



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

με θέμα

**«Μελέτη αυτόνομου Υβριδικού συστήματος Παραγωγής και Αποθήκευσης
Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Αστυπάλαια»**

ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΣΠΥΡΟΣ

(Α.Μ.: 2015010073)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΠΑΕΥΘΥΜΙΟΥ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2024

Ευχαριστώ την οικογένειά μου για όλη τη στήριξή τους!

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά τη μελέτη κατασκευής και λειτουργίας ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί της Αστυπάλαιας. Ο στόχος της εργασίας είναι να αξιολογήσει τα πλεονεκτήματα της υβριδικής τεχνολογίας καθώς και την επίδραση του σταθμού στην ενεργειακή ασφάλεια και βιωσιμότητα του νησιού. Ειδικότερα, η εργασία εξετάζει (α) την τεχνολογία και το σχεδιασμό του υβριδικού σταθμού, (β) την επίδραση του σταθμού στην ενεργειακή ασφάλεια του νησιού, (γ) την τεχνοοικονομική αξιολόγηση του σταθμού στην ενεργειακή επάρκεια του νησιού.

Αρχικά, έλαβε χώρα μια ανάλυση της βιβλιογραφίας, με την παρουσίαση της υπάρχουσας κατάστασης σε ρυθμιστικό επίπεδο στον τομέα της ενέργειας, τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε ελληνικό επίπεδο. Παράλληλα, γίνεται ανάλυση για τις επιμέρους τεχνολογίες παραγωγής και αποθήκευσης, που είναι αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας. Μια σύντομη αναφορά στις τεχνολογίες παραγωγής από αιολικά, φωτοβολταϊκά καθώς και μονάδες αποθήκευσης παρέχεται ως μέρος της βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Στη συνέχεια, μνημονεύονται τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε λειτουργία (ή υπό κατασκευή) στην Ελλάδα.

Με την ανάλυση των συστημάτων, γίνεται η μετάβαση στο βασικό σενάριο εξέτασης της παρούσας εργασίας, που είναι το αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια. Αρχικά, παρουσιάζονται αναλυτικά τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα καθώς και τα δεδομένα για τη λειτουργία του ενεργειακού δικτύου, όπως είναι διαθέσιμα από τη ΡΑΕ και τον ΔΕΔΔΗΕ. Κατόπιν μελετώνται οι ακόλουθες τεχνολογίες για το αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια:

- Ηλιακή ενέργεια: Το σύστημα περιλαμβάνει ηλιακούς συλλέκτες, με συνολική ισχύ έως 7 MW.
- Αιολική ενέργεια: Το σύστημα περιλαμβάνει ανεμογεννήτριες, με συνολική ισχύ 1,5 MW. Όπως αναφέρεται στη μελέτη, η αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού είναι σε θεωρητικό επίπεδο, δεδομένων των τεχνικών περιορισμών, που αποκλείουν την εγκατάσταση αιολικού δυναμικού στο νησί.

- Αποθήκευση ενέργειας: Το σύστημα περιλαμβάνει μονάδες αποθήκευσης ενέργειας, με συνολική χωρητικότητα 10 MWh.

Η μελέτη, που διεξήχθη για την αξιολόγηση του συστήματος, έδειξε ότι το σύστημα θα έχει τα ακόλουθα οφέλη:

- Μείωση της εξάρτησης από τα συμβατικά καύσιμα: Το σύστημα θα βοηθήσει στη μείωση της εξάρτησης της Αστυπάλαιας από τα συμβατικά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, που είναι το βασικό καύσιμο στην παρούσα κατάσταση για τη λειτουργία των μονάδων diesel.
- Μείωση του κόστους παραγωγής από τα συμβατικά καύσιμα: Το σύστημα θα βοηθήσει στη μείωση του κόστους παραγωγής της Αστυπάλαιας για τη λειτουργία των μονάδων diesel, το οποίο με βάση τα δεδομένα της ΡΑΕ, είναι ιδιαίτερα αυξημένο. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας του νησιού.
- Αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας: Το σύστημα θα αυξήσει την ενεργειακή ασφάλεια του νησιού, καθώς θα μπορεί να παρέχει συνεχή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμα και σε περιόδους με χαμηλή παραγωγή από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Συνολικά, η εργασία έδειξε ότι το αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια είναι ένα βιώσιμο σχέδιο, που θα προσφέρει σημαντικά οφέλη στο νησί. Παράλληλα, το υπάρχον σχέδιο υλοποιείται στη βάση της σωστής διαστασιολόγησης, παρέχοντας μια εγκατάσταση, που δύναται με σχετικά χαμηλό κόστος κεφαλαίου να καλύψει τις βασικές ενεργειακές ανάγκες του νησιού, ενώ παράλληλα αποτελεί μια βιώσιμη χρηματοοικονομικά επένδυση.

Λέξεις κλειδιά: Υβριδικός σταθμός, Αστυπάλαια, ηλιακή ενέργεια, αποθήκευση ενέργειας.

Abstract

The purpose of the work is the study of the construction and operation of an autonomous hybrid system for the production and storage of electricity on the island of Astypalea. The objective of the work is to evaluate the advantages of the hybrid technology, as well as the effect of the station on the energy security and sustainability of the island. In particular, the thesis will examine (a) the technology and design of the hybrid station, (b) the effect of the station on the energy security of the island, (c) the techno-economic evaluation of the station in the energy sufficiency of the island.

Initially, an analysis of the literature took place, with the presentation of the existing situation at regulatory level in the energy sector both at European and Greek level. Special reference was made to the adoption of the most recent legislation at the European level, as a result of the geopolitical and economic crisis that Europe has been experiencing in recent months. At the same time, an analysis is made for the individual production and storage technologies that are the subject of the present study. A brief reference to generation technologies from wind, photovoltaic as well as storage units is provided as part of the literature review. Then, the reference to the autonomous hybrid electricity production and storage systems in operation (or under construction) in Greece.

With the analysis of the systems, the transition is made to the basic examination scenario of the present study, which is the autonomous hybrid system of electricity generation and storage in Astypalaia. Initially, the available metrological data as well as the data for the operation of the energy network as available from RAE and DEDDIE are provided in detail. The following technologies are considered as an object of consideration (basic information is provided as well as a production simulation model for the RES generation units) for the autonomous hybrid electricity generation and storage system in Astypalaia:

- Solar energy: The system includes solar panels with a total power of up to 7 MW.
- Wind energy: The system will include wind turbines with a total power of 1,5 MW. As stated in the study, the assessment of wind potential is at a theoretical level given the technical limitations that preclude the installation of wind potential on the island.

- Energy storage: The system will include energy storage units with a total capacity of 10 MWh.

The study conducted to evaluate the system showed that the system will have the following benefits:

- Reduction of dependence on conventional fuels: The system will help to reduce Astypalaia's dependence on conventional fuels, such as oil, which is the main fuel for the operation of diesel units in the current situation.
- Reduction of production costs from conventional fuels: The system will help to reduce the production costs of Astypalea for the operation of the diesel units which, based on RAE's data, is particularly high. This will result in a reduction in the cost of electricity production and an increase in the island's energy security.
- Increase in energy security: The system will increase the island's energy security, as it will be able to provide a continuous supply of electricity, even in periods of low production from renewable energy sources.

Overall, the study showed that the stand-alone hybrid electricity generation and storage system in Astypalaia is a viable project that will bring significant benefits to the island. At the same time, the existing plan is implemented on the basis of the correct dimensioning, providing a facility that can cover the basic energy needs of the island with a relatively low capital cost, while at the same time being a sustainable financial investment.

Keywords: Hybrid station, Astypalaia Island, solar energy, energy storage.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	iii
Abstract.....	v
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	ix
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	x
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	xii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Σημαντικότητα του θέματος και διατύπωση του προβλήματος	1
1.2 Πρωτοτυπία της εργασίας	2
1.3 Σκοπός και στόχοι της εργασίας	4
1.4 Δομή της εργασίας	5
2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	6
2.1 Εισαγωγή.....	6
2.2 Νομοθεσία σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.....	7
2.3 Υφιστάμενη κατάσταση σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.....	8
2.4 Ανανεώσιμες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	14
2.4.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής	14
2.4.2 Συστήματα παραγωγής με ανεμογεννήτριες.....	17
2.4.3 Συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας	19
2.5 Υβριδικά ενεργειακά συστήματα στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.....	22
2.5.1 Χαρακτηριστικά.....	22
2.5.2 Νομοθεσία.....	23
2.5.3 Υβριδικά ενεργειακά συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά.....	29
2.5.4 Μελλοντικοί υβριδικά ενεργειακά συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά.....	40
3 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑ	42
3.1 Εισαγωγή.....	42

3.2	Ηλιακό και αιολικό δυναμικό στην Αστυπάλαια	44
3.3	Ζήτηση ηλεκτρισμού και ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην Αστυπάλαια	52
3.4	Μελέτη υβριδικού συστήματος Αστυπάλαιας	57
3.5	Προσομοίωση παραγωγής από το Φ/Β σταθμό της Αστυπάλαιας	59
3.6	Προσομοίωση παραγωγής από τον Α/Γ σταθμό της Αστυπάλαιας	68
3.7	Τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	73
3.8	Προτάσεις βελτίωσης του αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια	85
3.9	Περιορισμοί της μελέτης.....	89
4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	91
4.1	Συζήτηση - Συμπεράσματα	91
4.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	95
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	97
	Ελληνόγλωσσες.....	97
	Ξενόγλωσσες.....	97
	Διαδικτυακές	100
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	102
	A. Δεδομένα ΡΑΕ.....	102
	B. Αποτελέσματα προσομοίωσης	106

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Παραγωγή ενέργειας στα ΜΔΝ.	10
Πίνακας 2.2: Δεδομένα για την εγκατάσταση ΥΣΠ σε ΜΔΝ.	26
Πίνακας 2.3: Ελληνικοί Υβριδικοί Σταθμοί Α.Ε - Μελέτη Αναφοράς.	41
Πίνακας 3.1: Υφιστάμενες μονάδες του ΤΣΠ Αστυπάλαιας.	43
Πίνακας 3.2: Ζήτηση φορτίου Αστυπάλαιας.	52
Πίνακας 3.3: Εκτιμήσεις εξέλιξης της ζήτησης φορτίου.	52
Πίνακας 3.4: Προφίλ ημερήσιας κατανάλωσης ΗΟ (kW).	55
Πίνακας 3.5: Πίνακας συμμόρφωσης τεχνικής προσφοράς.	58
Πίνακας 3.6: Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.	74
Πίνακας 3.7: Τεχνική αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας... ..	77
Πίνακας 3.8: Οικονομικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.	80
Πίνακας 3.9: Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.	81
Πίνακας 3.10: Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας – capex.	81
Πίνακας 3.11: Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας – opex.	82
Πίνακας 3.12: Κόστος καυσίμου στα διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας... ..	83
Πίνακας 3.13: Savings στα διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.	84
Πίνακας 3.14: Έτη λειτουργίας στα διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.	84
Πίνακας 3.15: Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας – αποτελέσματα για τους οικονομικούς δείκτες.	84

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Αγορά των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.	9
Σχήμα 2.2: Δεδομένα για την Μηνιαία Παραγωγή Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.	11
Σχήμα 2.3: Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο	15
Σχήμα 2.4: Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα.....	17
Σχήμα 2.5: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας.	18
Σχήμα 2.6: (α) Μικροδίκτυο Τήλου, (β) Κύριες θέσεις εγκατάστασης δικτύου.	31
Σχήμα 2.7: Σύστημα S4S.	32
Σχήμα 2.8: Κύρια χαρακτηριστικά έργου.	34
Σχήμα 2.9: Λειτουργική δομή υβριδικού σταθμού Αγίου Ευστρατίου.	36
Σχήμα 2.10: Δίκτυο διανομής του θερμού νερού προς τα συνδεδεμένα κτίρια.	37
Σχήμα 2.11: Σταθμοί παραγωγής Ενεργειακή Κοινότητα Χάλκης.	40
Σχήμα 3.1: Μέσος όρος θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων.	44
Σχήμα 3.2: Καιρός νεφελώδης, αίθριος και με ημέρες βροχόπτωσης.	45
Σχήμα 3.3: Γραφικά οι παράμετροι GHI, DHI και BNI.	46
Σχήμα 3.4: Ανάλυση ιστορικών δεδομένων GHI ενός έτους.	47
Σχήμα 3.5: Ανάλυση των ιστορικών δεδομένων GHI ανά μήνα.	47
Σχήμα 3.6: Χάρτης αιολικού δυναμικού της Ελλάδας.	48
Σχήμα 3.7: Ταχύτητα ανέμου στο νησί της Αστυπάλαιας.	49
Σχήμα 3.8: Ανεμολόγιο για το νησί της Αστυπάλαιας.	50
Σχήμα 3.9: Ανάλυση των ιστορικών δεδομένων ταχύτητας ανέμου ενός έτους.	51
Σχήμα 3.10: Ανάλυση των ιστορικών δεδομένων ταχύτητας ανέμου ανά μήνα.	51
Σχήμα 3.11: Ανάλυση των ιστορικών δεδομένων ζήτησης ανά μήνα.	53
Σχήμα 3.12: Εκτιμήσεις εξέλιξης της ζήτησης φορτίου ανά μήνα.	54
Σχήμα 3.13: Εκτιμήσεις για την εξέλιξη της ζήτησης φορτίου H/O ανά έτος.	56
Σχήμα 3.14: Εκτιμήσεις για την εξέλιξη της ζήτησης φορτίου H/O ανά ημέρα.	56
Σχήμα 3.15: Κατηγοριοποίηση μοντέλων πρόβλεψης ενέργειας.	59
Σχήμα 3.16: Ιδανικό μοντέλο φωτοβολταϊκού κυττάρου.	60
Σχήμα 3.17: Μοντέλο μιας διόδου R_s φωτοβολταϊκού κυττάρου.	60
Σχήμα 3.18: Μοντέλο δυο διόδων φωτοβολταϊκού κυττάρου.	61
Σχήμα 3.19: Τεχνικές πρόβλεψης ηλιακής ενέργειας βασισμένες σε ιστορικά δεδομένα.	62
Σχήμα 3.20: Μοντελοποίηση της εξίσωσης για πρόβλεψη παραγωγής PV στο MATLAB.	63
Σχήμα 3.21: Χαρακτηριστικές I-V και P-V ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο MATLAB.	64
Σχήμα 3.22: Επίδραση θερμοκρασίας στις χαρακτηριστικές I-V και P-V ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο MATLAB.	65
Σχήμα 3.23: Επίδραση φωτεινότητας στις χαρακτηριστικές I-V και P-V ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο MATLAB.	65
Σχήμα 3.24: Μοντελοποίηση του συστήματος παραγωγής ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο MATLAB.	66
Σχήμα 3.25: Δεδομένα εισόδου στη μοντελοποίηση του συστήματος παραγωγής ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο MATLAB.	67
Σχήμα 3.26: Αποτέλεσμα μοντελοποίησης του συστήματος παραγωγής ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο MATLAB.	68
Σχήμα 3.27: Μοντελοποίηση του συστήματος παραγωγής ενός Α/Γ στοιχείου στο MATLAB.	71

Σχήμα 3.28: Μοντελοποίηση του συστήματος παραγωγής ενός Α/Γ στοιχείου στο MATLAB – Καμπύλη $c_p(\lambda, \beta)$	72
Σχήμα 3.29: Αποτελέσματα μοντελοποίησης του συστήματος παραγωγής ενός Α/Γ στοιχείου στο MATLAB.....	73
Σχήμα 3.30: Γράφημα χρήσης της μπαταρίας για το σενάριο εξέτασης 1.	77
Σχήμα 3.31: Γράφημα κατάστασης της μπαταρίας για το σενάριο εξέτασης 1.	78
Σχήμα 3.32: Γράφημα λειτουργίας για μία ημέρα για το σενάριο εξέτασης 1.....	78

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
Α/Γ	Ανεμογεννήτρια
ΕΕΠ	Εθνική Ενεργειακή Πολιτική
ΕΣΕΚ	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
ΕΠΕ	Ειδικά Πιλοτικά Έργα
ΕΣΜΗΕ	Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΗΟ	Ηλεκτρικό Όχημα
Η/Ζ	Ηλεκτροπαραγωγή Ζεύγη
ΗΣ	Ηλεκτρικά Συστήματα
ΗΕΠ	Ημερήσιος Ενεργειακός Προγραμματισμός
ΚΣΕ	Κεντρικό Σύστημα Εποπτείας
ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
ΚΚΦ	Κέντρο Κατανομής Φορτίου
ΜΔΝ	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
ΜΕΕ	Μη Εντασσόμενη Ενέργεια
ΡΑΑΕΥ	Ρυθμιστική Αρχή Αποβλήτων, Ενέργειας και Υδάτων
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΣΛΕ	Σύμβαση Λειτουργικής Ενίσχυσης
ΣΒΒ	Σταθμοί Βιομάζας – Βιοαερίου
ΤΣΠ	Τοπικός Σταθμός Παραγωγής
ΥΣΠ	Υβριδικό Σύστημα Παραγωγής
ΥΒΣ	Υβριδικοί Σταθμοί
AR	AutoRegressive
ARMA	AutoRegressive Moving Average
ARIMA	AutoRegressive Integrated Moving Average
ANN	Artificial Neural Networks
CNN	Convolutional Neural Networks
COE	Cost of Energy
DL	Deep Learning
DHI	Diffuse Horizontal Irradiance

DNI	Direct Normal Irradiation
ETS	Emissions Trading System
ELM	Extreme Learning Machine
GHI	Global Horizontal Irradiance
IRR	Internal Rate of Return
LSTM	Long Short-term Memory
ML	Machine Learning
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MLP	Multi-Layer Perceptron
NPV	Net Present Value
RBF-NN	Radial Basis Function - Neural Network
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SVM	Support Vector Machine
VSC	Voltage Source Converters

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σημαντικότητα του θέματος και διατύπωση του προβλήματος

Η παρούσα εργασία υλοποιείται σε μια εποχή μεγάλης αλλαγής για τον τομέα της ενέργειας. Αυτή η αλλαγή οφείλεται σε μια σειρά από παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της υπερκατανάλωσης ορυκτών πόρων, της αύξησης της ζήτησης για ενέργεια, των γεωπολιτικών εξελίξεων και των περιβαλλοντικών ανησυχιών. Αυτοί οι παράγοντες έχουν οδηγήσει σε μια στροφή προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Όμως, η εγκατάσταση αυτών των συστημάτων συχνά σχετίζεται με την μη αδιάληπτη παροχή ενέργειας, που οδηγεί σε σημαντικές προκλήσεις αυτών των συστημάτων, ειδικά σε απομονωμένα ηλεκτρικά δίκτυα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα νησιωτικά συμπλέγματα στην χώρα μας, όπου η παραγωγή και διαχείριση ενέργειας έχει γίνει σημαντική πρόκληση τα τελευταία χρόνια. Για τις περιπτώσεις αυτές, ολοένα και πιο έντονη γίνεται η συζήτηση για μετάβαση σε υβριδικούς σταθμούς, καθώς τα νησιά είναι συχνά απομονωμένα από το εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και βασίζονται σε τοπικές πηγές ενέργειας.

Οι υβριδικοί σταθμοί είναι συστήματα, που συνδυάζουν διαφορετικές πηγές ενέργειας, όπως η αιολική, η ηλιακή και η συμβατική ενέργεια, προκειμένου να παρέχουν μια σταθερή και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό είναι σημαντικό για τα νησιά, καθώς οι τοπικές πηγές ενέργειας είναι συχνά ασταθείς και δεν μπορούν να παρέχουν μια σταθερή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι υβριδικοί σταθμοί μπορούν να προσφέρουν μια σειρά από οφέλη στα νησιά, όπως (ΔΕΔΔΗΕ, 2023):

- Αυξημένη ενεργειακή ασφάλεια: Οι υβριδικοί σταθμοί μπορούν να παρέχουν μια σταθερή και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμα και σε περιόδους χαμηλής παραγωγής από τις τοπικές πηγές ενέργειας. Αυτό είναι σημαντικό για τα νησιά, καθώς δεν είναι συνδεδεμένα με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και δεν μπορούν να βασίζονται σε αυτό για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου: Οι υβριδικοί σταθμοί μπορούν να χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, για

να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό δύναται να συνδράμει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίες είναι σημαντικό πρόβλημα για τα νησιά.

- Οικονομικά οφέλη: Οι υβριδικοί σταθμοί μπορούν να προσφέρουν οικονομικά οφέλη στα νησιά, καθώς μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό συμβαίνει διότι οι υβριδικοί σταθμοί μπορούν να χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες είναι συχνά φθηνότερες από τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Επιπλέον, οι υβριδικοί σταθμοί μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση της ποιότητας ζωής στα νησιά, καθώς μπορούν να παρέχουν μια σταθερή και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμα και σε περιόδους χαμηλής παραγωγής από τις τοπικές πηγές ενέργειας. Από την άλλη μεριά, το κόστος κατασκευής υβριδικών σταθμών στα νησιά είναι μεγάλο και για το λόγο αυτό μια επένδυση, που επιδιώκει να αποδώσει τα μέγιστα οφέλη στα νησιά, τόσο σε οικονομικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο, πρέπει να εξετάζεται. Αυτό είναι και το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας, όπου εξετάζεται η τεχνοοικονομική αξιολόγηση της εγκατάστασης ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια (ΔΕΔΔΗΕ, 2023).

1.2 Πρωτοτυπία της εργασίας

Η παρούσα εργασία μελετά:

- την τεχνολογία και το σχεδιασμό ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος. Παρουσιάζεται μια αναλυτική περιγραφή των τεχνολογιών, που θα χρησιμοποιηθούν στο σύστημα, όπως η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια και η αποθήκευση ενέργειας. Η εργασία εξετάζει, επίσης, το σχεδιασμό του συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της διαστασιολόγησης των σταθμών παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας.
- την επίδραση του συστήματος στην ενεργειακή ασφάλεια του νησιού. Παρουσιάζεται πώς το σύστημα θα βοηθήσει στη μείωση της εξάρτησης της Αστυπάλαιας από τα συμβατικά καύσιμα και στην αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας του νησιού.
- την επίδραση του συστήματος στην οικονομική βιωσιμότητα του νησιού. Παρουσιάζεται πώς το σύστημα θα συμβάλλει στη μείωση του ενεργειακού κόστους από την

ηλεκτροπαραγωγή, μέσω της αύξησης της παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές και της βέλτιστης χρήσης αυτής της παραγωγής μέσω αποθήκευσης και έξυπνης ζήτησης.

Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση προσφέρει μια λεπτομερή εικόνα των δυνατοτήτων και των προκλήσεων της ανάπτυξης αυτόνομων υβριδικών συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε νησιωτικές περιοχές. Επιπλέον, η εργασία βασίζεται σε έρευνα πρωτογενών και δευτερογενών πηγών. Οι πρωτογενείς πηγές περιλαμβάνουν τη συλλογή των πλέον προσφάτων δεδομένων για το νησί, όπως έγιναν διαθέσιμα από τη ΡΑΕ καθώς και από τον ΔΕΔΔΗΕ, που είναι παράλληλα υπεύθυνος για τη λειτουργία του τοπικού δικτύου στο νησί της Αστυπάλαιας. Παράλληλα, λαμβάνονται υπόψη πηγές, που περιλαμβάνουν επιστημονικές δημοσιεύσεις, τεχνικές εκθέσεις και οικονομικές μελέτες για την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ και χρήση αποθηκευτικών συστημάτων για τη βέλτιστη χρήση της ενέργειας. Η χρήση αυτής της πολυεπίπεδης έρευνας ενισχύει την αξιοπιστία των συμπερασμάτων της εργασίας.

