion with low cost tubular digesters in cold climate and high altitude,» *Bioresource technology*, pp.



181, 238-246, 1 April 2015.

- [34] Nwokolo N, Mukumba P, Obileke K, Enebe M., «Waste to energy: A focus on the impact of substrate type in biogas production,» *Processes*, pp. 1224-, 1 October 2020.
- [35] A. Efstratiadis, N. Mamassis, and D. Koutsoyiannis, «Lecture notes on Renewable Energy and Hydroelectric Works,» *Department of Water Resources and Environmental Engineering – National Technical University of Athens*, 2020.
- [36] T. Bocklisch, «Hybrid energy storage systems for renewable energy applications,» *Energy Procedia*, pp. 73, 103-111, 2015.
- [37] Δ. Ε. Παπαντώνης, ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ, Αθήνα, 2016.
- [38] Διαμαντά Μαριάννα, Ζήσος Αθανάσιος, Κονταξοπούλου Άννα, Κουτσογράδη Ιφιγένεια, Πανταζή Μαρία - Ελένη, «ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΠΛΗΡΗ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΣΙΦΝΟΥ,» *Ολοκληρωμένο Θέμα Υδραυλικού Σχεδιασμού*, p. 64, Φεβρουάριος 2022.
- [39] N. Mamassis, and A. Efstratiadis, «Lecture notes on Energy Technology,» *Department of Water Resources and Environmental Engineering - National Technical University of Athens*, p. 267, October 2018.
- [40] D. Koutsoyiannis, «Lecture notes on Hydraulics and Hydraulic Works: Review of fluid mechanics and hydraulics,» *Department of Water Resources and Environmental Engineering - National Technical University of Athens*, 2017.
- [41] A. Nanou, «Lecture notes on Hydraulics and Hydraulic Works: Closed Conduit Hydraulics,» *Department of Water Resources and Environmental Engineering – National Technical University of Athens*, 2018.
- [42] M. Chalakatevaki, P. Stamou, S. Karali, V. Daniil, P. Dimitriadis, K. Tzouka, T. Iliopoulou, D. Koutsoyiannis, P. Papanicolaou, and N. Mamassis, «Creating the electric energy mix in a non-connected island,» *Energy Procedia*, pp. 125, 425–434, 2017.
- [43] P. Stamou, S. Karali, M. Chalakatevaki, V. Daniil, K. Tzouka, P. Dimitriadis, T. Iliopoulou, P. Papanicolaou, D. Koutsoyiannis, and N. Mamassis, «Creating the electric energy mix of a non-connected Aegean island,» σε *European Geosciences Union*, 2017.
- [44] Wilo, «Price Book,» 1 January 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://wilo.com/en/index.html>.
- [45] Γενική Γραμματεία Υποδομών, «Τιμολόγια Δημοσίων Έργων,» 2017. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.ggde.gr/>.

- [46] I. Σωτηροπούλου, «Ανάλυση δεδομένων κόστους λειτουργίας και συντήρησης χερσαίων αιολικών πάρκων,» *Διπλωματική Εργασία*, p. 94, Οκτώβριος 2019.
- [47] Hans Chr. Sørensen & Erik Friis-Madsen, «Wave Dragon 1.5 MW North Sea Demonstrator Phase 1,» *WAVE DRAGON*, Copenhagen, 2015.
- [48] Κ. Σιούλας, «Χρηματοδότηση έργων βιοαερίου,» Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, Λάρισα, 2012.
- [49] AGROENERGY, «Πρόταση ενεργειακής αξιοποίησης της αγριαγκινάρας,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.agroenergy.gr/>.
- [50] D. Koutsoyiannis, and A. Efstratiadis, «Lecture notes on Hydraulics and Hydraulic Works: Aqueducts,» *Department of Water Resources and Environmental Engineering – National Technical University of Athens*, p. 68, 2017.
- [51] D. Koutsoyiannis, «Lecture notes on Stochastic Methods,» *School of Civil Engineering - National Technical University of Athens*, 2017.
- [52] «energypress.gr,» 05 11 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://energypress.gr/news/astypalaia-shedio-gia-ti-metatropi-toy-ilektrikoy-systimatos-se-prasino>.