Συνολικά, η εργασία είναι πρωτότυπη στα εξής σημεία:

- Εξετάζει ένα συγκεκριμένο νησί, την Αστυπάλαια, και τις συγκεκριμένες ανάγκες του. Αυτό επιτρέπει στην εργασία να παρέχει πιο χρήσιμες πληροφορίες για το σχεδιασμό και την υλοποίηση αυτόνομων υβριδικών συστημάτων σε νησιωτικές περιοχές.
- Δίνει έμφαση στην επίδραση των υβριδικών συστημάτων στην ενεργειακή ασφάλεια και βιωσιμότητα των νησιών. Αυτά είναι δύο σημαντικά ζητήματα για τα νησιά, και η εργασία παρέχει μια λεπτομερή ανάλυση των επιπτώσεων των υβριδικών συστημάτων σε αυτά τα ζητήματα.
- Εξετάζει κατά πόσο τα υβριδικά συστήματα μπορούν να προσφέρουν σημαντικά οφέλη για τα νησιά, όπως η μείωση της εξάρτησης από τα συμβατικά καύσιμα, η αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας και η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτά τα ευρήματα είναι σημαντικά για την προώθηση της ανάπτυξης υβριδικών συστημάτων σε νησιωτικές περιοχές.
- Προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες για το σχεδιασμό και την υλοποίηση αυτόνομων υβριδικών συστημάτων σε νησιωτικές περιοχές.

1.3 Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να αξιολογήσει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της υβριδικής τεχνολογίας, καθώς και την επίδραση του σταθμού στην ενεργειακή ασφάλεια και βιωσιμότητα του νησιού. Ειδικότερα, η εργασία θα εξετάσει τα ακόλουθα θέματα:

- την τεχνολογία και το σχεδιασμό του υβριδικού σταθμού.
- την επίδραση του σταθμού στην ενεργειακή ασφάλεια του νησιού.
- την τεχνοοικονομική αξιολόγηση του σταθμού στην ενεργειακή επάρκεια του νησιού.

Η εργασία αναμένεται να παράσχει συμπεράσματα για την ανάπτυξη υβριδικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε νησιωτικές περιοχές. Τα συμπεράσματα αυτά θα είναι χρήσιμα για την τεχνοοικονομική αξιολόγηση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, εξετάζοντας διαφορετικά σενάρια εξέτασης, ενώ παράλληλα είναι επεκτάσιμη και σε άλλες εγκαταστάσεις σε νησιωτικά συστήματα. Ειδικότερα, τα συμπεράσματα της εργασίας θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην επίτευξη των ακόλουθων στόχων:

- τη μείωση της εξάρτησης των νησιών από τα συμβατικά καύσιμα.
- την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας των νησιών.
- τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την ηλεκτροπαραγωγή.
- την προώθηση της αειφόρου ανάπτυξης των νησιών.

1.4 Δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία, προκειμένου να εξυπηρετήσει τον ανωτέρω σκοπό και να επιτύχει τους στόχους της, δομείται σε τέσσερα κεφάλαια. Το παρόν πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας και αναλύει το πρόβλημα, που εξετάζεται στην παρούσα μελέτη, καθορίζει το πεδίο της ερευνητικής δραστηριότητας, διατυπώνει τους σκοπούς και τους στόχους της παρούσας εργασίας και ορίζει τη δομή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται η βιβλιογραφική ανασκόπηση του υπό μελέτη θέματος. Πιο συγκεκριμένα, κατόπιν εξέτασης της πλέον πρόσφατης βιβλιογραφίας, καταγράφονται αρχικά στοιχεία, που αφορούν τα χαρακτηριστικά υβριδικών ενεργειακών συστημάτων, καθώς και τεχνολογίες, που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους. Επίσης, γίνεται εκτενής αναφορά στην υφιστάμενη νομοθεσία σχετικά με την ενεργειακή κατάσταση στα νησιά και με το πλαίσιο / τις δράσεις για την κατάσταση στην Ευρώπη. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η υπάρχουσα κατάσταση τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα. Σημειώνεται ότι η παρουσίαση γίνεται με έμφαση στην υπάρχουσα κατάσταση, όπου, παρά τις συνεχείς εξαγγελίες, οι επενδύσεις σε υβριδικά συστήματα είναι περιορισμένες και εξακολουθούν να βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η μελέτη περίπτωσης. Πιο συγκεκριμένα, υλοποιείται ο στόχος της παρούσας εργασίας, που είναι η προσομοίωση της λειτουργίας ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια. Λαμβάνει χώρα μια εκτενής παρουσίαση δεδομένων από διαφορετικές πηγές με στόχο να καταδείξει τις διαφορετικές διαστάσεις, που έχει η μελέτη αναφοράς στην Αστυπάλαια. Παράλληλα, η προσομοίωση της μελέτης αναφοράς εξετάζεται με έμφαση στην τεchnοοικονομική αξιολόγηση της εγκατάστασης του αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια. Έπεται το τελευταίο κεφάλαιο, το οποίο περιέχει τα βασικά συμπεράσματα, που προκύπτουν από την παρούσα εργασία.

2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Εισαγωγή

Ο υβριδικοί σταθμοί στα νησιά έχουν μεγάλη σημασία. Οι νησιωτικές κοινότητες αντιμετωπίζουν συχνά προκλήσεις στην ενεργειακή προμήθεια, λόγω του γεγονότος ότι είναι απομονωμένες από το κύριο ηλεκτρικό δίκτυο. Η χρήση υβριδικών συστημάτων, που συνδυάζουν διάφορες πηγές ενέργειας, μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη λύση για την ενεργειακή αυτονομία των νησιών. Επιπλέον, η χρήση υβριδικών σταθμών ενέργειας στα νησιά συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από τις εισαγωγές ενέργειας και τη χρήση ορυκτών καυσίμων, μειώνοντας το κόστος και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τέλος, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα νησιά συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος και στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης. Στο πλαίσιο αυτό η νομοθεσία για τους υβριδικούς σταθμούς στα νησιά είναι ένα σημαντικό θέμα, που θα πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά και στο πλαίσιο της εργασίας αυτής γίνεται μια σύντομη αναφορά στην πρόσφατη ελληνική νομοθεσία.

Οι υβριδικοί σταθμοί ενσωματώνουν συνήθως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ηλιακή και αιολική ενέργεια, με συμπληρωματικές πηγές, όπως η εφεδρική γεννήτρια λειτουργίας ή η αποθήκευση ενέργειας με μπαταρίες. Αυτός ο συνδυασμός παρέχει μια σταθερή και αξιόπιστη πηγή ενέργειας, με τη δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας για τις περιόδους χαμηλής παραγωγής από τις ανανεώσιμες πηγές. Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής γίνεται μια σύντομη αναφορά στις επιμέρους τεχνολογίες, που θα αποτελέσουν αντικείμενο μοντελοποίησης στην επόμενη ενότητα. Τέλος, γίνεται μια σύντομη αναφορά στις προβλεπόμενες εγκαταστάσεις υβριδικών σταθμών στα ελληνικά νησιά, με μια σύντομη αναφορά σε έργα, που είναι ενεργά ήδη στον ελλαδικό χώρο.

2.2 Νομοθεσία σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά

Οι επιλογές της Εθνικής Ενεργειακής Πολιτικής (ΕΕΠ) αλλά και της Ευρωπαϊκής ενεργειακής στρατηγικής αφορούν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε όλους τους τομείς, την προώθηση της χρήσης των ΑΠΕ και συστημάτων αποθήκευσης, την αναβάθμιση δικτύων μεταφοράς και διανομής, την ανάπτυξη κέντρων ελέγχου και «έξυπνων» ενεργειακών συστημάτων. Δεδομένης της ανάγκης να επιταχυνθεί η μετάβαση της ΕΕ προς την καθαρή ενέργεια, η Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001¹ αναθεωρήθηκε το 2018 και έθεσε έναν συνολικό ευρωπαϊκό στόχο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας 32% έως το 2030, περιλαμβάνοντας κανόνες για τη διασφάλιση της απορρόφησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα των μεταφορών και στη θέρμανση και ψύξη. Η Οδηγία θέτει κοινές αρχές και κανόνες για τα προγράμματα στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και το δικαίωμα παραγωγής και κατανάλωσης ανανεώσιμης ενέργειας και δημιουργίας κοινοτήτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Θεσπίζει, επίσης, κανόνες για την άρση των φραγμών, την τόνωση των επενδύσεων και τη μείωση του κόστους στις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και δίνει τη δυνατότητα στους πολίτες και τις επιχειρήσεις να συμμετέχουν στον μετασχηματισμό της καθαρής ενέργειας (Kabouris & Hatziaargyriou, 2006).

Τον Ιούλιο του 2021, η Επιτροπή πρότεινε μια άλλη αναθεώρηση της οδηγίας, αυξάνοντας τον στόχο για το 2030 στο 40% (από 32%), ως μέρος του πακέτου «Fit for 55»². Λιγότερο από ένα χρόνο αργότερα, μετά την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία και την ανάγκη να επιταχυνθεί η ανεξαρτησία της Ε.Ε. από τα ορυκτά καύσιμα, η Επιτροπή πρότεινε την περαιτέρω αύξηση του στόχου στο 45% έως το 2030. Την 30^η Μαρτίου 2023 υπήρξε προσωρινή συμφωνία για δεσμευτικό στόχο τουλάχιστον 42,5% έως το 2030, αλλά με στόχο το 45%³ (ΔΕΔΔΗΕ, 2022). Στο πλαίσιο αυτό και με γνώμονα την ενίσχυση των ΑΠΕ σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει σε εφαρμογή μέτρα προσαρμογής για την ανάπτυξη ΑΠΕ σε νησιά. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε το 2015 απόφαση περί ειδικής κατάστασης στα νησιά, καταρτίζοντας Σχέδιο Δράσης για τα νησιά της ΕΕ, το οποίο θα αποτελεί μέρος ενός ευρύτερου στρατηγικού

¹ <https://shorturl.at/ouS4u>, (09/11/2023).

² <https://shorturl.at/82gCA>, (09/11/2023).

³ <https://shorturl.at/yqb7N>, (09/11/2023).

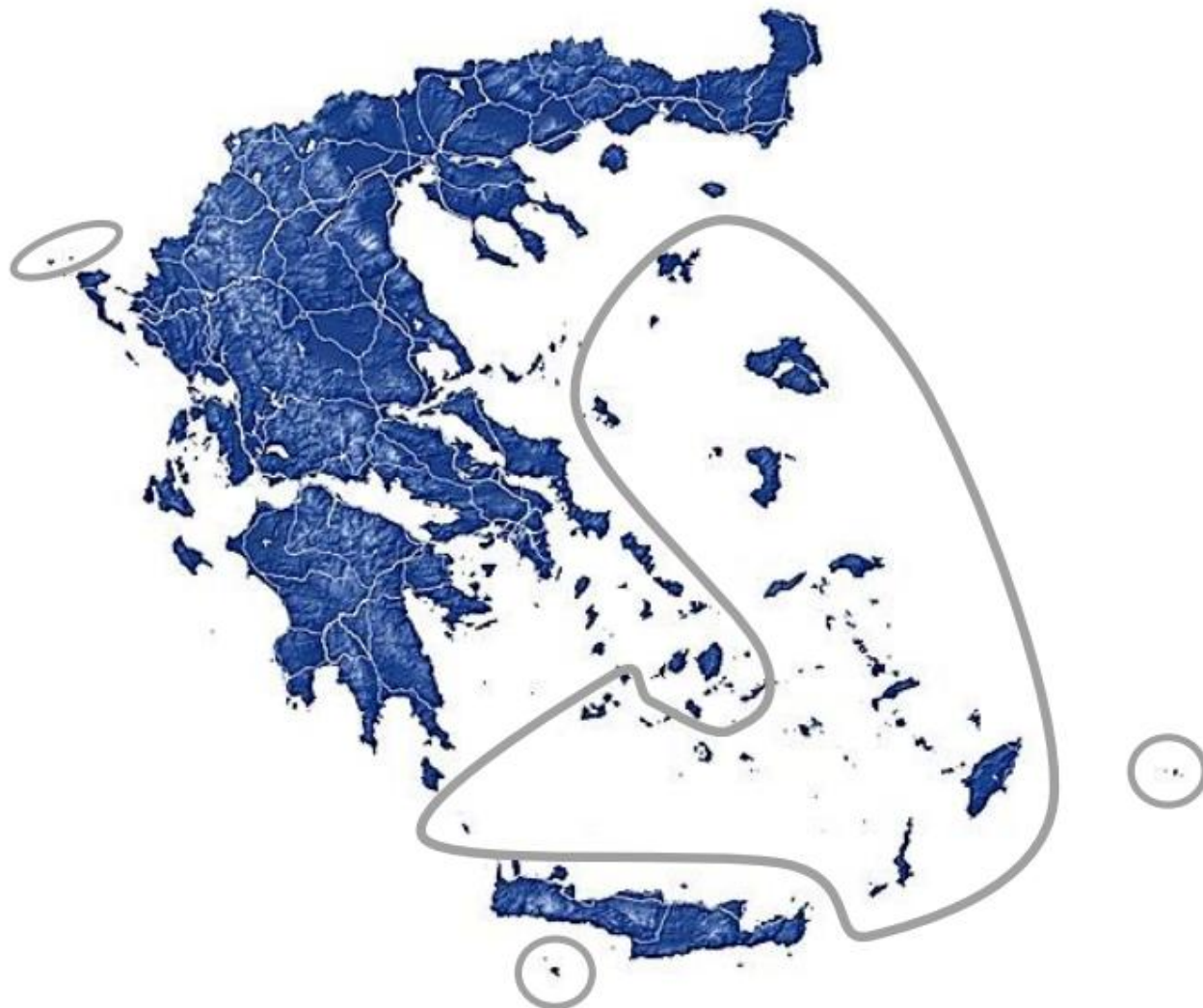
πλαίσιου και θα εξασφαλίζει τους αντίστοιχους χρηματοπιστωτικούς πόρους. Το 2017 υπεγράφη από 14 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής συμφωνία για την ανάπτυξη «Καθαρών Νησιών». Το «Σύμφωνο των Νήσων»⁴ υπογραμμίζει την ευπάθεια των νησιών έναντι της κλιματικής αλλαγής, τονίζει την ανάγκη για ενεργειακή ασφάλεια και τη σημασία της μείωσης της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και τις συμβατικές θερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας μέσω της αύξησης των πηγών καθαρής ενέργειας και της περαιτέρω βελτίωσης και αξιοποίησης των ΑΠΕ. Αυτό καθίσταται δυνατό, υιοθετώντας σύγχρονες καινοτόμες τεχνολογίες, οι οποίες πέραν του περιβαλλοντικού οφέλους μειώνουν και το ενεργειακό κόστος. Τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ) της ελληνικής επικράτειας αποτελούν πολύ καλά παραδείγματα νησιών εφαρμογής του εγχειρήματος αυτού, καθώς αποτελούν ευαίσθητα οικοσυστήματα, των οποίων είναι απαραίτητη η περιβαλλοντική προστασία. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η μείωση των θερμικών μονάδων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και, κατά συνέπεια, η υψηλή διείσδυση των ΑΠΕ με τρόπο που να διασφαλίζει την ενεργειακή τους επάρκεια, με αυτοτελή τρόπο, καθώς τα νησιά αυτά δεν είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο της Ηπειρωτικής Ελλάδας (ΡΑΕ, 2022).

2.3 Υφιστάμενη κατάσταση σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά

Πέρα από το νομοθετικό πλαίσιο, που παρουσιάστηκε ανωτέρω συνοπτικά, γίνεται μια σύντομη εισαγωγή στην υπάρχουσα ελληνική πραγματικότητα σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Η πλειονότητα των νησιών σήμερα, ιδιαίτερα στο Αιγαίο, τροφοδοτείται μέσω αυτόνομων ηλεκτρικών συστημάτων με ηλεκτρική ενέργεια κυρίως από τοπικούς θερμικούς σταθμούς παραγωγής, καταναλώνοντας πετρέλαιο, είτε βαρύ (μαζούτ) είτε ελαφρύ (ντίζελ), και τους σταθμούς ΑΠΕ, είτε αιολικούς είτε φωτοβολταϊκούς. Έως σήμερα δεν υπάρχει σύνδεση των νησιών αυτών με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό σύστημα. Αυτό οφείλονταν κυρίως σε τεχνικές και τεχνολογικές δυσκολίες, που υπήρχαν μέχρι πρότινος. Η αγορά των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών (ΜΔΝ), όπου ο ΔΕΔΔΗΕ είναι υπεύθυνος ως Διαχειριστής των ΜΔΝ, αποτελείται από 28 αυτόνομα δίκτυα, όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 2.1 (ΔΕΔΔΗΕ, 2022).

⁴ <https://shorturl.at/ILb6g>, (09/11/2023).

Σχήμα 2.1: Αγορά των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.



(Πηγή: ΔΕΔΔΗΕ, 2022)

Αποτελούνται από τα κάτωθι δίκτυα (ΔΕΔΔΗΕ, 2022):

- ένα μεγάλο (Ρόδος), το οποίο εμφανίζει αιχμή άνω των 100 MW
- 11 μεσαία, τα οποία εμφανίζουν αιχμή 5 - 100 MW
- 16 μικρά, τα οποία εμφανίζουν αιχμή κάτω από 5 MW

Η εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής στα ΜΔΝ είναι (ΔΕΔΔΗΕ, 2022):

- 30 Θερμικοί Σταθμοί (~933 MW)

- 691 Σταθμοί ΑΠΕ (162,47 MW):
 - 53 Αιολικοί Σταθμοί (108,06 MW)
 - 641 Σταθμοί ΦΒ (51,46 MW)
 - 2 Υβριδικοί Σταθμοί (2,95 MW)
- Αυτοπαραγωγοί (5,84 MW):
 - 959 ΦΒ Στέγης (4,67 MW)
 - 106 ΦΒ net metering (1,17 MW)

Τα δεδομένα ετήσιας παραγωγής για το διάστημα 2018-2021 στα ΜΔΝ παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1 (ΔΕΔΔΗΕ, 2022):

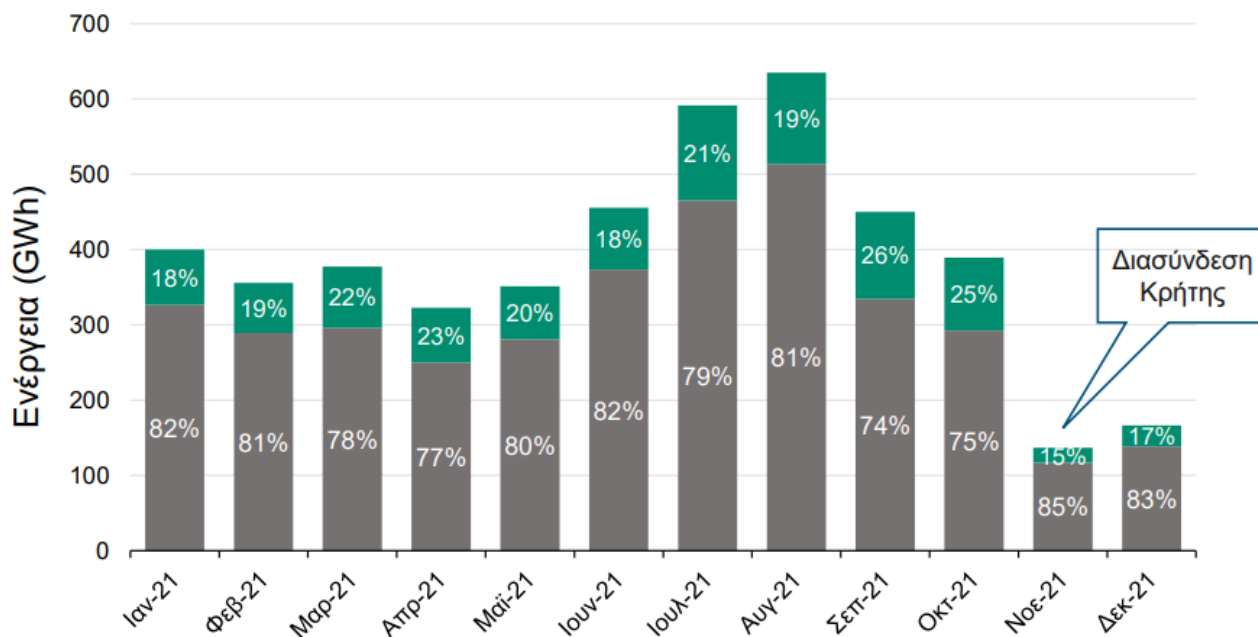
Πίνακας 2.1: Παραγωγή ενέργειας στα ΜΔΝ.

Παραγωγή ενέργειας στα ΜΔΝ	ΘΕΡΜΙΚΗ	ΑΠΕ
	GWh	GWh
2018	4.586,12	986,08
2019	4.594,66	960,76
2020	3.831,72	978,19
2021	3.676,97	954,01

(Πηγή: ΔΕΔΔΗΕ, 2022)

Τα δεδομένα μηνιαίας παραγωγής για το διάστημα 2021 παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.2 (ΔΕΔΔΗΕ, 2022):

Σχήμα 2.2: Δεδομένα για την Μηνιαία Παραγωγή Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.



(Πηγή: ΔΕΔΔΗΕ, 2022)

Για καθένα από τα 28 αυτόνομα δίκτυα ο ΔΕΔΔΗΕ, ως υπεύθυνος διαχειριστής (ΔΕΔΔΗΕ, 2022):

- διαχειρίζεται την παραγωγή ενέργειας στα ΜΔΝ
- προγραμματίζει την ανάπτυξη παραγωγής στα ΜΔΝ
- λειτουργεί και εκκαθαρίζει την αγορά ΜΔΝ
- υλοποιεί τις συναλλαγές με τους συμμετέχοντες στην αγορά ΜΔΝ (προμηθευτές και παραγωγούς)

Προς επίτευξη αυτού ο ΔΕΔΔΗΕ έχει ένα Κεντρικό Σύστημα Εποπτείας (ΚΣΕ), που βρίσκεται στην Αθήνα, στα κεντρικά γραφεία της Διεύθυνσης Διαχείρισης Νησιών / ΔΕΔΔΗΕ. Το ΚΣΕ συνεργάζεται με τα Τοπικά Συστήματα των ΗΣ (ΤΣ-ΗΣ) και το Κέντρο Κατανομής Φορτίου (ΚΚΦ). Οι βασικές λειτουργίες υποδομών βιομηχανικού αυτομάτου ελέγχου και τηλεμετρίας (Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA) στα 28 ΗΣ (ηλεκτρικά συστήματα) των ΜΔΝ αναφέρονται συνοπτικά κάτωθι (ΔΕΔΔΗΕ, 2022):

- σε πραγματικό χρόνο επόπτευση (με διακριτική ανάλυση 1 sec) και συγκέντρωση στοιχείων παραγωγής και διαχείρισης σε βάσεις δεδομένων του ΔΕΔΔΗΕ
- αυτοματοποίηση των διαδικασιών διαχείρισης των ΑΠΕ και ΥΣΠ, χωρίς τη μεσολάβηση ανθρώπινου παράγοντα
- υπολογισμός συνολικής ΦΒ παραγωγής ανά ΗΣ βάσει δειγματοληψίας ΦΒ μετρήσεων και αλγορίθμου αναγωγής (με ρυθμό ανανέωσης τα 60 sec)
- μεγιστοποίηση διείσδυσης των ΑΠΕ και διασφάλιση ασφαλούς τροφοδότησης των ΗΣ
- δηλώσεις διαθεσιμότητας σταθμών ΑΠΕ και θερμικών μονάδων και δηλώσεις παραγωγής ΥΣΠ –προβλέψεις φορτίου και ΑΠΕ– εκπόνηση ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού (ΗΕΠ)
- προγραμματισμός κατανομής και λειτουργία πραγματικού χρόνου
- διαχείριση ΗΣ Ικαρίας παρουσία ΥΣΠ και Αγ. Ευστρατίου, στα πλαίσια του ειδικού πιλοτικού έργου, το οποίο τελεί υπό ανάπτυξη
- ανάπτυξη αντίστοιχων λειτουργιών διαχείρισης των κέντρων ελέγχου σε ΗΣ κατά περίπτωση (Αστυπάλαια, Μεγίστη, Σύμη, κ.ά.)

Παράλληλα υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις στα ΜΔΝ:

- ύπαρξη μοναδικού παραγωγού, ελεγχόμενων μονάδων σε κάθε ΗΣ των ΜΔΝ
- γηρασμένο, κατά κύριο λόγο, παραγωγικό δυναμικό
- συγκεκριμένη διάταξη και ορισμένη δυναμικότητα μονάδων παραγωγής
- εποχικό φορτίο, το οποίο εμφανίζει σημαντική διακύμανση μεταξύ ελάχιστου φορτίου και φορτίου αιχμής
- κάθε σύστημα ΜΔΝ εμφανίζει ιδιαίτερες τεχνικές ανάγκες και δυσκολίες
- τεχνικοί περιορισμοί στην αξιοποίηση των ΑΠΕ, δεδομένης της ανάγκης διαφύλαξης εφεδρικών μονάδων
- δυσκολία εναρμόνισης των (θερμικών και ΑΠΕ) παραγωγών στις νέες συγκυρίες, λόγω τεχνικών και συμβατικών περιστάσεων
- διαρκώς μεταβαλλόμενο θεσμικό και κανονιστικό περιβάλλον

Διαφαίνεται ότι τα συστήματα ΜΑΝ αποτελούν ιδιαίτερες περίπτωσης, που χρήζουν περαιτέρω επενδύσεων για να καμφθούν οι ανωτέρω προκλήσεις. Στο πλαίσιο αυτό υπάρχει ένα εκτενές πλάνο για τη διασύνδεση των αυτόνομων νησιωτικών ηλεκτρικών συστημάτων (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2023). Επιδιώκεται προ του τέλους της παρούσας δεκαετίας να έχει περατωθεί η διασύνδεση των περισσότερων αυτόνομων συστημάτων με το ηπειρωτικό σύστημα, προς εξοικονόμηση εθνικών οικονομικών πόρων, μείωση της ενεργειακής εξάρτησης, διάθεση ενιαίας και υψηλής ποιότητας ηλεκτρικής ενέργειας και υπηρεσιών έναντι όλων των πολιτών, σύγκλιση στην περιβαλλοντική νομοθεσία, καθώς και περαιτέρω αξιοποίηση των εγχώρια διαθέσιμων δυναμικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα οποία υφίστανται στα νησιωτικά συστήματα. Ακόμα και όταν η διασύνδεση μικρών και απομακρυσμένων ηλεκτρικών συστημάτων δεν συνιστά μια τεχνικοοικονομικά αποδοτική επιλογή, λαμβάνουν χώρα καινοτόμες ενεργειακές εφαρμογές στα εν λόγω συστήματα προς ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων και πολιτικών «έξυπνων» νησιών. Επιδιώκεται η διασύνδεση του συνόλου σχεδόν των αυτόνομων ηλεκτρικών συστημάτων μέχρι το 2030. Πιο συγκεκριμένα, σε εξέλιξη βρίσκονται τα παρακάτω έργα (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2023):

- Φάση Δ της διασύνδεσης των Κυκλάδων: Το έργο αφορά στη διασύνδεση των Νοτιοδυτικών Κυκλάδων και ειδικότερα των Νήσων της Θήρας, της Μήλου, της Φολεγάνδρου και της Σερίφου με το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ). Το έργο αναμένεται να ολοκληρωθεί εντός του 2025.
- Φάση II της διασύνδεσης Κρήτης (Κρήτη-Αττική): Το έργο αφορά στη διασύνδεση της Κρήτης με την Αττική, μέσω συνδέσμου συνεχούς ρεύματος, ονομαστικής ικανότητας 2 x 500 MW με VSC (Voltage Source Converters). Το έργο υλοποιείται μέσω της θυγατρικής εταιρείας του ΑΔΜΗΕ, «*ΑΠΙΑΝΗ INTERCONNECTION Α.Ε.Ε.Σ.*»⁵, με εκτιμώμενο χρόνο ολοκλήρωσης το έτος 2024 και έναρξη εμπορικής λειτουργίας το έτος 2025.

Επόμενοι στόχοι νησιωτικών διασυνδέσεων, στους οποίους εστιάζει ο ΑΔΜΗΕ, είναι τα έργα διασύνδεσης των Δωδεκανήσων και της διασύνδεσης των νησιών του Βορειοανατολικού Αιγαίου. Ο προγραμματισμός των εν λόγω έργων προβλέπει (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2023):

⁵ <https://shorturl.at/ecZ9g>, (13/01/2024).

- διασύνδεση των Δωδεκανήσων με το ηπειρωτικό σύστημα: το έργο αφορά τη διασύνδεση με το ΕΣΜΗΕ της ομάδας των Νήσων του Νοτιοανατολικού Αιγαίου, η οποία περιλαμβάνει τα εξής έξι (6) αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα: Κάρπαθος (Κάσος διασύνδεση υπό MT), Ρόδος (Χάλκη διασύνδεση υπό MT), Σύμη, Κως - Κάλυμνος (Ψέριμος, Τέλενδος, Νίσυρος, Τήλος, Λέρος, Λειψοί, Γυαλί διασύνδεση υπό MT), Πάτμος 138 και Αρκιοί (Μαράθι διασύνδεση υπό MT). Το έργο υλοποιείται σε δύο φάσεις, με εκτιμώμενο χρόνο ολοκλήρωσης το έτος 2028.
- διασύνδεση νήσων ΒΑ Αιγαίου με το ηπειρωτικό σύστημα: Το έργο της διασύνδεσης του Βορειοανατολικού Αιγαίου αφορά τη διασύνδεση με το ΕΣΜΗΕ της ομάδας των Νήσων του Βορειοανατολικού Αιγαίου, η οποία περιλαμβάνει τα εξής οκτώ (8) αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα των ΜΔΝ Λήμνου, Άγιου Ευστρατίου, Σκύρου, Λέσβου, Χίου (Ψαρών), Σάμου (Φούρνων - Θύμαινας), Ικαρίας και Αγαθονησίου. Το έργο αποτελεί συνέχεια του έργου διασύνδεσης των Δωδεκανήσων. Θα υλοποιηθεί σε τρεις φάσεις, με εκτιμώμενο χρόνο ολοκλήρωσης το έτος 2029.

2.4 Ανανεώσιμες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

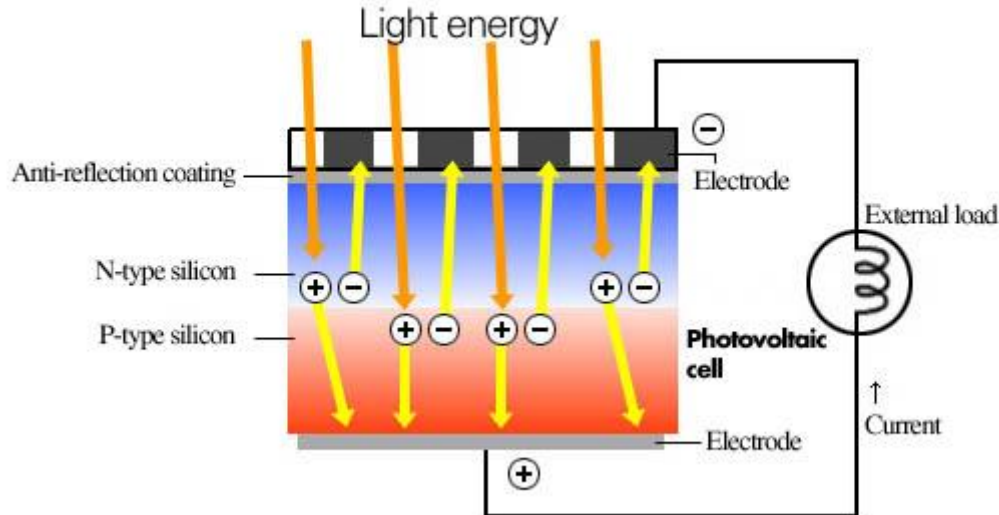
Κατόπιν της συνοπτικής αναφοράς της σχετικής νομοθεσίας, που προηγήθηκε, έπεται μια σύντομη παρουσίαση των επιμέρους τεχνολογιών των Υβριδικών Συστημάτων Παραγωγής (ΥΣΠ), δηλαδή τόσο στα φωτοβολταϊκά και αιολικά συστήματα παραγωγής όσο και τις μονάδες αποθήκευσης.

2.4.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής

Στην παρούσα ενότητα υλοποιείται μια σύντομη εισαγωγή στην τεχνολογία φωτοβολταϊκών. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια περιλαμβάνουν το ηλιακό κύτταρο ως το βασικό τους στοιχείο, το οποίο είναι ένας λεπτός ημιαγωγός, που έχει επεξεργαστεί ειδικά, και τοποθετείται σε μια επίπεδη επιφάνεια. Η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί τη δημιουργία ηλεκτρικής τάσης και, με τη σωστή σύνδεση σε φορτίο, παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Λόγω των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών κάθε κυττάρου, στην πράξη τα ηλιακά κύτταρα συνδέονται μεταξύ τους σειριακά. Ένα ηλιακό κύτταρο πολυκρυσταλλικού τύπου, διαστάσεων δέκα επί δέκα εκατοστών, δύναται να παρέχει υπό κανονικές συνθήκες 1-1,5 Watt ισχύς, ανάλογα με την απόδοση του ηλιακού κυττάρου (Φραγκιαδάκης, 2019).

Σχήμα 2.3: Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

A photovoltaic cell generates electricity when irradiated by sunlight.



(Πηγή: <https://shorturl.at/e89Lr>)

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα συνήθως ομαδοποιούνται, δημιουργώντας φωτοβολταϊκά πλαίσια, που έχουν τυπική ισχύ μεταξύ 20-300 Watt. Οι κυριότεροι τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι οι εξής (Φραγκιαδάκης, 2019):

- Μονοκρυσταλλικού πυριτίου: Τα εν λόγω κύτταρα προκύπτουν από ένα μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο πυριτίου. Χαρακτηρίζονται μεν από υψηλή απόδοση (15-18%) αλλά και υψηλότερο κόστος. Συνήθως, διαθέτουν σχήμα κυκλικό ή σχεδόν κυκλικό και χρώμα βαθύ μπλε ή μαύρο, στην περίπτωση ύπαρξης αντιανακλαστικής επίστρωσης, ή γκρι, στην περίπτωση μη ύπαρξης αντιανακλαστικής επίστρωσης.
- Πολυκρυσταλλικού πυριτίου: Τα εν λόγω κύτταρα είναι μεν φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά, έχουν όμως χαμηλότερη απόδοση (13-16%). Κατασκευάζονται από δίσκους πυριτίου, οι οποίοι κατατμίζονται από τετραγωνισμένες ράβδους πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής τους διακρίνεται από λιγότερη ακρίβεια και μειωμένο κόστος συγκριτικά με τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε, στην περίπτωση ύπαρξης αντιανακλαστικής επίστρωσης, ή γκρι-ασημί, στην περίπτωση μη ύπαρξης αντιανακλαστικής επίστρωσης.

- Άμορφου πυριτίου: Τα εν λόγω κύτταρα συνιστούν την πλέον συνήθη μορφή λεπτών μεμβρανών κυττάρων και χρησιμοποιούνται ευρέως σε ηλεκτρονικές εφαρμογές (λόγου χάρη φορητοί υπολογιστές). Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό στο ότι τα άτομα δεν είναι τοποθετημένα σε συγκεκριμένες αποστάσεις μεταξύ τους, και οι γωνίες των δεσμών τους δεν είναι σταθερές. Ένα σύγχρονο εμπορικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο με άμορφα κύτταρα εμφανίζει απόδοση 6-8%.
- Χαλκοπυριτών (CIGS): Τα εν λόγω κύτταρα συνιστούν μία από τις πλέον υποσχόμενες τεχνολογίες. Κατασκευάζονται σε λεπτές μεμβράνες ως συνδυασμός χαλκού, ινδίου, γαλλίου, και δισεληνίου και εμφανίζουν την υψηλότερη απόδοση κυτταρικών πάνελ λεπτής μεμβράνης (19,9%).

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αξιοποιούν περισσότερο την τεχνολογία του πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, εκτός από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, περιλαμβάνει (Φραγκιαδάκης, 2019):

- τις βάσεις στήριξής τους και, ενδεχομένως, ένα σύστημα ιχνηλάτησης της ηλιακής τροχιάς (sun-tracking),
- το ρυθμιστή τάσης, που ευθύνεται για τη ρύθμιση της τάσης εξόδου από το φωτοβολταϊκό, και συνδικάζεται με ανιχνευτή σημείου μέγιστης ισχύος (Maximum Power Point Tracking, MPPT) του ϕ/β ,
- το μετατροπέα, ο οποίος μετατρέπει το παραγόμενο από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνεχές ρεύμα (DC) σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), προκειμένου να είναι συμβατό με τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών. Ωστόσο, η μετατροπή από DC σε AC συνήθως συνεπάγεται απώλειες, οι οποίες θα μπορούσαν να αποφευχθούν εάν οι ηλεκτρικές συσκευές μπορούσαν να λειτουργήσουν με συνεχές ρεύμα.
- μια συσκευή ελέγχου, που ευθύνεται για τη μέτρηση και την παρακολούθηση.

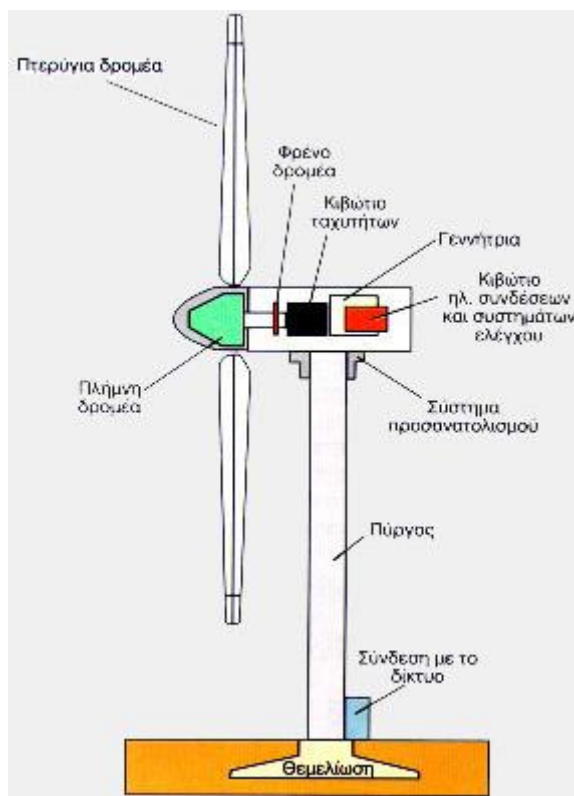
Πιο λεπτομερής αναφορά λαμβάνει στην τρίτη ενότητα, ως μέρος της μοντελοποίησης της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Περαιτέρω ανάλυση των επιμέρους στοιχείων της εγκατάστασης δεν συνιστά αντικείμενο της παρούσας ενότητας.

2.4.2 Συστήματα παραγωγής με ανεμογεννήτριες

Στην ενότητα αυτή συνοπτικά παρουσιάζεται η τεχνολογία συστημάτων παραγωγής με ανεμογεννήτριες, μολοντί δεν θα αποτελέσουν το βασικό αντικείμενο λεπτομερούς εξέτασης στην εργασία, λόγω των περιορισμών εγκατάστασης στο νησί της Αστυπάλαιας. Το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό και κάτ' επέκταση η διαθέσιμη αιολική ενέργεια αξιοποιείται μέσω των ανεμογεννητριών, που εκμεταλλεύονται την κινητική ενέργεια του ανέμου και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται συνήθως σε δύο κύριες κατηγορίες (Καλδέλλης, 2005):

- Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα: Σε αυτές, ο ρότορας του άξονα και η ηλεκτρική γεννήτρια τοποθετούνται στην κορυφή ενός πύργου και στρέφονται προς την κατεύθυνση του ανέμου. Συνήθως έχουν τρία πετρώγια και προσφέρουν καλή αξιοπιστία λόγω της χαμηλής κυμάτωσης της ροπής. Αυτός είναι ο συνηθισμένος τύπος λόγω της υψηλής απόδοσης.

Σχήμα 2.4: Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα.



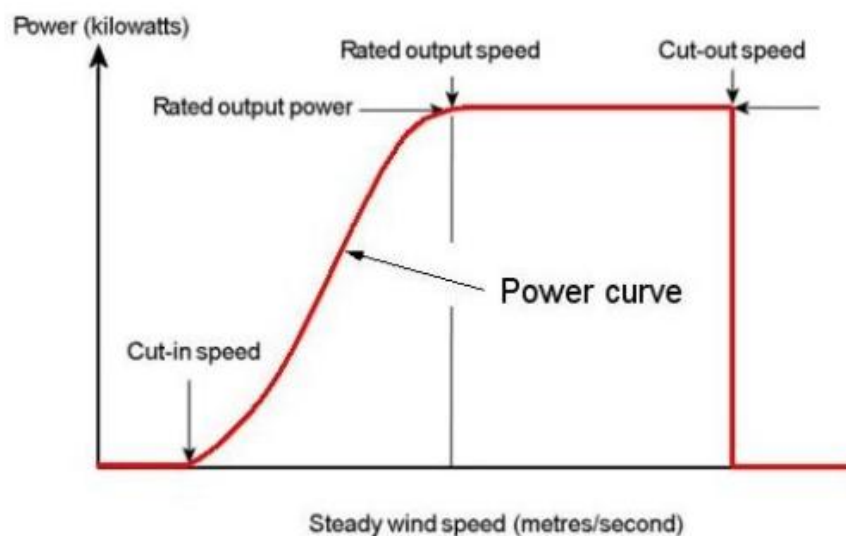
(Πηγή: <https://tinyurl.com/uwussprj>)

- Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα: Σε αυτές, ο ρότορας τοποθετείται κάθετα στο έδαφος και δεν χρειάζεται να στραφεί προς την κατεύθυνση του ανέμου για να παράγει ενέργεια. Αυτό τις καθιστά πιο αποδοτικές σε περιοχές με αστάθεια στους ανέμους, καθώς περιστρέφονται κατά 360°. Ωστόσο, παράγουν λιγότερη ενέργεια με την πάροδο του χρόνου.

Η ανεμογεννήτρια, που συνιστά το ένα τρίτο του όλου κόστους, περιλαμβάνει τη γεννήτρια, τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου καθώς και κιβώτιο ταχυτήτων, τα οποία μετατρέπουν την χαμηλή ταχύτητα περιστροφής σε υψηλή, προκειμένου να παραχθεί ενέργεια. Οι επιλογές υλικών περιλαμβάνουν σύνθετα υλικά με υψηλή ακαμψία, αντοχή, αντίσταση στην κόπωση και χαμηλό βάρος, όπως πολυεστέρα για τα εξαρτήματα καθώς και γυάλινες ίνες και ίνες άνθρακα για ενίσχυση (Ackermann, 2000).

Ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά, σημαντική είναι η καμπύλη ισχύος, που δείχνει τη σχέση μεταξύ της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και της ταχύτητας του ανέμου. Συμπεριλαμβάνει τρεις ταχύτητες: την ταχύτητα εισόδου, όπου αρχίζει η παραγωγή ενέργειας, την ονομαστική ταχύτητα, όπου παράγεται η ονομαστική ισχύς, και την ταχύτητα εξόδου, όπου διακόπτεται η λειτουργία για λόγους ασφαλείας (Ackermann, 2000). Μια ενδεικτική καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.5.

Σχήμα 2.5: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας.



(Πηγή: <https://tinyurl.com/mtzb7n2b>)

Τέλος, ο συντελεστής ισχύος C πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της καμπύλης ισχύος και υπολογίζεται ως το πηλίκο της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την εισερχόμενη ενέργεια του ανέμου. Συνιστά τον αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης πτερωτής, με μέγιστο όριο $C=0,593$. Στην πράξη, για τις ανάγκες καλής σχεδίασης υιοθετείται $C=0,35$ (Ackermann, 2000; Carriveau, 2011).

2.4.3 Συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Στην παρούσα ενότητα συνοπτικά παρουσιάζονται και συγκρίνονται οι σύγχρονες τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμβάλλουν σημαντικά στην ενίσχυση του βαθμού διείσδυσης και ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, καθώς και στην αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων συνεργασίας με το αντίστοιχο ηλεκτρικό δίκτυο. Αποτελούν σημαντικό στοιχείο κάθε έξυπνου δικτύου. Η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τα εξής (Ανδρίτσος, 2008; Μάντζαρης & Χριστοπούλου, 2020):

- εξασφάλιση συνεχούς παροχής ηλεκτρικής ενέργειας
- βελτίωση της ποιότητας παρεχόμενης ενέργειας, όπως η σταθερότητα της συχνότητας και της τάσης
- εξοικονόμηση καυσίμου, μέσω της βέλτιστης λειτουργίας θερμικών μονάδων
- μείωση κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- αντικατάσταση νέων θερμικών εγκαταστάσεων
- εξομάλυνση ενεργειακής παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- συνδυασμός παραγωγής και ζήτησης ενέργειας
- ενίσχυση ενεργειακής αυτονομίας
- βέλτιστη διαχείριση ενέργειας και ορθολογική χρήση διαθέσιμων πηγών.

Οι μονάδες αποθήκευσης βρίσκουν πεδίο εφαρμογής σε όλα τα επίπεδα του ηλεκτρικού δικτύου. Στον τομέα της παραγωγής, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιούνται ως (Ανδρίτσος, 2008; Μάντζαρης & Χριστοπούλου, 2020):

- γρήγορες εφεδρικές μονάδες προς άμεση ικανοποίηση της ζήτησης, ακόμη και σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας μιας εκ των μονάδων παραγωγής
- μονάδες επίβλεψης της συχνότητας και ελέγχου μεταφοράς ισχύος εντός του δικτύου της περιοχής
- μονάδες αποθήκευσης ενέργειας με χαμηλό κόστος, την οποία αποδίδουν σε περιόδους υψηλής ζήτησης, όπως τα νυχτερινά τιμολόγια.

Στον τομέα της μεταφοράς - διανομής, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιούνται προς (Ανδρίτσος, 2008; Μάντζαρης & Χριστοπούλου, 2020):

- συγχρονισμό όλων των τμημάτων, που συνιστούν τη γραμμή μεταφοράς
- αποφυγή προβλημάτων λειτουργίας του συστήματος
- έλεγχο της μεταφερόμενης τάσης, προκειμένου αυτή να διατηρηθεί εντός των θεωρητικά αποδεκτών ορίων
- αντιμετώπιση της ανάγκης ενίσχυσης του δικτύου με την εγκατάσταση νέων γραμμών μεταφοράς και την εγκατάσταση νέων μετασχηματιστών, όταν το υφιστάμενο παραγωγικό δυναμικό δεν επαρκεί για τις απαιτήσεις κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στον τομέα του τελικού καταναλωτή, τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιούνται προς (Ανδρίτσος, 2008; Μάντζαρης & Χριστοπούλου, 2020):

- διαχείριση της ενέργειας, η οποία παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, επιδιώκοντας τον έλεγχο του προφίλ ζήτησης
- βαθμιαία μείωση του μέγιστου φορτίου κατανάλωσης, επιδιώκοντας αντίστοιχη μείωση χρέωσης των τιμολογίων των παραγωγών
- ενίσχυση της αξιοπιστίας και της ποιότητας του παρεχόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, επιδιώκοντας τη μείωση της έντασης των αυξομειώσεων της τάσης.

Λόγω του μεγάλου εύρους εφαρμογών, τα επιμέρους τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε συστήματος αποθήκευσης καθορίζουν το αντίστοιχο πεδίο χρήσης τους. Παράγοντες εξέτασης σε μια μονάδα αποθήκευσης συνιστούν (Μάντζαρης & Χριστοπούλου, 2020):

- χρόνος εκφόρτισης: διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας αποδίδουν την ενέργεια σε διαφορετικούς χρόνους· μερικές φορές σε λίγα δευτερόλεπτα, άλλες σε περισσότερο από μία ώρα ή ακόμα και σε ημέρες. Ο χρόνος εκφόρτισης δύναται να επηρεάσει διαφορετικά τόσο το δίκτυο όσο και την παραγωγή, τη μεταφορά, τη διανομή και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.
- λόγος ισχύος προς ενέργεια (power-to-energy ratio): προσδιορίζει τον ονομαστικό χρόνο κύκλου αποθήκευσης του συστήματος και δίνει μια ένδειξη της συχνότητας του κύκλου φόρτισης/εκφόρτισης⁶.
- πλήρης κύκλος (round-trip): καθορίζει την αποδοτικότητα ενός συστήματος, η οποία μπορεί να περιοριστεί λόγω απωλειών από την αυτοεκφόρτιση, που εκφράζεται ως ποσοστό της ημερήσιας ενέργειας που χάνεται.

Ειδική ενέργεια (specific energy, kWh/kg), ενεργειακή πυκνότητα (energy density, kWh/l) και πυκνότητα ισχύος (power density, kW/l) διαμορφώνουν μια συνιστώσα παραμέτρων, όπου συνδυαστικά με τα ζητήματα ασφάλειας και περιβαλλοντικών επιπτώσεων, δύναται σε ορισμένες περιπτώσεις να περιορίσουν την αξιοποίηση ορισμένων συστημάτων αποθήκευσης, διαμορφώνοντας μια σύνθετη κατάσταση αδειοδότησης και εγκατάστασης. Σημειώνεται, επίσης, ότι η αποδοτικότητα ενός συστήματος αυξάνεται όσο αυξάνεται η συχνότητα της φόρτισης / εκφόρτισης (Μάντζαρης & Χριστοπούλου, 2020).

Κατόπιν παρουσίασης κάποιων βασικών στοιχείων επί των ανωτέρω ανανεώσιμων πηγών καθώς και στοιχείων αξιοποίησής τους, ακολούθως παρουσιάζονται βασικές αρχές λειτουργίας των υβριδικών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

⁶ Λόγου χάρη, συσκευή χωρητικότητας αποθήκευσης 48 MWh, η οποία φορτίζει με 8 MW, έχει χρόνο φόρτισης 6 ώρες. Η ίδια συσκευή χρειάζεται μισή ώρα φόρτισης για 4 MWh ενέργειας.

2.5 Υβριδικά ενεργειακά συστήματα στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά

2.5.1 Χαρακτηριστικά

Στην παρούσα ενότητα γίνεται μια σύντομη αναφορά στα χαρακτηριστικά υβριδικών ενεργειακών συστημάτων. Η στοχαστικότητα των ΑΠΕ συνιστά περιοριστικό παράγοντα μεμονωμένης εφαρμογής τους σε αυτόνομα ενεργειακά συστήματα, όπως είναι τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά. Τα υβριδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δύναται να αξιοποιήσουν δύο ή περισσότερες μορφές ενεργειακών συστημάτων. Διαμορφώνονται, κατά περίπτωση, από ένα μείγμα ορυκτών καυσίμων και ΑΠΕ, συνδυάζοντας κάποια τεχνολογία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι οι συσσωρευτές ή τα συστήματα υδρογόνου. Ο παραπάνω συνδυασμός επιτυγχάνει περιορισμό κόστους παραγωγής ενέργειας (σε σχέση με ένα σύστημα ορυκτών καυσίμων) και συνεχή τροφοδοσία των συστημάτων ενέργειας (Papaefthimiou et al., 2009; Zohuri, 2018).

Τα υβριδικά συστήματα παρέχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία συγκριτικά με τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε αυτόνομη λειτουργία. Τα υβριδικά συστήματα δύναται να αξιοποιηθούν αποδοτικά σε απομακρυσμένες και αγροτικές περιοχές. Αντίστοιχα και εδώ, συμβατικοί ενεργειακοί πόροι και συστήματα αποθήκευσης αξιοποιούνται εφεδρικά προς εξασφάλιση της ικανοποίησης των ενεργειακών αναγκών, αν και όταν οι ανανεώσιμοι πόροι δεν είναι επαρκώς διαθέσιμοι. Ενδεχόμενη περίσσεια παραγόμενης ενέργειας των συστημάτων ΑΠΕ δύναται να αποθηκευτεί στα συστήματα αποθήκευσης προς κατανάλωση σε μέλλοντα χρόνο, εξασφαλίζοντας έτσι μεγαλύτερη απορρόφηση της παραγωγής από τις ΑΠΕ (Papaefthimiou et al., 2009; Zohuri, 2018).

Τα διασυνδεδεμένα υβριδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δύναται, επιπλέον, να αξιοποιηθούν σε εγκαταστάσεις ειδικών απαιτήσεων, όπως είναι τα νοσοκομεία και τα εργοστάσια με κρίσιμα φορτία. Πέρα από την ασφάλεια παροχής ενέργειας, τα υβριδικά συστήματα παραγωγής εμφανίζουν βελτιωμένη οικονομική απόδοση σε σχέση με τα αμιγώς συστήματα ΑΠΕ. Όταν οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο είναι χαμηλές, το σύστημα καλύπτει το φορτίο από το δίκτυο και φορτίζει τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές. Κατά τις περιόδους, στις οποίες οι τιμές ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο είναι υψηλές, το σύστημα καλύπτει το φορτίο με ιδίους πόρους (από τις μονάδες αποθήκευσης),

ενώ δύναται να πουλά την περίσσεια ενέργειας στο δίκτυο (Papaefthimiou et al., 2009; Zohuri, 2018).

Ανακεφαλαιώνοντας, η εγκατάσταση υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζει πλεονεκτήματα όπως: (α) η αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, (β) εξασφάλιση πρόσβασης σε ηλεκτρική ενέργεια απομακρυσμένων και αγροτικών περιοχών, (γ) η μείωση του κόστους ενέργειας (Cost of Energy, COE;), (γ) η μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κ.α. Αυτά τα πλεονεκτήματα αποτελούν βασική παράμετρο για περαιτέρω επενδύσεις και προώθηση εγκατάστασης υβριδικών ενεργειακών συστημάτων παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

2.5.2 Νομοθεσία

Τα ΜΔΝ της χώρας συνιστούν ευαίσθητα οικοσυστήματα, η περιβαλλοντική προστασία των οποίων καθίσταται απαραίτητη. Επομένως, απαιτείται ο περιορισμός των θερμικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και, άρα, η μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ, προς διασφάλιση της ενεργειακής τους επάρκειας, υπό τρόπο αυτοτελή, δεδομένου ότι τα νησιά αυτά δεν συνδέονται με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο. Υπό αυτό το πρίσμα εισάγεται και η νομοθεσία περί εγκατάστασης υβριδικών σταθμών. Ήδη από το Νόμο 3468/2006⁷ ορίζονται ως υβριδικοί οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που χρησιμοποιούν τουλάχιστον μια ΑΠΕ και διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Μεταξύ άλλων στο ίδιο νομοθέτημα ορίζονται ως υβριδικοί σταθμοί εκείνοι όπου:

- η μέγιστη ισχύς, που προέρχεται από ΑΠΕ του σταθμού, πρέπει να είναι μικρότερη του 120% της ισχύος των συστημάτων αποθήκευσης του σταθμού
- η συνολική ενέργεια απορρόφησης από το δίκτυο, δεν υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας σε ετήσια βάση
- ορίζονται ρητώς οι όροι πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από τον υβριδικό σταθμό στο Διαχειριστή Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, καθώς και οι όροι της απορρόφησης από το δίκτυο.

Στο πλαίσιο αυτό, η διαχείριση των υβριδικών σταθμών υλοποιείται με τέτοιον τρόπο, προκειμένου να αποδίδεται η αποθηκευμένη τους ενέργεια σε περιπτώσεις υψηλού φορτίου ή

⁷ <https://tinyurl.com/3n5hu72w>, (02/12/2023).

αιχμής και να απορροφάται ενέργεια από το ηλεκτρικό σύστημα προς αποθήκευση όταν υπάρχει χαμηλή ζήτηση. Σε συνέχεια αυτού του νόμου, με τον Ν. 4414/2016⁸ ορίζονται οι διατάξεις λειτουργικής ενίσχυσης των έργων. Πιο συγκεκριμένα, στο άρθρο 21 αυτού ορίζονται οι λεπτομέρειες χρηματοδότης των έργων και, στο πλαίσιο αυτής της ρύθμισης, υπάρχει ενεργό ενδιαφέρον για επενδύσεις στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά. Από το 2016 ξεκινά η υλοποίηση έργων υβριδικών σταθμών στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, όπως παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

Από το 2016 μέχρι και σήμερα, νεότερες νομοθετικές παρεμβάσεις ορίζουν λεπτομέρειες εγκατάστασης των ΥΣΠ στα ΜΔΝ, τόσο χρηματοδοτικές όσο και τεχνικές, λαμβάνοντας υπόψη τη διασύνδεση των νησιών, το μέγεθος αυτών κ.α., με πιο σημαντικές αναθεωρήσεις το Ν. 5037/2023⁹, όπου ορίζονται μια σειρά άρθρων προς αντικατάσταση του άρθρου 21 Ν. 4414/2016.

Συνοπτικά:

- θεσπίζεται ειδικό πλαίσιο καθεστώτος λειτουργικής ενίσχυσης για τη σύναψη Σύμβασης Λειτουργικής Ενίσχυσης (ΣΛΕ) για υβριδικούς σταθμούς (ΥΒΣ) στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά. Οι ΥΣΠ, οι οποίοι, κατά την 1η Μαρτίου 2023, δεν έχουν συνάψει ΣΛΕ, ούτε έχουν εκκινήσει διαδικασίες κατασκευής, με εξαίρεση τις αναγκαίες μελέτες και ενέργειες για την αδειοδότησή τους και την απόκτηση της νόμιμης κατοχής του χώρου εγκατάστασης, λαμβάνουν χρηματοδότηση ως αποτέλεσμα ανταγωνιστικής διαδικασίας.
- προστίθεται άρθρο 21Α, ορίζοντας την λειτουργική ενίσχυση ανά νησί της Ελλάδος (πρώτη κατηγορία: Μεγίστη, Αντικύθηρα, Γαύδος, Ερεικούσσα και Οθωνοί, δεύτερη κατηγορία: Κρήτη, τρίτη κατηγορία: ΥΒΣ στα ΜΔΝ, που δεν εντάσσονται στα μέτρα των παρ. 1 και 2 του παρόντος νόμου.
- προστίθεται άρθρο 21Β, ορίζοντας λεπτομέρειες για τη διαγωνιστική διαδικασία.
- προσθήκη άρθρου 21Γ στο Ν. 4414/2016, ορίζοντας ζητήματα αδειοδότησης ΥΒΣ.
- προσθήκη άρθρου 21Δ στο Ν. 4414/2016, ορίζοντας ζητήματα επενδυτικών ενισχύσεων των ΥΒΣ.

⁸ <https://tinyurl.com/2bxhdvzd>, (14/01/2024).

⁹ <https://tinyurl.com/yc85zzyx>, (14/01/2024).

Πέραν των επενδυτικών ζητημάτων επί ΥΒΣ, στο πλαίσιο της νομοθετικής διαδικασίας ορίζονται και τεχνικές προδιαγραφές αυτών, όπως τα όρια διασύνδεσης σταθμών στα ΜΔΝ. Η ΡΑΑΕΥ (Ρυθμιστική Αρχή Αποβλήτων, Ενέργειας και Υδάτων), στο πλαίσιο των αρμοδιοτήτων της, εξέδωσε την υπ' αριθ. Ε-74/2023 (ΡΑΑΕΥ), 2023) απόφαση, η οποία προσδιορίζει τα περιθώρια ανάπτυξης ισχύος σταθμών ΑΠΕ και ΥΣΠ ανά αυτόνομο ΗΣ των ΜΔΝ, στις περιπτώσεις μη ύπαρξης εγκεκριμένων περιθωρίων, και στην επικαιροποίηση αυτών, που έχουν ήδη εγκριθεί δυνάμει της υπ' αριθ. 616/2016 απόφασης της αρχής, καθώς και στον προσδιορισμό των καμπυλών Μη Εντασσόμενης Ενέργειας (ΜΕΕ) των ελεγχόμενων σταθμών παραγωγής (ΥΣΠ). Πιο συγκεκριμένα, τα περιθώρια ελεγχόμενων σταθμών παραγωγής (ΥΣΠ και Σταθμοί Βιομάζας – Βιοαερίου, ΣΒΒJ) στα ΜΔΝ ορίζονται στον Πίνακα 2.3 (ΡΑΑΕΥ, 2023).

Πίνακας 2.2: Δεδομένα για την εγκατάσταση ΥΣΠ σε ΜΔΝ.

Α/Α	Σύστημα ΜΔΝ		Ελεγχόμενοι Σταθμοί παραγωγής (kW)	
			ΥΒΣ (ΥΒΣ _{max})	ΣΒΒ _{ελ}
1		Αγ. Ευστράτιος	*	
2		Αγαθονήσι	**	0
3		Αμοργός	1.300	0
4		Ανάφη	**	0
5		Αντικύθηρα	0 ⁽¹⁾	0
6		Αρκιοί	**	0
7		Αστυπάλαια	***	0
8		Γαύδος	****	0
9		Δονούσα	**	0
10		Ερεϊκούσσα	****	0
11	Σύμπλ.	Θήρα, Θηρασιά	8.000	818
12		Ικαρία	2.550	0
13	Σύμπλ.	Κάρπαθος, Κάσος	1.600 ⁽²⁾	
14		Κύθνος	650	0
15	Σύμπλ.	Κως, Κάλυμνος, Λέρος, Τέλενδος, Ψέριμος, Γυαλί, Νίσυρος, Τήλος, Δειψοί	11.000	5.000 ⁽³⁾
16		Λέσβος	*****	
17		Λήμνος	2.700	430
18		Μεγίστη	****	
19	Σύμπλ.	Μήλος, Κίμωλος	*****	
20		Οθωνοί	****	0
21		Πάτμος	750	0
22	Σύμπλ.	Σάμος, Φούρνοι, Θύμαινα	5.000	1.000
23		Σέριφος	1.300	0
24		Σίφνος	2.150	108
25		Σκύρος	1.700	100
26		Σύμη	600	0
27	Σύμπλ.	Χίος, Οινούσες, Ψαρά	11.000	1.231
28	Σύμπλ.	Ρόδος, Χάλκη	20.000	5.000

(Πηγή: ΡΑΑΕΥ, 2023)

Σημειώνεται και η ιδιαίτερη αναφορά στα υβριδικά συστήματα στο νέο Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), που αποτελεί το οικείο σχέδιο πολιτικής για τα επόμενα χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, τονίζεται σε αυτό η ανάγκη περαιτέρω απανθρακοποίησης των νησιών, με το πρόγραμμα GR-eco Islands (2020), που επιδιώκει τη μετατροπή τους σε πρότυπα πράσινης οικονομίας και ενεργειακής αυτάρκειας. Το πρόγραμμα ξεκίνησε αρχικά από τα νησιά Τήλο, Άγ. Ευστράτιο, Αστυπάλαια και Χάλκη (λεπτομέρειες για τους σταθμούς στα εν λόγω νησιά δίνονται στην επόμενη ενότητα) και σκοπός είναι να διευρυνθεί σε 36 ακόμη μικρά νησιά: Σύμη, Αγαθονήσι, Μεγίστη, Αρκιοί, Μαράθι, Κάσος, Ψέριμος, Γυαλί, Λειψοί, Τέλενδος, Νίσυρος, Μεγαλονήσι, Οινούσες, Ψαρά, Φούρνοι, Θύμαινα, Αμοργός, Ανάφη, Δονούσα, Ηρακλεία, Αντίπαρος, Σχοινούσα, Ίος, Σίκινος, Κουφονήσι, Φολέγανδρος, Θηρασία, Κύθνος, Κίμωλος, Σέριφος, Σίφνος, Κέα, Αντικύθηρα, Γαύδος, Ερεϊκούσσα και Οθωνοί. Το πρόγραμμα υποστηρίζεται με 100 εκατ. ευρώ από το ΕΣΠΑ 2021-2027¹⁰, ενώ επιδιώκεται η ενίσχυσή του με πόρους και από το Ταμείο Απανθρακοποίησης. Παράλληλα, δρομολογείται αξιοποίηση συνολικών πόρων άνω των 2 δισ. ευρώ στο πλαίσιο αξιοποίησης αδιάθετων δικαιωμάτων ρύπων 25 εκατ. τόνων της περιόδου 2013-2020. Η χώρα μας επέτυχε ευμενή προσέγγιση κατά την αναθεώρηση της Οδηγίας (ΕΕ) 2018/410¹¹, βάσει της οποίας έλαβαν χώρα θεσμικές τροποποιήσεις στο Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών Αερίου Θερμοκηπίου (EU Emissions Trading System, ETS), επιτυγχάνοντας δωρεάν δικαιώματα εκπομπών CO₂ στο πλαίσιο απανθρακοποίησης των νησιών, που όμως θα πρέπει να αξιοποιηθούν στο διάστημα 2021-2030. Υπό τις υφιστάμενες τιμές CO₂ (80-88€/τόνος), τα εν λόγω δικαιώματα κοστολογούνται σε 2-2,2 δισ. ευρώ. Η Ελλάδα, ισχυριζόμενη τη σχετική ρύθμιση το 2021, αιτήθηκε σχετικά στην Κομισιόν, λαμβάνοντας την κατ' αρχήν έγκρισή της, οπότε και συστάθηκε το Ταμείο Απανθρακοποίησης προς διαχείριση των πόρων από τις δημοπρασίες των αδιάθετων δικαιωμάτων CO₂ (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2023).

Η εγκατάσταση υβριδικών συστημάτων στα 28 αυτόνομα νησιωτικά συστήματα και στο ασθενώς διασυνδεδεμένο σύστημα της Κρήτης προωθείται και, πιο συγκεκριμένα, προβλέπεται αρχικά η ενσωμάτωση υβριδικών σταθμών, εγγυημένης ισχύος 240 MW έως το έτος 2026. Υβριδικοί σταθμοί συνολικής εγγυημένης ισχύος 120 MW θα εγκατασταθούν σε μη διασυνδεδεμένα νησιά, όπως η Ερεϊκούσσα, η Ρόδος, η Γαύδος, η Λέσβος, η Κως, τα Αντικύθηρα,

¹⁰ <https://tinyurl.com/ycyykve>, (14/01/2024).

¹¹ <https://tinyurl.com/493khczw>, (10/02/2024).

η Μεγίστη, κ.α.. Οι υπόλοιποι ΥΒΣ, συνολικής εγγυημένης ισχύος 120 MW, προγραμματίζεται να αναπτυχθούν στην Κρήτη, περιλαμβάνοντας συστήματα (εγγυημένης ισχύος έως και 50 MW) αντλησιοταμίευσης με αιολικούς σταθμούς, ΥΒΣ, αποτελούμενους από συσσωρευτές με αιολικούς σταθμούς και ΥΒΣ με φωτοβολταϊκούς σταθμούς (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2023). Ειδικά αναφορικά με την Κρήτη, στο τέλος του 2023 ελήφθη απόφαση ανάπτυξης ΥΒΣ στην Κρήτη, συνολικής εγγυημένης ισχύος έως 120 MW, όπου προωθούνται τρία έργα, συνολικής ισχύος 84,45 MW, τα οποία βρίσκονται σε ώριμο αδειοδοτικά στάδιο. Η εν λόγω εισήγηση δεν δύναται να υπερβαίνει την ορισμένη μέγιστη τιμή προσφορών ανά τεχνολογία / κατηγορία σταθμών ως ακολούθως:

- για ΥΒΣ με μονάδες ΑΠΕ, αιολικούς σταθμούς και αποθηκευτικό σύστημα αντλησιοταμίευσης, τα 148 €/MWh εγγεώμενης στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας,
- για ΥΒΣ με μονάδες ΑΠΕ, αιολικούς σταθμούς και αποθηκευτικό σύστημα μπαταριών, τα 117 €/MWh εγγεώμενης στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας,
- για ΥΒΣ με μονάδες ΑΠΕ, φωτοβολταϊκούς σταθμούς και αποθηκευτικό σύστημα μπαταριών, τα 133 €/MWh εγγεώμενης στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ανωτέρω σύντομη επισκόπηση συνιστά το νομικό πλαίσιο, που διέπει τα υβριδικά ενεργειακά συστήματα στα ΜΔΝ. Στην επόμενη ενότητα γίνεται αναφορά στην υφιστάμενη κατάσταση στον ελληνικό χώρο, με παρουσίαση των βασικών τεχνολογιών, που αποτελούν μέρος των ΥΣΠ.

2.5.3 Υβριδικά ενεργειακά συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά

Στην ενότητα αυτή γίνεται μια σύντομη αναφορά στις προβλεπόμενες εγκαταστάσεις υβριδικών σταθμών στα ελληνικά νησιά, σημειώνοντας έργα που είναι ενεργά ήδη στον ελλαδικό χώρο. Ξεκινώντας από την τελευταία κατηγορία, παρουσιάζονται αρχικά οι σταθμοί σε μη διασυνδεδεμένα νησιά.

2.5.3.1 Υβριδικός σταθμός Τήλου

Ο Υβριδικός Σταθμός Τήλου¹² είναι ο πρώτος σε λειτουργία υβριδικός σταθμός στην Ελλάδα (2019). Ο σταθμός αναπτύχθηκε από την εταιρεία Eunice¹³ σε συνεργασία με το Διαχειριστή ΜΑΝ (ΔΕΔΔΗΕ) και άλλους εταίρους ως μέρος ενός ευρωπαϊκού προγράμματος (Tilos Project – Technology Innovation for the Local Scale, Optimum Integration of Battery Energy Storage¹⁴) και αποτελείται από τα εξής (EU CORDIS, 2015; Notton, 2017):

- ένα αιολικό πάρκο, ονομαστικής ισχύος 800kW στη θέση «Παχύ».
- ένα φωτοβολταϊκό σταθμό, ονομαστικής ισχύος 160kW στη θέση «Άγιος Κωνσταντίνος».
- έναν σταθμό αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, που αποτελείται από δύο συστοιχίες μετατροπέων-συσσωρευτών, ονομαστικής ισχύος 800kW και ονομαστικής χωρητικότητας 2.880kWh, επίσης, στη θέση «Παχύ».
- συστήματα ελέγχου και διαχείρισης.

Ο σταθμός έχει σχεδιαστεί για να παρέχει σταθερή και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στην Τήλο, ένα νησί που δεν είναι συνδεδεμένο με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Λειτουργεί ως εξής) (Notton, 2017):

- Το αιολικό πάρκο και ο φωτοβολταϊκός σταθμός παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.
- Η ηλεκτρική ενέργεια από το αιολικό πάρκο και το φωτοβολταϊκό σταθμό αποθηκεύεται στους συσσωρευτές.

¹² <https://tinyurl.com/3xjc66uv>, (09/11/2023).

¹³ <https://tinyurl.com/3js2svmy>, (09/11/2023).

¹⁴ <https://tinyurl.com/c8mxm9t2>, (09/11/2023).

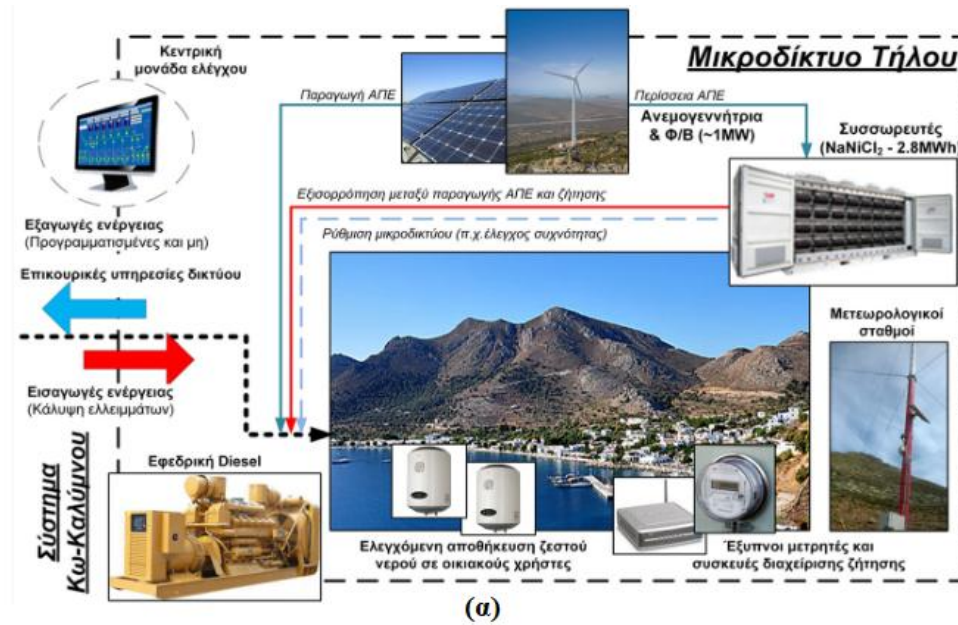
- Η ηλεκτρική ενέργεια από τους συσσωρευτές παρέχεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της Τήλου όταν είναι απαραίτητη.
- Ο σταθμός παρέχει, επίσης, υπηρεσίες επικουρικών λειτουργιών στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της Τήλου, όπως τη στήριξη της τάσης και της συχνότητας.

Πυρήνας του συστήματος είναι το σύστημα S4S (Storage For Sustainability, Smart grid, Solutions, Security)¹⁵ ένα ολοκληρωμένο σύστημα πλήρους ενεργειακής αυτονομίας και αυτοδιαχείρισης, που βασίζεται σε αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης. Το σύστημα τροφοδοτείται με πραγματικά δεδομένα, όπως μετεωρολογικές προβλέψεις, και προβλέπει τις ανάγκες κατανάλωσης. Το S4S διαχειρίζεται συνολικά την παραγωγή, αποθήκευση και συνεχή τροφοδοσία του συστήματος με ηλεκτρική ενέργεια. Το σύστημα είναι συνδεδεμένο με άλλα συστήματα και δίκτυα, γεγονός που του επιτρέπει να παρέχει υπηρεσίες επικουρικών λειτουργιών, όπως τη στήριξη της τάσης και της συχνότητας. Η τεχνογνωσία, που εφαρμόστηκε στο S4S, μπορεί να εφαρμοστεί και σε μεγαλύτερες κλίμακες ώστε να) (Notton, 2017):

- παρέχει σταθερή και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.
- μειώνει την εξάρτηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- βελτιώνει την ποιότητα του αέρα.
- μειώνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- είναι οικονομικά αποδοτικό.

¹⁵ <https://tinyurl.com/yc6rpmcz>, (09/11/2023).

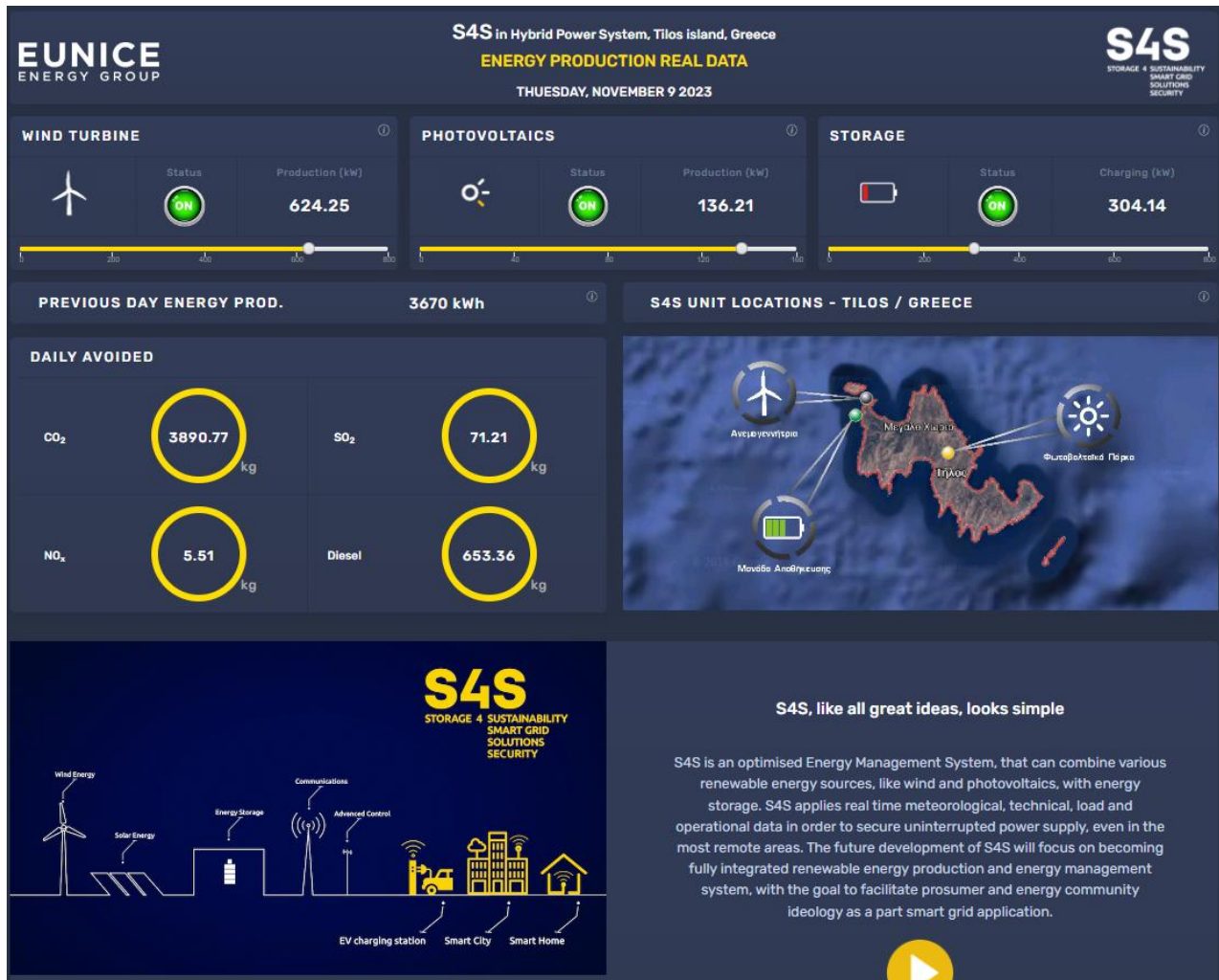
Σχήμα 2.6: (α) Μικροδίκτυο Τήλου, (β) Κύριες θέσεις εγκατάστασης δικτύου.



(Πηγή: Notton, 2017)

Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα σε πραγματικό χρόνο από την εφαρμογή <https://s4s.eunice.gr>, όπως αποτυπώνεται και στο Σχήμα 2.7.

Σχήμα 2.7: Σύστημα S4S.



(Πηγή: <https://tinyurl.com/mstw2vn4>)

Ο υβριδικός σταθμός Τήλου είναι ένα σημαντικό έργο για το νησί, καθώς βοηθά στη μείωση της εξάρτησης της Τήλου από τις συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως το πετρέλαιο. Ο σταθμός συμβάλει, επίσης, στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στο νησί και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Notton, 2017):

2.5.3.2 Υβριδικός σταθμός Ικαρίας

Ο Υβριδικός Σταθμός Ικαρίας («Ναέρας»)¹⁶ είναι ο δεύτερος υβριδικός σταθμός παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα. Ξεκίνησε την λειτουργία το 2019 και αναπτύχθηκε από την εταιρεία ΔΕΗ Ανανεώσιμες. Ο σταθμός αποτελείται από ένα αιολικό πάρκο, έναν μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό, δύο δεξαμενές νερού και ένα αντλιοστάσιο. Το αιολικό πάρκο βρίσκεται στην περιοχή του λόφου «Στραβοκουντούρα» και αποτελείται από τρεις ανεμογεννήτριες των 900 kW η καθεμία. Ο μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός βρίσκεται στην περιοχή «Προεσπέρας» και αποτελείται από έναν υδροστρόβιλο ισχύος 1,05 MW. Οι δύο δεξαμενές νερού βρίσκονται στις περιοχές «Προεσπέρας» και «Κάτω Προεσπέρας» και έχουν χωρητικότητα 80.000 m³ έκαστη. Το αντλιοστάσιο βρίσκεται στην περιοχή «Κάτω Προεσπέρας» και διαθέτει 12 αντλίες ισχύος 250 kW η καθεμία¹⁷.

Ο σταθμός λειτουργεί ως εξής (ΔΕΗ, 2023):

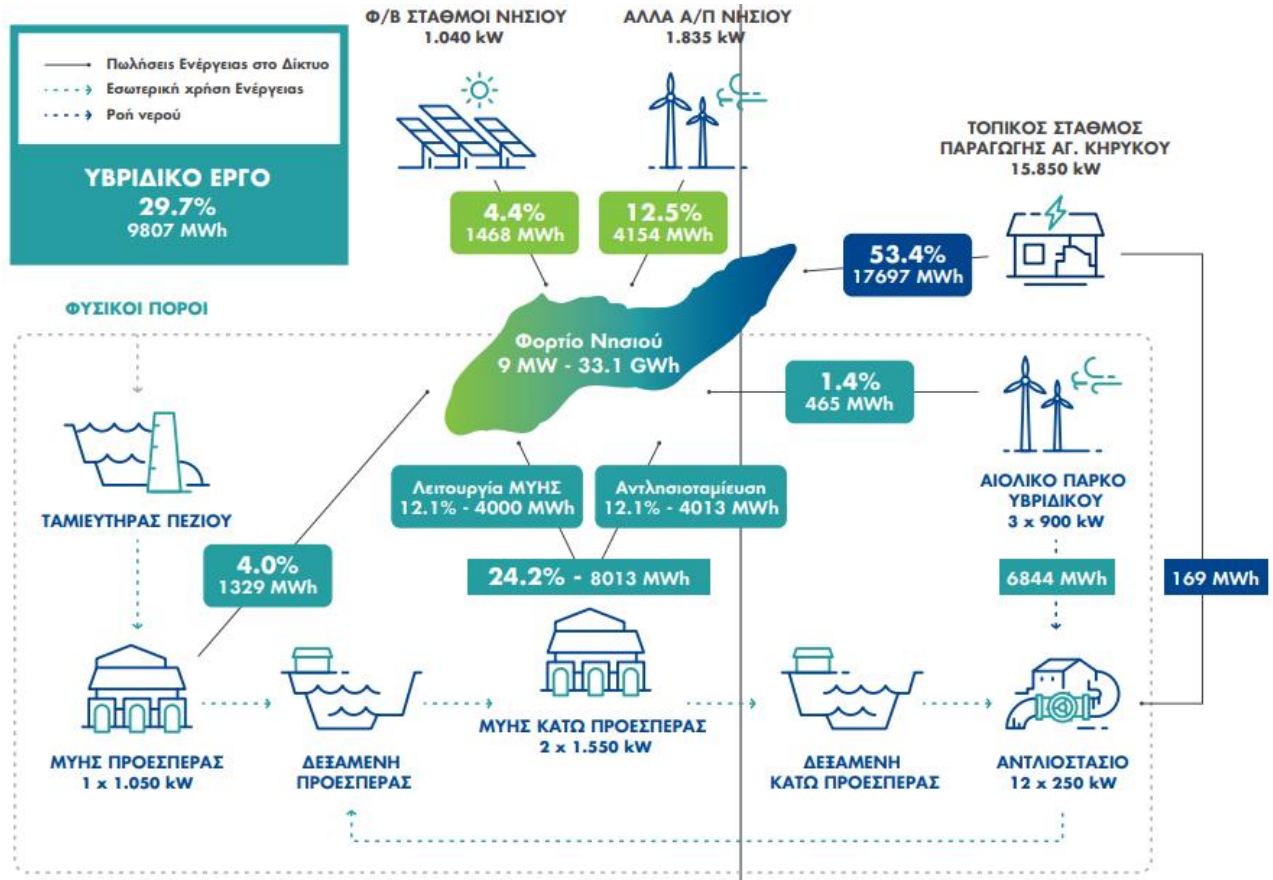
- Το αιολικό πάρκο παράγει αιολική ενέργεια.
- Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται για την άντληση νερού από την κάτω δεξαμενή στην άνω δεξαμενή.
- Το νερό από την άνω δεξαμενή χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από τον μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό.
- Η υδροηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο του νησιού.

Στο Σχήμα 2.8 απεικονίζεται ο σταθμός ως μέρος του συνολικού δικτύου του νησιού.

¹⁶ <https://tinyurl.com/265kt2j8>, (09/11/2023).

¹⁷ <https://tinyurl.com/29m52evp>, (02/12/2023).

Σχήμα 2.8: Κύρια χαρακτηριστικά έργου.



(Πηγή: ΔΕΗ, 2023)

Ο σταθμός έχει σχεδιαστεί για να παράγει 9,8 GWh/έτος καθαρής ενέργειας. Η παραγωγή αυτή δύναται να υποστηρίξει σημαντικό τμήμα των ετήσιων ενεργειακών αναγκών του νησιού, ιδίως κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Ο σταθμός αποτελεί ένα σημαντικό έργο για την Ικαρία, καθώς συνδράμει στη μείωση της εξάρτησης του νησιού από τις συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως ο λιγνίτης. Επίσης, συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στο νησί. Πιο συγκεκριμένα, η προσφορά στην τοπική κοινωνία αποτυπώνεται ως (ΔΕΗ, 2023):

- μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων CO₂ (13.800 τόνοι ετησίως) λόγω της ελαχιστοποίησης της λειτουργίας του πετρελαϊκού Τοπικού Σταθμού Παραγωγής (ΤΣΠ).

- αύξηση της ενεργειακής επάρκειας του νησιού, κατά το μεγαλύτερο εύρος του έτους, μειώνοντας παράλληλα την πετρελαϊκή εξάρτηση.
- ανάπτυξη ενισχυμένης διπλής γραμμής μέσης τάσης 20 kV, ενώνοντας με τον τρόπο αυτόν την ανατολική με τη δυτική πλευρά του νησιού. Η λειτουργία της γραμμής αυτής ενισχύει τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος της Ικαρίας, ελαττώνοντας σημαντικά τις διακοπές ρεύματος, οφειλόμενες σε βλάβες.
- αντιστροφή των περιβαλλοντικών συνεπειών, οφειλόμενων στην κατασκευή του έργου, υλοποιώντας δράσεις περιβαλλοντικής αποκατάστασης, όπως λόγου χάρη δενδροφυτεύσεις.
- οικονομική συνεισφορά στην τοπική οικονομία λόγω των κρατήσεων (υπολογίζονται σε 3% επί των εσόδων), οι οποίες εδράζονται στη λειτουργία του έργου.
- τουριστική αναβάθμιση της Ικαρίας, αφού οι ανωτέρω καινοτομίες και ο «πράσινος» χαρακτήρας του εγχειρήματος προσδοκάται να προσελκύσει τόσο ευαισθητοποιημένους περιβαλλοντικά επισκέπτες όσο και ερευνητές.

2.5.3.3 Υβριδικός σταθμός Αγ. Ευστρατίου

Το έργο «Υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από ΑΠΕ στο νησί του Αγ. Ευστρατίου»¹⁸ είναι ένα έργο, που υλοποιείται από την εταιρεία ΤΕΡΝΑ για λογαριασμό του ο Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)¹⁹. Ο Άγιος Ευστράτιος είναι ένα μικρό νησί, με περίπου 250 κατοίκους. Μέχρι σήμερα, το νησί καλύπτει τις ανάγκες του σε ηλεκτρική ενέργεια από τον τοπικό σταθμό παραγωγής της ΔΕΗ, ο οποίος χρησιμοποιεί πετρέλαιο ντίζελ. Οι ανάγκες για θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης καλύπτονται από ηλεκτρική ενέργεια, πετρέλαιο και καυσόξυλα (Άη Στράτης – Πράσινο Νησί, 2017).

Η ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή²⁰ έχει αναλάβει την κατασκευή ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) στο νησί. Το σύστημα αποτελείται από ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά και συσσωρευτές. Το έργο αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2023 και να καταστήσει τον Άγιο Ευστράτιο το πρώτο ενεργειακά αυτόνομο νησί

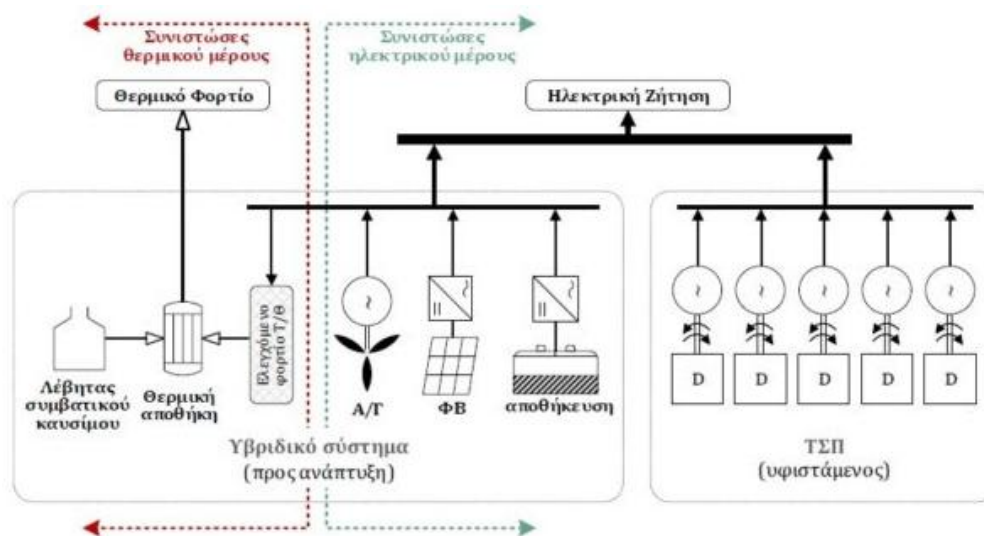
¹⁸ <https://tinyurl.com/5d8bpz95>, (09/11/2023).

¹⁹ <https://tinyurl.com/4duyk757>, (09/11/2023).

²⁰ <https://tinyurl.com/yc2xzjcm>, (09/11/2023).

της Ελλάδας, καλύπτοντας το 85% των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών του νησιού (Άη Στράτης – Πράσινο Νησί, 2017).

Σχήμα 2.9: Λειτουργική δομή υβριδικού σταθμού Αγίου Ευστατίου.

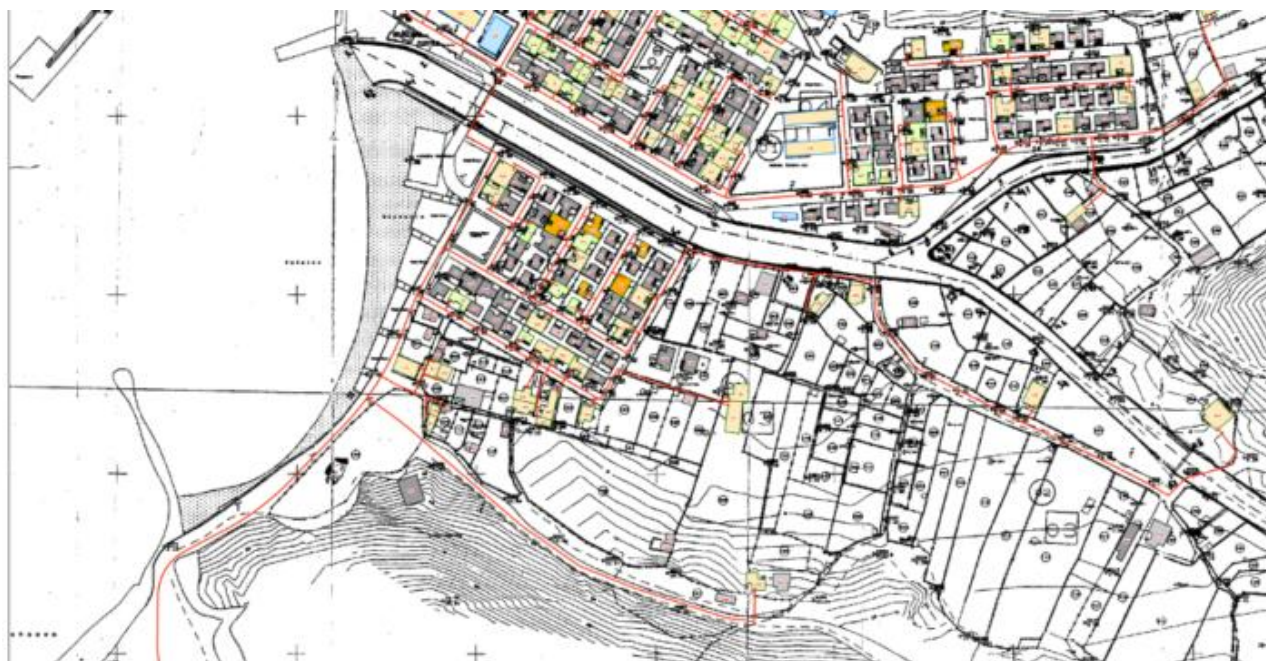


(Πηγή: <https://tinyurl.com/5d8bpz95>)

Ο σταθμός παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ στο νησί του Αγ. Ευστατίου παράγει ενέργεια από ηλιακή και αιολική ενέργεια. Η ενέργεια αποθηκεύεται σε συσσωρευτές (χρησιμοποιείται η τεχνολογία της αμερικανικής εταιρείας Tesla) και σύστημα ενεργειακής διαχείρισης και ελέγχου και διανέμεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού. Το σύστημα τηλεθέρμανσης χρησιμοποιεί την ενέργεια από τον σταθμό ΑΠΕ για να θερμάνει νερό, το οποίο διανέμεται κατόπιν στους κατοίκους του νησιού για θέρμανση και για ζεστό νερό χρήσης. Ο σταθμός ΑΠΕ, με μία ανεμογεννήτρια (900 kW) και ένα φωτοβολταϊκό σταθμό (225 kW), εγκαθίσταται σε μια έκταση 35 στρεμμάτων εκτός οικισμού και διασυνδέεται μέσω μιας εναέριας γραμμής μεταφοράς ρεύματος, τριών χιλιομέτρων περίπου, με τον υποσταθμό μέσης τάσης του υβριδικού σταθμού. Οι συσσωρευτές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι ονομαστικού μεγέθους 1MW, χωρητικότητας 2,5MWh. Αμφίδρομοι αντιστροφείς ισχύος 1000 kVA είναι διαθέσιμοι στην εγκατάσταση. Εκτός οικισμού, επιπρόσθετα, σε έκταση 4 στρεμμάτων, αναπτύσσονται ο υποσταθμός μέσης τάσης του υβριδικού, ο σταθμός των συσσωρευτών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, το κτίριο παραγωγής θερμικής ενέργειας και ελέγχου και οι δεξαμενές αποθήκευσης θερμού νερού (Άη Στράτης – Πράσινο Νησί, 2017).

Ο σταθμός παραγωγής θερμικής ενέργειας διαθέτει ηλεκτρικούς λέβητες συνολικής ισχύος 1000 kW, εφεδρικό λέβητα πετρελαίου ισχύος 800 kW, και αντλιοστάσια κυκλοφορίας δικτύου τηλεθέρμανσης και εσωτερικής κυκλοφορίας του σταθμού παραγωγής και αποθήκευσης θερμότητας. Υπάρχουν τέσσερις δεξαμενές αποθήκευσης θερμού νερού, έκαστη χωρητικότητας 125 m³. Το σύστημα τηλεθέρμανσης αποτελείται από τις κεντρικές μονάδες παραγωγής και αποθήκευσης θερμότητας (δεξαμενές ζεστού νερού), το δίκτυο διανομής της θερμικής ενέργειας στον οικισμό, το δίκτυο και τους θερμικούς υποσταθμούς των καταναλωτών. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια επιδιώκεται να καλύψει τις ανάγκες θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης (Σχήμα 2.10) των κτιρίων του οικισμού του Αγ. Ευστράτιου (Άη Στράτης – Πράσινο Νησί, 2017).

Σχήμα 2.10: Δίκτυο διανομής του θερμού νερού προς τα συνδεδεμένα κτίρια.



(Πηγή: <https://tinyurl.com/5d8bpz95>)

Χρήση των συμβατικών μονάδων παραγωγής ενέργειας θα γίνεται μόνο όταν η προς κατανομή ενέργεια του υβριδικού σταθμού δεν δύναται να ικανοποιήσει τις ηλεκτρικές ανάγκες του νησιού. Το τεχνικό χαρακτηριστικό του ελέγχου σε πραγματικό χρόνο της λειτουργίας του υβριδικού συστήματος δύναται να υποστηρίξει (α) την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού, (β) την ακολουθία των μεταβολών της αιολικής και φωτοβολταϊκής παραγωγής και της ζήτησης από τις μονάδες αποθήκευσης, (γ) τον αποτελεσματικό έλεγχο του φορτίου των

συστημάτων τηλεθέρμανσης προς μέγιστη αξιοποίηση της πλεονάζουσας παραγωγής ΑΠΕ και, τέλος, (δ) τη διαμόρφωση των κατάλληλων εντολών περιορισμού της ισχύος εξόδου των μονάδων ΑΠΕ. Δηλαδή, ο έλεγχος σε πραγματικό χρόνο εποπτεύει το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας, που ημερησίως παράγεται από τον ήλιο, από τον άνεμο όταν φυσά κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, το σύνολο της ενέργειας που χρειάζονται οι κάτοικοι για τις καθημερινές τους ανάγκες, το σύνολο της ενέργειας που απαιτείται για τη φόρτιση των συσσωρευτών και το σύνολο της ενέργειας που περισσεύει προκειμένου να διοχετευθεί με τη μορφή ζεστού νερού στο σύστημα της τηλεθέρμανσης, προς ελαχιστοποίηση των απωλειών παραγόμενης ενέργειας (Αη Στράτης – Πράσινο Νησί, 2017).

Το έργο έχει προϋπολογισμό 3.716.800 ευρώ και η ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή θα αναλάβει τη λειτουργία και τη συντήρηση του έργου για 12 χρόνια. Το έργο θα έχει σημαντικά οφέλη για το νησί του Αγ. Ευστρατίου. Θα μειώσει την εξάρτηση του νησιού από τις συμβατικές πηγές ενέργειας, θα βελτιώσει την ποιότητα του αέρα και θα μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Θα δημιουργήσει, επίσης, νέες θέσεις εργασίας στο νησί. Το έργο είναι ένα σημαντικό βήμα για την πράσινη μετάβαση του νησιού του Αγ. Ευστρατίου και αποτελεί παράδειγμα για άλλα νησιά, που θέλουν να μειώσουν την εξάρτησή τους από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Επιπλέον, το έργο θα έχει τα εξής οφέλη (Αη Στράτης – Πράσινο Νησί, 2017):

- μείωση κόστους ενέργειας για τους κατοίκους του νησιού.
- αξιόπιστη και καλής ποιότητας παροχή στα κτίρια του οικισμού τόσο θέρμανσης όσο και θερμού νερού χρήσης.
- βελτίωση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού του νησιού.
- αύξηση της ανταγωνιστικότητας του νησιού στον τουριστικό τομέα.
- συμβολή στη βιώσιμη ανάπτυξη του νησιού, αφού θα δημιουργηθούν δραστηριότητες συναφείς με τη συντήρηση και τη λειτουργία του υβριδικού συστήματος.
- δημιουργία νέων προοπτικών για περαιτέρω ερευνητικές μελέτες και πιλοτικά έργα, αναφορικά με τις ΑΠΕ και τη βέλτιστη ολοκληρωμένη ενεργειακή διαχείριση.

2.5.3.4 Υβριδικός σταθμός Χάλκης

Τελευταία περίπτωση μελέτης είναι ο υβριδικός σταθμός Χάλκης. Στο πλαίσιο συμμετοχής στο έργο «GR-eco Islands»²¹, το Σχέδιο Καθαρής Ενεργειακής Μετάβασης²² της Χάλκης συνιστά τον στρατηγικό σχεδιασμό απανθρακοποίησης του νησιού. Στο εν λόγω σχέδιο καθορίζονται και προδιαγράφονται οι βασικές κατευθυντήριες γραμμές, στις οποίες θα εδραστεί η ενεργειακή μετάβαση του νησιού. Στο πλαίσιο των δράσεων αυτών, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ δύναται να επιτευχθεί με αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, της αιολικής ενέργειας, της κυματικής ενέργειας, αντίστοιχα με εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών, αιολικών πάρκων, και πάρκου κυματικής ενέργειας. Η Χάλκη διαθέτει, βάσει πιστοποιημένων μετρήσεων, ποσοτικά και ποιοτικά πολύ υψηλό αιολικό, ηλιακό και κυματικό δυναμικό. Παράλληλα, σχεδιάζεται και η εγκατάσταση μονάδας αποθήκευσης για την αξιοποίηση του υπάρχοντος δυναμικού. Στην παρούσα φάση, όμως, η Ενεργειακή Κοινότητα Χάλκης²³ έχει έναν φωτοβολταϊκό σταθμό, εγκατεστημένης ισχύος 999.47 kWp, ο οποίος χωροθετείται σε έκταση 20 στρεμμάτων στην περιοχή «Κάνια», κοντά στο νέο λιμένα της Χάλκης. Εκεί βρίσκονται 2.246 φωτοβολταϊκά πλαίσια, ονομαστικής ισχύος 445 Wp έκαστο, και 4 inverters. Παράλληλα, διαθέτει όλο τον απαραίτητο ηλεκτρολογικό εξοπλισμό για σύνδεση στο δίκτυο μέσης τάσης (20 kV) του ΔΕΔΔΗΕ καθώς και τον εξοπλισμό τηλεμετρίας και τηλεπιτήρησης (GR-eco Islands, 2020).

²¹ <https://tinyurl.com/2854yvm6>, (09/11/2023).

²² <https://tinyurl.com/ykk287nk>, (09/11/2023).

²³ <https://tinyurl.com/3hnn747j>, (09/11/2023).

Σχήμα 2.11: Σταθμοί παραγωγής Ενεργειακή Κοινότητα Χάλκης.



(Πηγή: <https://tinyurl.com/4fsfshxn>)

Η διάσταση του συστήματος Ρόδου – Χάλκης, το ποσοτικά και ποιοτικά επαρκές αιολικό δυναμικό καθώς και η ιδανική γεωγραφική μορφολογία του νησιού συνιστούν ένα ελκυστικό πλαίσιο ανάπτυξης υβριδικών σταθμών αιολικών πάρκων και αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού. Εξασφαλίζοντας ένα ευνοϊκό πλαίσιο τιμολόγησης, δανειακά κεφάλαια δύναται να ενδιαφερθούν προς χρηματοδότηση κατασκευής ενός τέτοιου υβριδικού σταθμού (GR-eco Islands, 2020).

2.5.4 Μελλοντικοί υβριδικά ενεργειακά συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στα νησιά

Πέρα από τους ανωτέρω σταθμούς σε ΜΔΝ, υπάρχουν και πλάνα για εγκατάσταση σταθμών στο σύνολο σχεδόν των νησιών. Η υποβολή νέων αιτήσεων στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) για υβριδικούς σταθμούς στα νησιά (που έχουν διασυνδεθεί ή τελούν υπό διασύνδεση) είναι συνεχής και τα σχετικά δεδομένα είναι διαθέσιμα στο Παράρτημα Α. Σημειώνονται ιδιαίτερα τα έργα της εταιρείας «ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. Ε.Υ.Σ. Α.Ε.)»²⁴, η οποία έχει αιτηθεί ένταξη των έργων στο «ENTERPRISE GREECE»²⁵ ως έργα ειδικού σκοπού με σκοπό την αδειοδότηση – κατασκευή δεκατριών (13) υβριδικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, σε ισάριθμα μη διασυνδεδεμένα νησιά της χώρας (Ανάφη, Αμοργός,

²⁴ <https://tinyurl.com/mr3zavu3>, (09/11/2023).

²⁵ <https://tinyurl.com/wkactu7j>, (09/11/2023).

Αστυπάλαια, Δονούσα, Μεγίστη, Πάτμος, Σκύρος, Αγαθονήσι, Αντικύθηρα, Αρκοί, Γαύδος, Ερεϊκούσα και Οθωνοί), αποτελούμενων από φωτοβολταϊκά πάρκα για την πρωτογενή παραγωγή ενέργειας και συσσωρευτές ιόντων λιθίου για την αποθήκευσή της, με εκτιμώμενο συνολικό προϋπολογισμό 60.883.000€ και συνολική ισχύ 20 MW, όπως αναφέρονται και στον Πίνακα 2.1 (Enterprise Greece, 2021).

Πίνακας 2.3: Ελληνικοί Υβριδικοί Σταθμοί Α.Ε - Μελέτη Αναφοράς.

Αρ.	Νησί (Όνομα)	Αρ. PAE	Ισχύς Φ/Β (kWp)	Μπαταριά (kWh)
1	Ανάφη	I-229572 / 8-12-2017	477.4	1344
2	Αμοργός	I-229570 / 8-12-2017	3234	8064
3	Αστυπάλαια	I-229582 / 8-12-2017	1971.2	5376
4	Δονούσα	I-229585 / 8-12-2017	313.6	896
5	Μέγιστη	I-229581 / 8-12-2017	985.6	3136
6	Πάτμος	I-229575 / 8-12-2017	6098.4	18816
7	Σκύρος	I-229583 / 8-12-2017	5236	11200
8	Αγαθονήσι	I-229574 / 8-12-2017	229.6	672
9	Αντικύθηρα	I-229584 / 8-12-2017	84	224
10	Αρκοί	I-229576 / 8-12-2017	112	336
11	Γαύδος	I-229573 / 8-12-2017	140	448
12	Ερεϊκούσα	I-229579 / 8-12-2017	280	672
13	Οθωνοί	I-229569 / 8-12-2017	201.6	448
	Σύνολο		19363	51632

(Πηγή: <https://tinyurl.com/3mresmfu>)

Είναι εμφανές το ενδιαφέρον για περιπτώσεις αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στα ελληνικά νησιά. Πέρα από τα ανωτέρω, που είναι σε διαδικασία αδειοδότησης, εν εξελίξει είναι η περίπτωση αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια, που είναι και αντικείμενο μελέτης του επόμενου κεφαλαίου.

3 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΣΤΥΠΑΛΛΑΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Στο πλαίσιο εξειδίκευσης και υλοποίησης της συμφωνίας για την ανάπτυξη των «Καθαρών Νησιών»²⁶ κρίθηκε απαραίτητο για την Ελλάδα να αναπτύξει εξειδικευμένο πρόγραμμα δράσεων και κανονιστικών διατάξεων, εναρμονισμένων με την ευρωπαϊκή πολιτική των «Πράσινων Νησιών», συμπεριλαμβανομένης της υλοποίησης ειδικών πιλοτικών έργων (ΕΠΕ) σε ΜΔΝ, με στόχο την υψηλή διείσδυση ΑΠΕ. Στις 14 Νοεμβρίου 2020 υπογράφηκε μεταξύ του ομίλου Volkswagen και της Ελληνικής Κυβέρνησης συμφωνία αναφορικά με τη μετατροπή της Αστυπάλαιας στο πρώτο έξυπνο, «πράσινο» και ενεργειακά αυτόνομο νησί της Μεσογείου, στο πλαίσιο του έργου «Smart & Sustainable Island»²⁷, με τη δημιουργία ενός ΕΠΕ, αποτελούμενου από ΑΠΕ και λειτουργία αποθήκευσης. Αναμένεται, επίσης, μία σημαντική αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων στην Αστυπάλαια, με φιλοδοξία να μετατραπεί το νησί σε παγκόσμιο πρότυπο ηλεκτροκίνησης και ενεργειακής αυτονομίας, βασιζόμενο σημαντικά στη παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ. Στο πλαίσιο αυτό, τίθενται σημαντικά κίνητρα για την αγορά ηλεκτρικών οχημάτων στο νησί (μέσω επιδοτήσεων). Η Volkswagen έχει ήδη παραδώσει έναν αριθμό ηλεκτρικών οχημάτων στην Αστυπάλαια, ενώ έχουν ήδη εγκατασταθεί σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, οι οποίοι αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά τα επόμενα χρόνια. Στο πλαίσιο αυτό, η μελέτη αυτή θα εξετάσει την εγκατάσταση του υβριδικού συστήματος, που είναι προς εγκατάσταση (ΡΑΕ, 2022).

Προ της ανάπτυξης των λεπτομερειών του υβριδικού συστήματος, παρατίθενται μερικές γενικές πληροφορίες για το νησί και το υπάρχον δίκτυο. Η Αστυπάλαια είναι το δυτικότερο νησί των Δωδεκανήσων, έχει έκταση 96,4 km² και πληθυσμό 1238 κατοίκων. Επί του παρόντος, το

²⁶ <https://tinyurl.com/yc6uzt3a>, (09/11/2023).

²⁷ <https://tinyurl.com/4kezyzms>, (09/11/2023).

ηλεκτρικό σύστημα της Αστυπάλαιας ηλεκτροδοτείται από τους παρακάτω σταθμούς παραγωγής (ΡΑΕ, 2022):

- Τοπικός Σταθμός Παραγωγής (ΤΣΠ) Αστυπάλαιας, συνολικής αποδιδόμενης ισχύος θέρους 4,0 MW. Στον ΤΣΠ Αστυπάλαιας βρίσκονται εγκατεστημένα 4 όμοια Ηλεκτροπαραγωγά Ζεύγη (Η/Ζ) Mitsubishi S16R-PTA, συνολικής ισχύος 4,0 MW. Σημειώνεται ότι όλες οι υφιστάμενες μονάδες του ΤΣΠ Αστυπάλαιας εμπίπτουν στην Οδηγία 2015/2193²⁸. Προβλέπονται επίσης δύο νέοι θερμικοί σταθμοί 0,4 MW έκαστος. Η ένταξη των νέων μονάδων αναμένεται να ολοκληρωθεί μέχρι το τέλος του 2023. Τα αναλυτικά στοιχεία των ανωτέρω περιγράφονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Υφιστάμενες μονάδες του ΤΣΠ Αστυπάλαιας.

A/A	ΜΟΝΤΕΛΟ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΑΠΟΔΙΔΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)	ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΛΑΧΙΣΤΟ (MW)
1	Mitsubishi S16R-PTA	1,275	1	0,51
2	Mitsubishi S16R-PTA	1,275	1	0,51
3	Mitsubishi S16R-PTA	1,275	1	0,51
4	Mitsubishi S16R-PTA	1,275	1	0,51
5	NEA ΜΟΝΑΔΑ	0,4	0,4	0,16
6	NEA ΜΟΝΑΔΑ	0,4	0,4	0,16

(Πηγή: ΔΕΔΔΗΕ, 2021)

- 4 φωτοβολταϊκοί σταθμοί, συνολικής ισχύος 0,319 MW και επιπλέον 31 kW ΦΒ στέγης και net-metering, όπου η τοπικά παραγόμενη από ΑΠΕ ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο, ενώ η ενέργεια που καταναλίσκεται απορροφάται ομοίως από αυτό. Τα εγκεκριμένα περιθώρια διείσδυσης για τα ΑΠΕ στο ΗΣ της Αστυπάλαιας, σύμφωνα με την απόφαση 316/2016 της ΡΑΕ, είναι 0,356 MW. Με τροποποίηση του 2022 το όριο έφτασε στα 375 kW (αποδεκτή η εγκατάσταση επιπλέον 20 kW ΦΒ πλέον των υφιστάμενων).

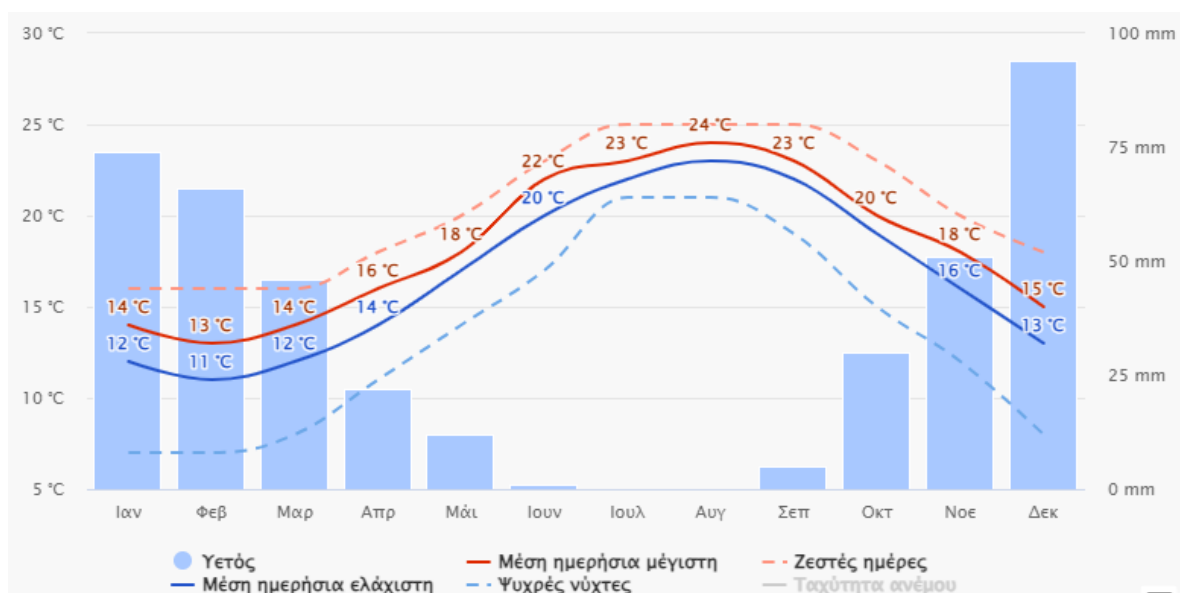
Σημειώνεται ότι με βάση την ίδια μελέτη τα όρια για ανεμογεννητριών (Α/Γ) είναι μόνο για μικρές Α/Γ (kWh) στα 4.14 kW, ενώ στο πλαίσιο απόφασης απαγορεύεται η εγκατάσταση μεγάλων Α/Γ. Μολαταύτα, στο πλαίσιο της προσομοίωσης θα εξεταστεί η ενσωμάτωση κάποιας Α/Γ ως παράδειγμα εξέτασης.

²⁸ <https://tinyurl.com/yk9f5a8j>, (09/11/2023).

3.2 Ηλιακό και αιολικό δυναμικό στην Αστυπάλαια

Η ανάγκη εγκατάστασης υβριδικού συστήματος απαιτεί τη συγκέντρωση δεδομένων ηλιακού και αιολικού δυναμικού στην Αστυπάλαια. Η συλλογή δεδομένων απαιτεί την εγκατάσταση μετρητικών διατάξεων (Ν. 3468/2006²⁹). Βάσει μετεωρολογικού σταθμού Αστυπάλαιας, υφίστανται οι κάτωθι μετρήσεις, οι οποίες άπτονται της χρονικής περιόδου 1977-2013 (Meteoblue, 2024). Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 19,27°C. Οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας κυμαίνονται μεταξύ 11,68°C (Φεβρουάριος) και 27,20°C (Ιούλιος). Η μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία αέρα (7,73°C) εκδηλώνεται το Φεβρουάριο, ενώ η μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (32,09°C) εκδηλώνεται τον Ιούλιο. Γραφικά τα στατιστικά δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας απεικονίζονται κάτωθι:

Σχήμα 3.1: Μέσος όρος θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων.



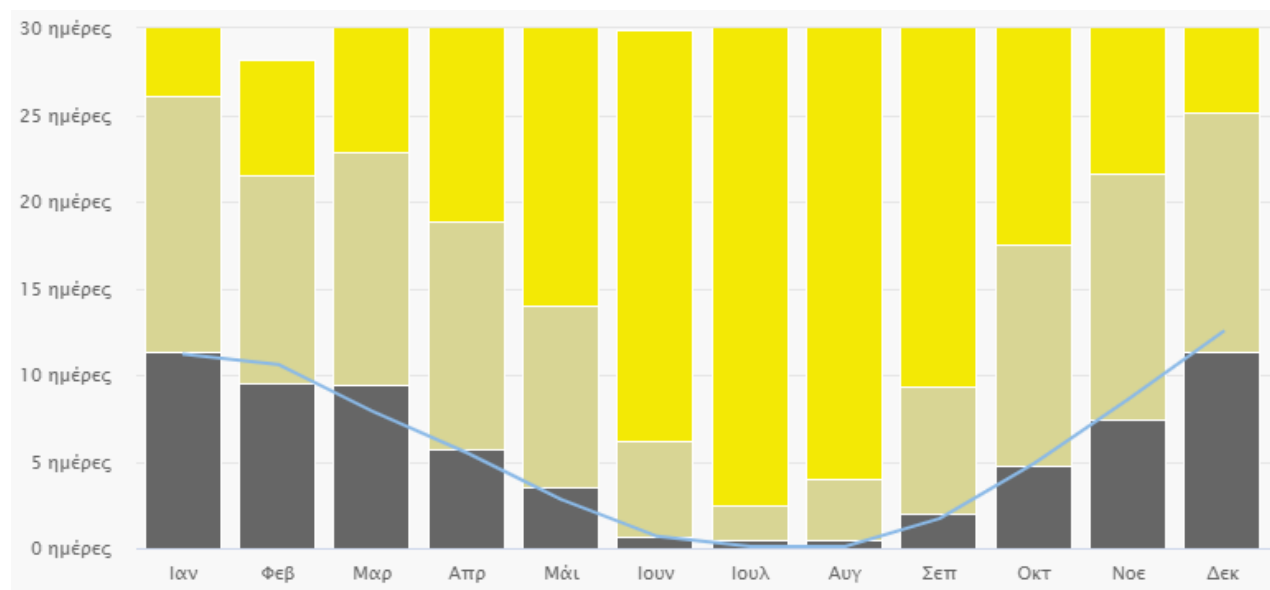
(Πηγή: <https://tinyurl.com/2acmd3j4>)

Για τη μοντελοποίηση του υβριδικού συστήματος απαιτείται πληροφορία σχετικά με το ηλιακό και το αιολικό δυναμικό της περιοχής. Ως ηλιακό δυναμικό λογίζεται η δυνατότητα μιας περιοχής να χρησιμοποιήσει την ηλιακή ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρικής ή άλλων μορφών ενέργειας. Το Σχήμα 3.2 απεικονίζει το μηνιαίο αριθμό ημερών με καιρό αίθριο, λίγο νεφελώδη,

²⁹ <https://tinyurl.com/3n5hu72w>, (02/12/2023).

νεφοσκεπή καθώς και τις βροχερές ημέρες. Αίθριες λογίζονται οι ημέρες με <20% νεφοκάλυψη, νεφελώδεις οι ημέρες με 20-80% νεφοκάλυψη και νεφοσκεπείς οι ημέρες με >80% νεφοκάλυψη (Meteoblue, 2024).

Σχήμα 3.2: Καιρός νεφελώδης, αίθριος και με ημέρες βροχόπτωσης.



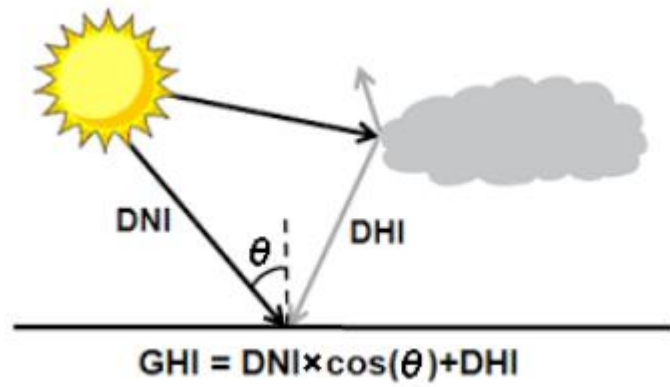
(Πηγή: <https://tinyurl.com/2acmd3j4>)

Σημαντικό στοιχείο είναι η μέτρηση του ηλιακού δυναμικού, πληροφορία που λαμβάνεται υπόψη για τη μοντελοποίηση της παραγωγής από φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Διαφορετικές μετρικές λαμβάνονται υπόψη και αναφέρονται συνοπτικά (Meteoblue, 2024):

- Ολική οριζόντια ηλιακή ακτινοβολία (Global Horizontal Irradiance, GHI): ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας, που φτάνει σε μια οριζόντια επιφάνεια.
- Διάχυτη οριζόντια ακτινοβολία (Diffuse Horizontal Irradiance, DHI): ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας, που φτάνει σε μια οριζόντια επιφάνεια, όμως δεν προέρχεται απευθείας από τον ήλιο αλλά από τη διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα σωματίδια της ατμόσφαιρας, όπως τα σύννεφα, τη σκόνη και την υγρασία.
- Απευθείας κάθετη ακτινοβολία (Direct Normal Irradiation, DNI): ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας, που φτάνει σε μια κάθετη επιφάνεια. Εξαρτάται από διάφορους παράγοντες,

όπως το γεωγραφικό πλάτος, την εποχή του χρόνου, τις συνθήκες της ατμόσφαιρας και τον προσανατολισμό της επιφάνειας.

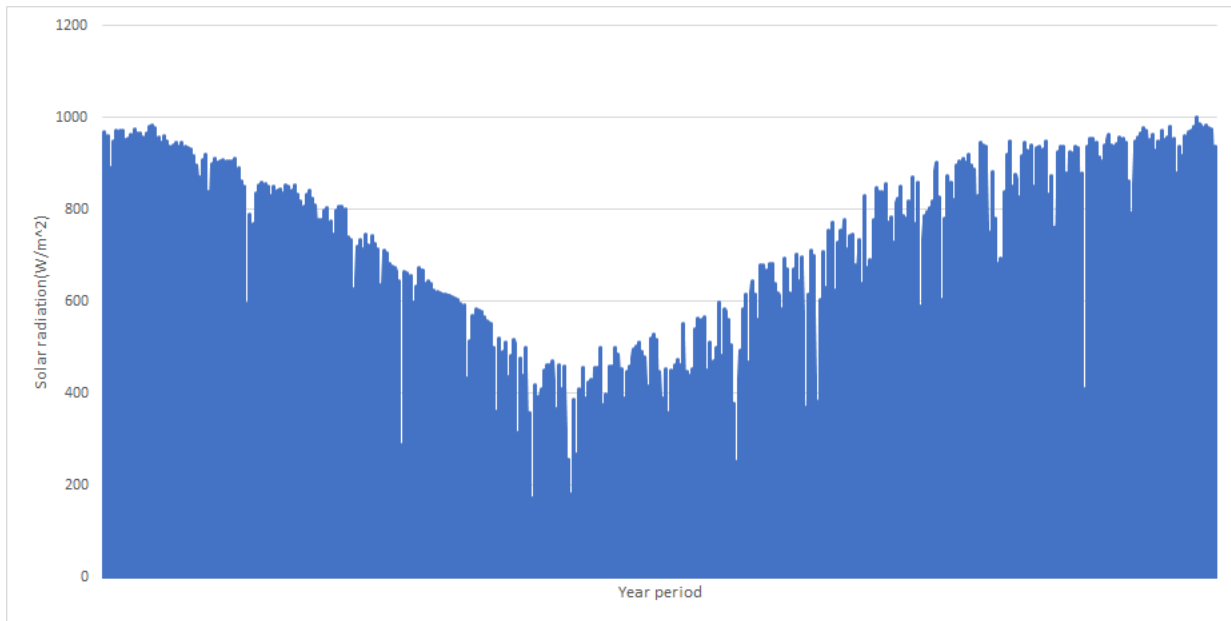
Σχήμα 3.3: Γραφικά οι παράμετροι GHI, DHI και BNI.



(Πηγή: Boutahir et al., 2022)

Όλες οι ανωτέρω μετρικές εκφράζονται σε κιλοβατώρες ανά τετραγωνικό μέτρο ανά ώρα (kWh/m²/h) ή σε κιλοβατώρες ανά τετραγωνικό μέτρο ανά ημέρα (kWh/m²/day). Βιβλιογραφικά, η GHI είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την αξιολόγηση του ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής. Υψηλό GHI υποδηλώνει ότι η περιοχή έχει τη δυνατότητα να παράγει σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακούς συλλέκτες. Στο πλαίσιο αυτό αναζητήθηκαν (<https://oikolab.com>) τα ιστορικά δεδομένα σε ετήσια βάση και κάτωθι απεικονίζεται η στατιστική τους απεικόνιση.

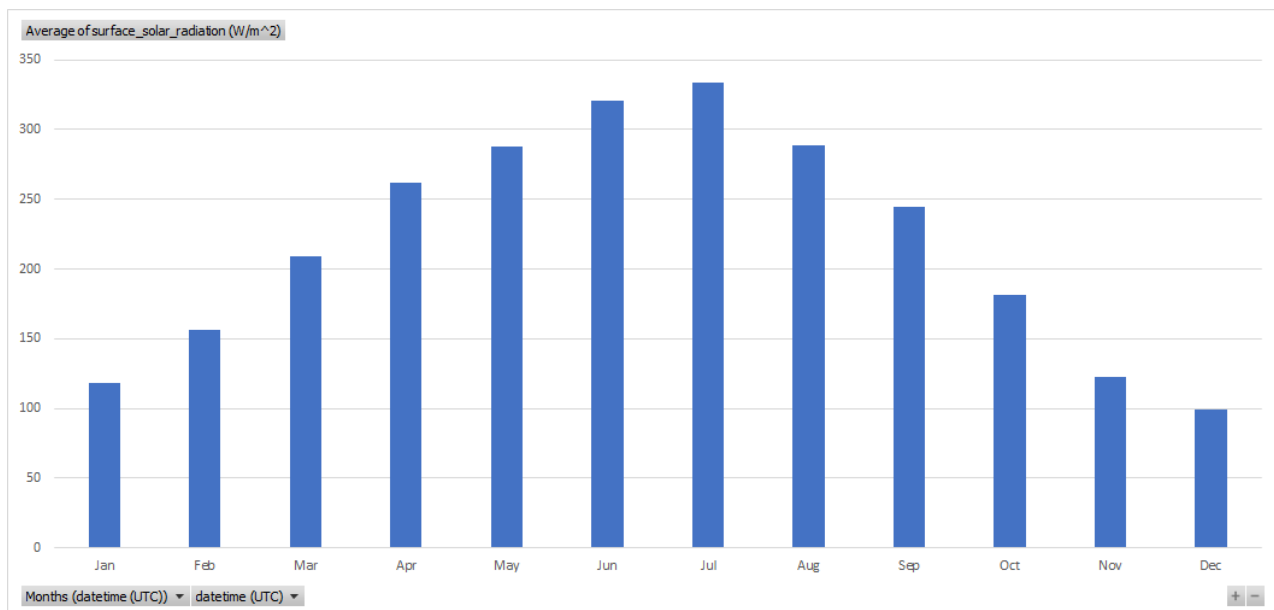
Σχήμα 3.4: Ανάλυση ιστορικών δεδομένων GHI ενός έτους.



(Πηγή: <https://tinyurl.com/2acmd3j4>)

Η ανά μηνά παρουσίαση των ανωτέρω δεδομένων απεικονίζεται κάτωθι:

Σχήμα 3.5: Ανάλυση των ιστορικών δεδομένων GHI ανά μήνα.



(Πηγή: <https://tinyurl.com/2acmd3j4>)

Παράλληλα με τη μελέτη των δεδομένων της ηλιακής ακτινοβολίας, εξετάζεται και το αιολικό δυναμικό της Αστυπάλαιας. Το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής αναφέρεται στην ποσότητα της ενέργειας, που μπορεί να παραχθεί από τον άνεμο σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Η αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής λαμβάνει υπόψη παράγοντες όπως η μέση ταχύτητα, η κατεύθυνση και η διάρκεια του ανέμου. Η μέση ταχύτητα του ανέμου στην Ελλάδα είναι περίπου 6,5m/s (μέτρα ανά δευτερόλεπτο ή 21,7 μίλια την ώρα). Η ταχύτητα του ανέμου είναι υψηλότερη στα νησιά του Αιγαίου, όπου η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι περίπου 7,5m/s (ή 24,6 μίλια την ώρα) (Meteoblue, 2024). Η Αστυπάλαια έχει γενικά υψηλό αιολικό δυναμικό, όπως αποτυπώνεται και στους χάρτες ανεμολογίου της Ελλάδας.

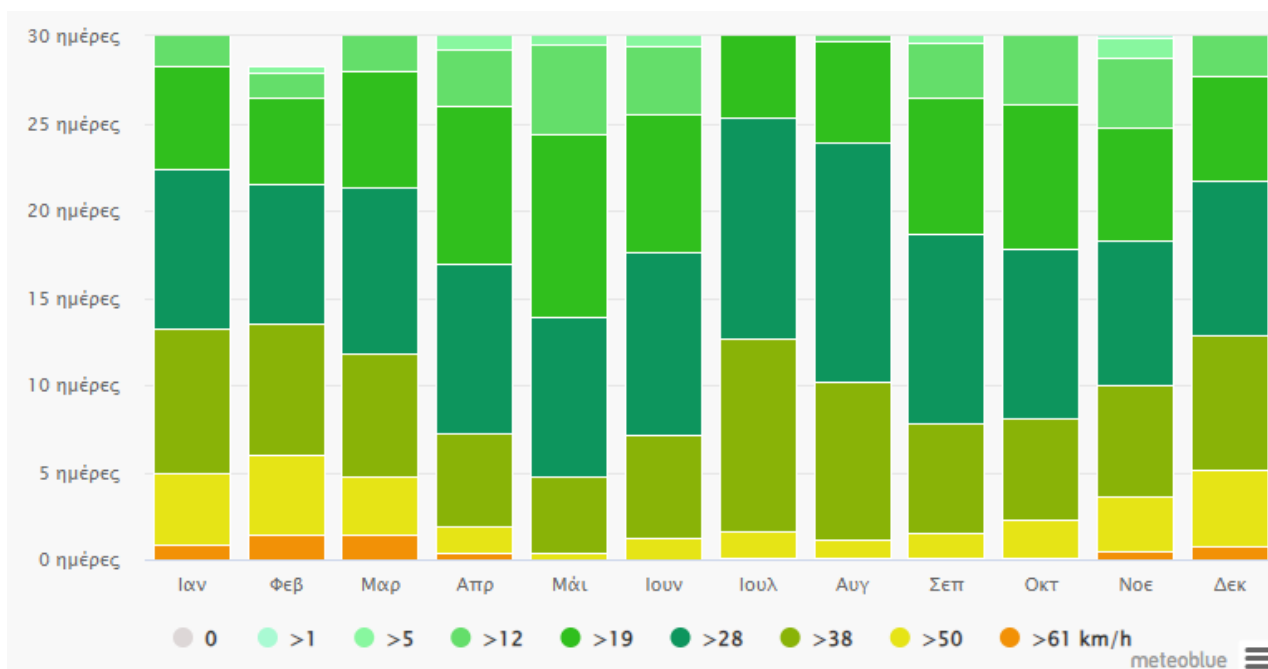
Σχήμα 3.6: Χάρτης αιολικού δυναμικού της Ελλάδας.



(Πηγή: <https://tinyurl.com/2mxfwbtr>)

Κάτωθι απεικονίζονται οι ημέρες ανά μήνα, κατά τις οποίες στην Αστυπάλαια ο άνεμος φθάνει μια ορισμένη ταχύτητα (Meteoblue, 2024).

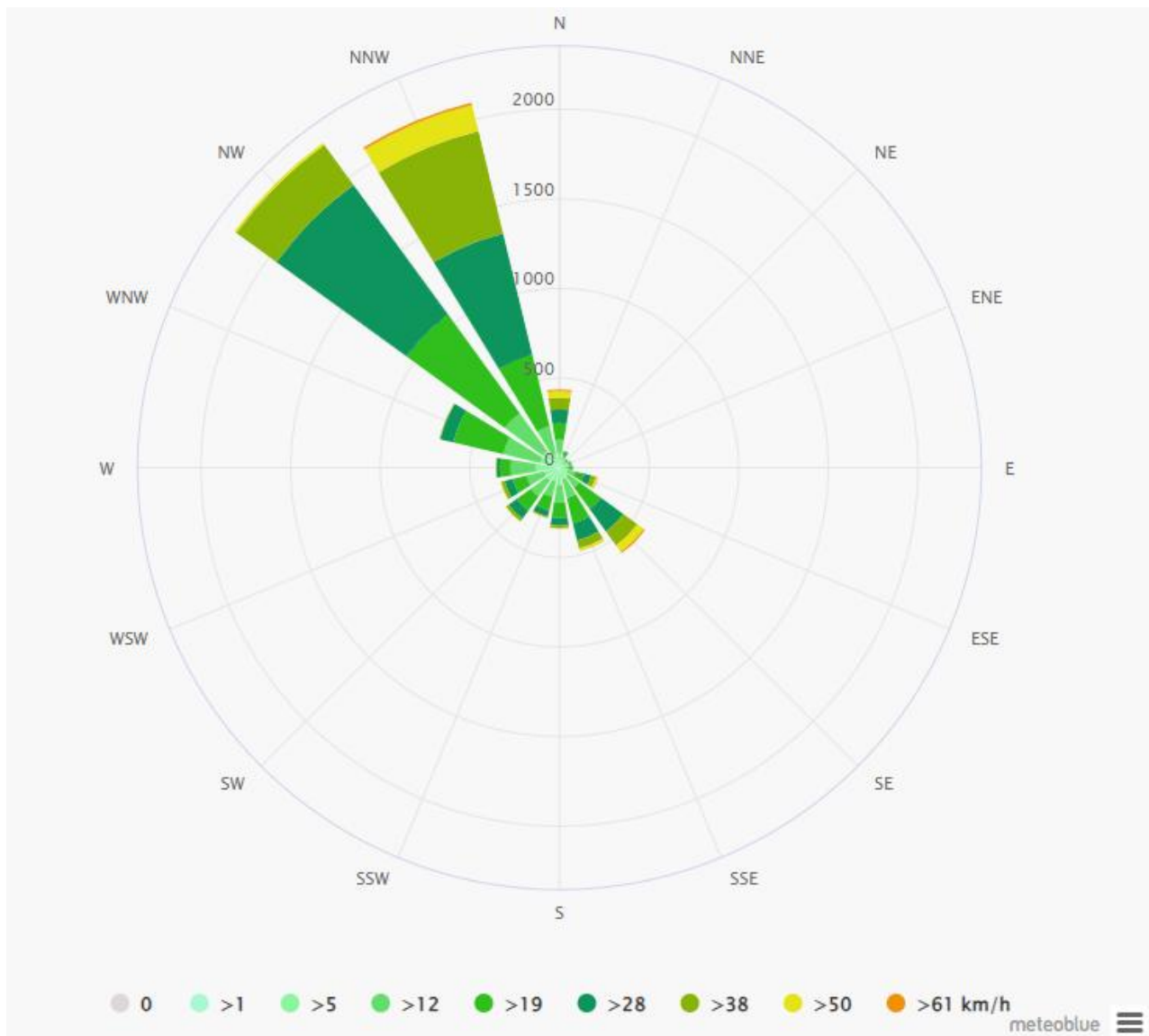
Σχήμα 3.7: Ταχύτητα ανέμου στο νησί της Αστυπάλαιας.



(Πηγή: <https://tinyurl.com/2acmd3j4>)

Το επόμενο ροδόγραμμα για την Αστυπάλαια απεικονίζει πόσες ώρες ετησίως ο άνεμος φυσάει από την υποδεικνύομενη διεύθυνση (Meteoblue, 2024).

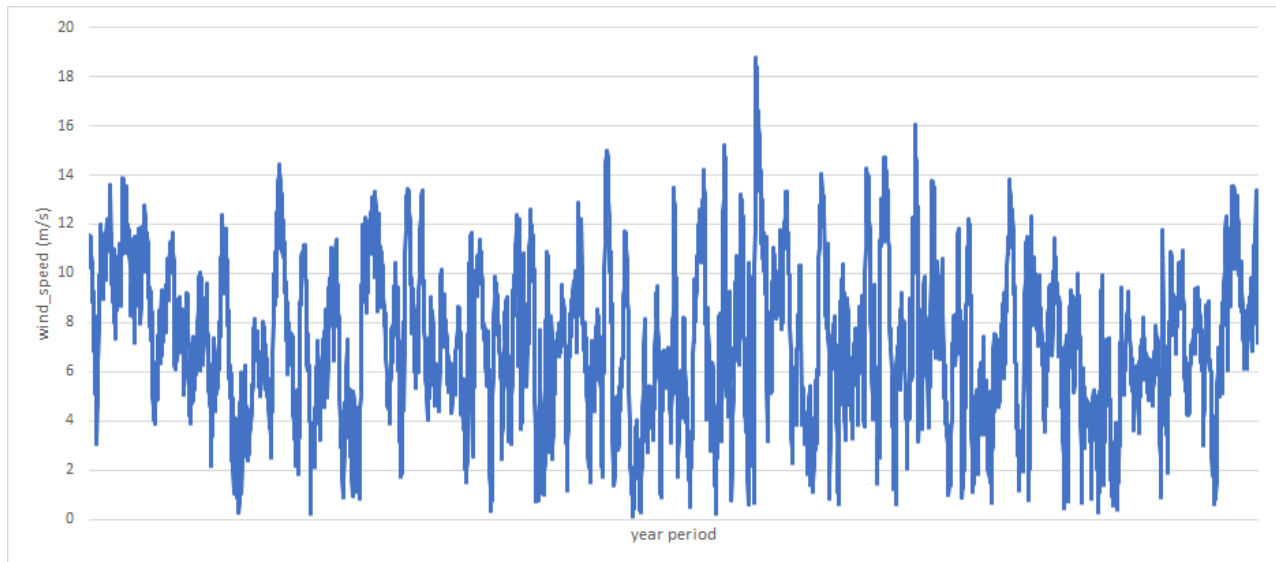
Σχήμα 3.8: Ανεμολόγιο για το νησί της Αστυπάλαιας.



(Πηγή: <https://tinyurl.com/2acmd3j4>)

Όπως και στην περίπτωση του ηλιακού δυναμικού, τα ωριαία δεδομένα ενός έτους για την ταχύτητα ανέμου είναι διαθέσιμα για την μοντελοποίηση της παραγωγής από Α/Γ και τα δεδομένα παρουσιάζονται συνοπτικά κάτωθι:

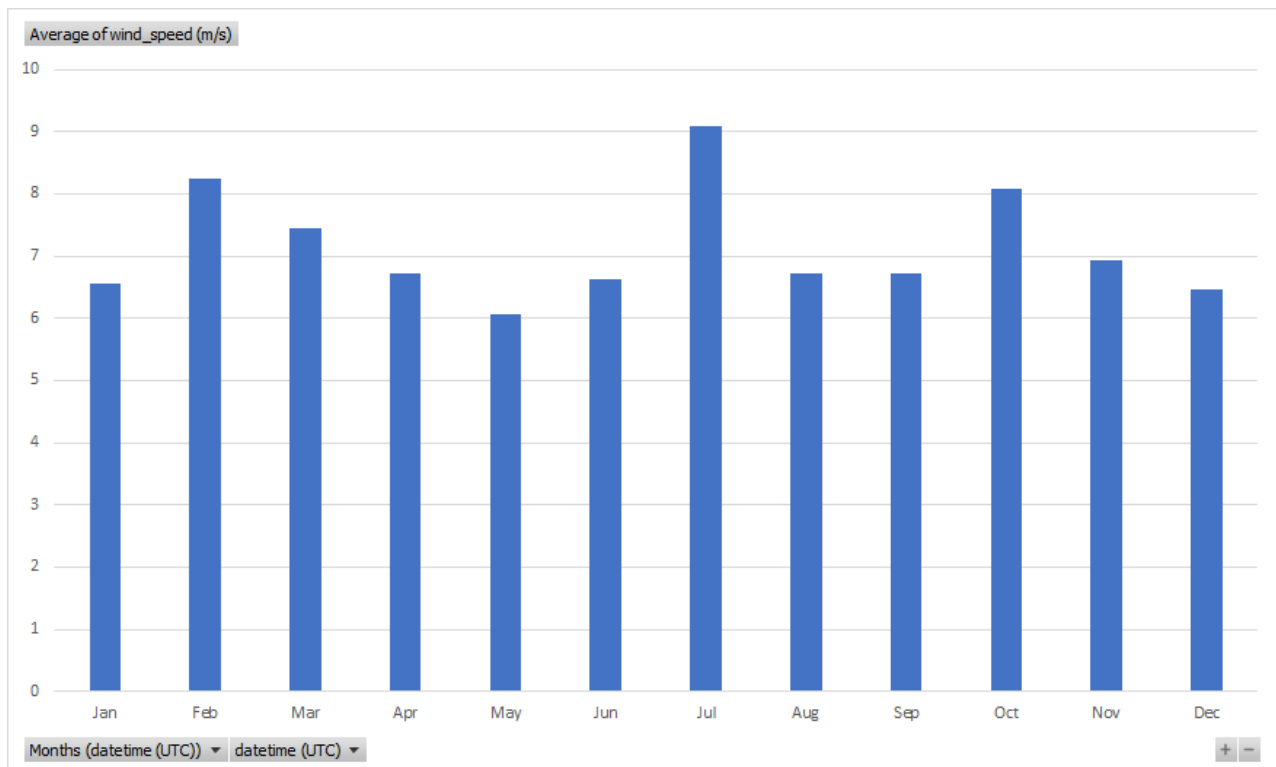
Σχήμα 3.9: Ανάλυση των ιστορικών δεδομένων ταχύτητας ανέμου ενός έτους.



(Πηγή: <https://tinyurl.com/2acmd3j4>)

Η ανά μηνά παρουσίαση των ανωτέρω δεδομένων παρέχεται ακολούθως:

Σχήμα 3.10: Ανάλυση των ιστορικών δεδομένων ταχύτητας ανέμου ανά μήνα.



(Πηγή: <https://tinyurl.com/2acmd3j4>)

Τα ανωτέρω αναλυτικά ωριαία δεδομένα λαμβάνονται υπόψη τόσο για τη μοντελοποίηση της παραγωγής από Φ/Β και Α/Γ, η οποία έπεται στις επόμενες ενότητες, όσο και για την τεχνοοικονομική αξιολόγηση της λειτουργίας του υβριδικού σταθμού στα διαφορετικά υπό μελέτη σενάρια. Πριν την παρουσίαση αυτή, παρουσιάζονται τα δεδομένα ενέργειας του νησιού της Αστυπάλαιας.

3.3 Ζήτηση ηλεκτρισμού και ηλεκτρικά αυτοκίνητα στην Αστυπάλαια

Πέρα από τα δεδομένα παραγωγής, παρατίθενται και τα δεδομένα κατανάλωσης του δικτύου της Αστυπάλαιας (Πίνακας 3.2). Αρχικά παρατίθενται τα στοιχεία για το 2017 σε σχέση με τη μελέτη δικτύου της Αστυπάλαιας (ΔΕΔΔΗΕ, 2023; Πατσάκα & Κουκούλα, 2022).

Πίνακας 3.2: Ζήτηση φορτίου Αστυπάλαιας.

ΗΣ ΜΔΝ	Αιχμή φορτίου (MW)	Ζήτηση ενέργειας (MWh)	Συντελεστής Φορτίου (%)
Αστυπάλαια	2,62	7,606	33,1

(Πηγή: Πατσάκα & Κουκούλα, 2022)

Η εκτίμηση της εξέλιξης της ζήτησης φορτίου του αυτόνομου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας Αστυπάλαιας παρουσιάζεται κάτωθι:

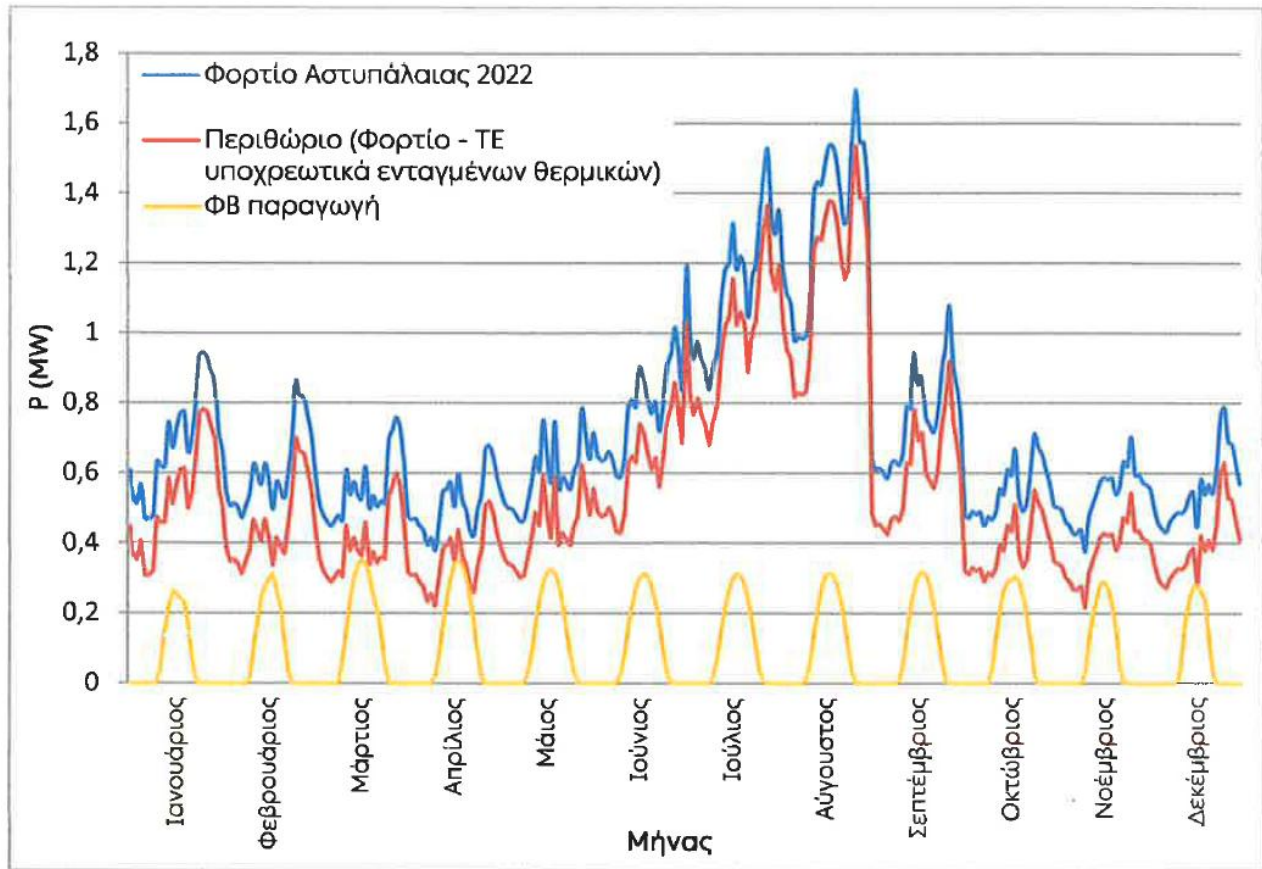
Πίνακας 3.3: Εκτιμήσεις εξέλιξης της ζήτησης φορτίου.

Έτος	Συνολική Ζήτηση Ενέργειας (MWh)	Αιχμή Ζήτησης (MW)
2023	7.799	2,70
2024	8.128	2,73
2025	8.599	2,86
2026	9.029	2,95

(Πηγή: Πατσάκα & Κουκούλα, 2022)

Μια αναλυτική κατανομή του φορτίου (σε συνδυασμό με την παραγωγή από τις θερμικές μονάδες) παρέχεται ακολούθως:

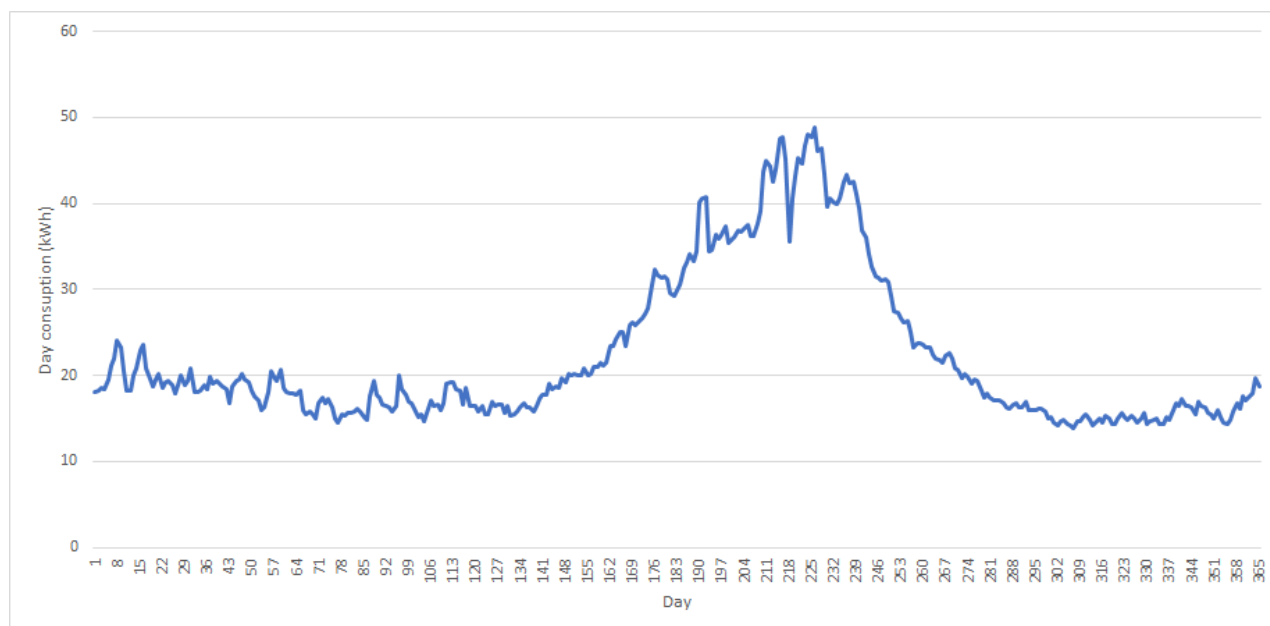
Σχήμα 3.11: Ανάλυση των ιστορικών δεδομένων ζήτησης ανά μήνα.



(Πηγή: Πατσάκα & Κουκούλα, 2022)

Ως ωριαία χρονοσειρά φορτίου για το έτος αναφοράς λαμβάνεται η χρονοσειρά ανωτέρω ενημερωμένη ως προς τις τιμές ετήσιας ζήτησης και αιχμής για το έτος 2024, όπως έχουν εκτιμηθεί στο πλαίσιο του Προγράμματος Ανάπτυξης 2022-2028 και αποτυπώνεται ακολούθως:

Σχήμα 3.12: Εκτιμήσεις εξέλιξη της ζήτησης φορτίου ανά μήνα.



(Πηγή: PAE, 2022)

Με βάση τα ανωτέρω στοιχεία, τα δεδομένα ζήτησης συνεκτιμώνται για τον υπολογισμό του ενεργειακού συστήματος της Αστυπάλαιας. Στις εν λόγω εκτιμήσεις λαμβάνεται υπόψη η κατανάλωση των σταθμών φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων (ΗΟ), διακρίνοντας δύο ημερήσιες καμπύλες φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων (Σενάρια Α και Β), όπως ορίζονται από τον ΔΕΔΔΗΕ. Όπως παρουσιάζεται κάτωθι, το σενάριο προβλέπει φόρτιση κατά τις νυχτερινές ώρες, ενώ η διαφορά στη ζήτηση άπτεται της δεύτερης φόρτισης κατά τη διάρκεια της ημέρας (σε σχέση και με τους σταθμούς φόρτισης, που είναι διαθέσιμοι στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας Αστυπάλαιας).

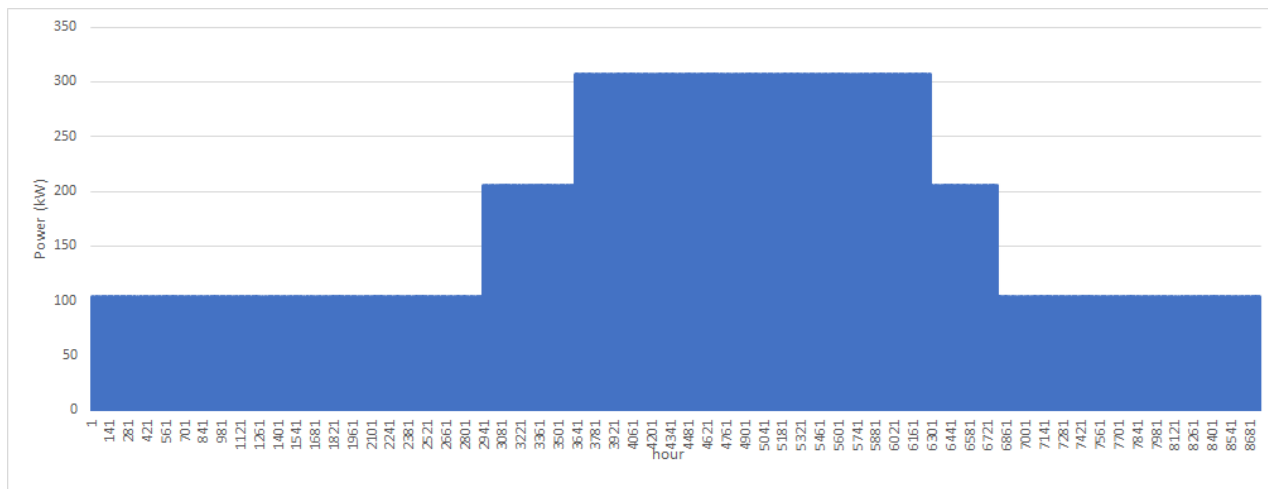
Πίνακας 3.4: Προφίλ ημερήσιας κατανάλωσης ΗΟ (kW).

	Σενάριο Ζήτησης Α (KW)		Σενάριο Ζήτησης Β(KW)	
	Χειμώνας	Θέρος	Χειμώνας	Θέρος
0:00	17,3	73,1	6,1	21,4
1:00	17,3	73,1	16,4	78,8
2:00	17,3	73,1	16,4	78,8
3:00	17,3	73,1	16,4	78,8
4:00	17,3	73,1	16,4	78,8
5:00	17,3	73,1	16,4	78,8
6:00	17,3	73,1	16,4	78,8
7:00	17,3	73,1	16,4	78,8
08:β0	17,3	73,1	16,4	78,8
9:00	17,3	73,1	6,1	21,4
10:00	0	0	6,1	21,4
11:00	0	0	6,1	21,4
12:00	0	0	6,1	21,4
13:00	0	0	6,1	21,4
14:00	0	0	6,1	21,4
15:00	0	0	6,1	21,4
16:00	0	0	6,1	21,4
17:00	0	0	6,1	21,4
18:00	0	0	6,1	21,4
19:00	0	0	6,1	21,4
20:00	0	0	6,1	21,4
21:00	0	0	6,1	21,4
22:00	0	0	6,1	21,4
23:00	0	0	6,1	21,4

(Πηγή: Πατσάκα & Κουκούλα, 2022)

Παράλληλα, η ΡΑΕ (2022) έχει καταρτίσει, ως μέρος του διαγωνισμού αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας Αστυπάλαιας, ένα αναλυτικό πλάνο φόρτισης οχημάτων. Ως ωριαία χρονοσειρά φορτίου για το έτος αναφοράς λαμβάνεται η κάτωθι χρονοσειρά του Σχήματος 3.13.

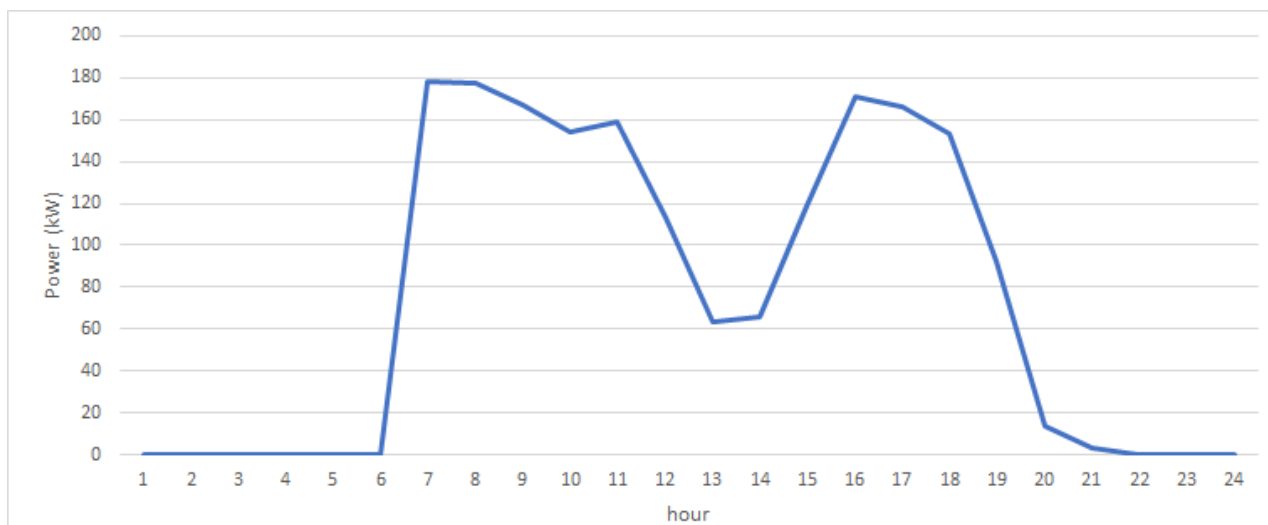
Σχήμα 3.13: Εκτιμήσεις για την εξέλιξη της ζήτησης φορτίου Η/Ο ανά έτος.



(Πηγή: PAE, 2022)

Η ανά μέσο όρο ημερήσια χρονοσειρά φορτίου, για το έτος αναφοράς, απεικονίζεται στο Σχήμα 3.14:

Σχήμα 3.14: Εκτιμήσεις για την εξέλιξη της ζήτησης φορτίου Η/Ο ανά ημέρα.



(Πηγή: PAE, 2022)

Διαπιστώνεται ότι το πλάνο της PAE προβλέπει φόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων κατά τις ώρες παραγωγής. Τα δεδομένα αυτά συνεκτιμώνται για τα διάφορα σενάρια εξέτασης στον ΥΣΠ, που

εξετάζεται στις επόμενες ενότητες. Σημειώνεται ότι τα δεδομένα του ΔΕΔΔΗΕ διαφοροποιούνται από τα δεδομένα της ΡΑΕ, που έγιναν διαθέσιμα στο διαγωνισμό αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας Αστυπάλαιας.

3.4 Μελέτη υβριδικού συστήματος Αστυπάλαιας

Είναι εμφανές το ενδιαφέρον για περιπτώσεις αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στα ελληνικά νησιά. Πέρα από τα ανωτέρω συστήματα, εν εξελίξει είναι η περίπτωση αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια, που είναι και αντικείμενο μελέτης και εξέτασης στην παρούσα ενότητα. Από το 2024 θα υπάρχει ένα νέο υβριδικό σύστημα (φωτοβολταϊκό σύστημα και αποθήκευση μπαταριών) στην Αστυπάλαια, που θα καλύπτει περίπου το 50% της συνολικής ενέργειας του νησιού και 100% ανάγκες φόρτισης μέχρι το 2024. Ως το 2026 επιδιώκεται η κάλυψη του 80% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης του νησιού. Το εν λόγω έργο της Αστυπάλαιας θα αναπτυχθεί από τη «ΔΕΗ Ανανεώσιμες» σε δύο φάσεις. Ο υβριδικός σταθμός, στην πρώτη φάση, θα διαθέτει φωτοβολταϊκά (συνολικής ισχύος 3,5 MW) και συσσωρευτές (χωρητικότητας 10 MWh). Κατόπιν ενεργοποίησης του φωτοβολταϊκού συστήματος, θα αποθηκεύονται 9,1 MWh στους συσσωρευτές, εξοικονομώντας περί τους 1 εκατ. τόνους diesel ετησίως και κατ' επέκταση το κόστος χρήσης θα μειωθεί κατά 22%. Στον Πίνακα 3.5 αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της προσφοράς, που έχει γίνει αποδεκτή προς υλοποίηση.

Πίνακας 3.5: Πίνακας συμμόρφωσης τεχνικής προσφοράς.

A/A	Περιγραφή	Μονάδες	Απαίτηση Προκήρυξης/Υ.Α.	Προσφερόμενη τιμή
1	Εγγυημένη ισχύς του ΥΒΣ ΕΠΕ	MW	$\geq 3,000$	3,000
2	Εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ΑΠΕ του ΥΒΣ ΕΠΕ	MW	$\geq 3,000$	3,531
3	Εγγυημένη ωφέλιμη χωρητικότητα των συστημάτων αποθήκευσης του ΥΒΣ ΕΠΕ (στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο MT)	MWh	$\geq 7,200$	9,111
4	Εγγυημένη ενέργεια προσφορών του ΥΒΣ ΕΠΕ στον ΚΗΕΠ (E_{off})	MWh/έτος	≥ 4.900	6.552
5	Τιμή αναφοράς για την αποζημίωση της ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο από τις μονάδες του ΥΒΣ ΕΠΕ (C_{off})	€/MWh	$\leq 200,0$	164,5
6	Συνολική διείσδυση ΑΠΕ μετά την ένταξη του προσφερόμενου ΥΒΣ ΕΠΕ (συμπεριλαμβανομένων των υφιστάμενων σταθμών ΑΠΕ του νησιού)	%	≥ 50	61,2
7	Κάλυψη της ζήτησης για φόρτιση των Η/Ο	-	Κατά προτεραιότητα	Κάλυψη κατά 100% από τον προσφερόμενο ΥΒΣ ΕΠΕ

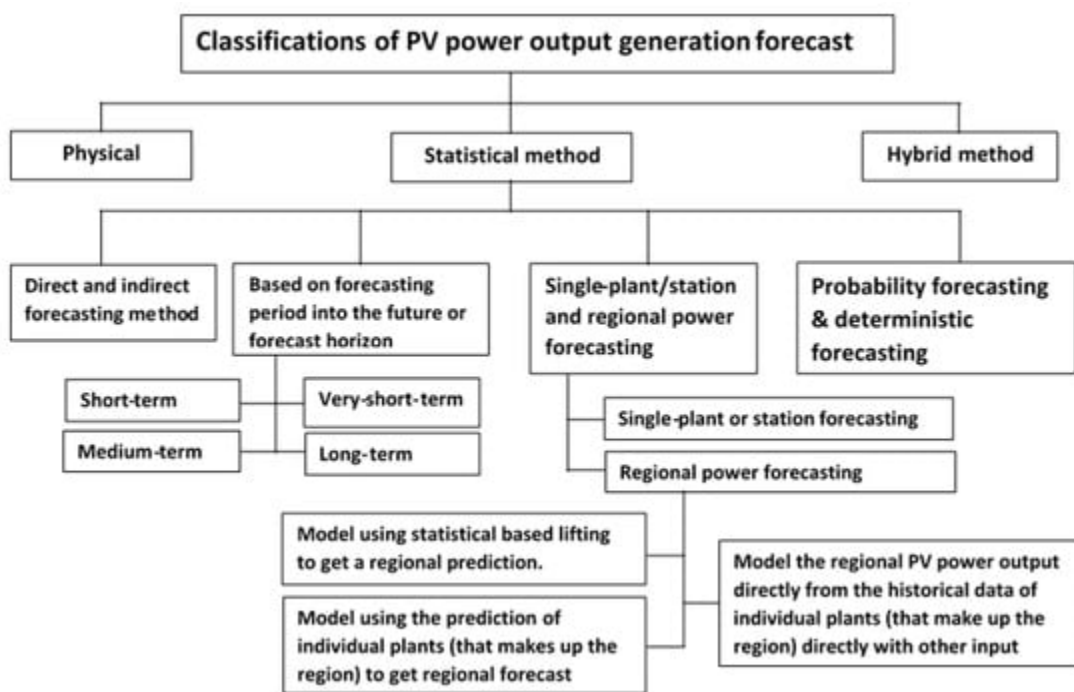
(Πηγή: PAE, 2022)

Τα ανωτέρω στοιχεία λαμβάνονται υπόψη για την προσομοίωση των συστημάτων παραγωγής ΑΠΕ (Φ/Β) καθώς και την τεχνοοικονομική αξιολόγηση της λειτουργίας του υβριδικού σταθμού στα διαφορετικά σενάρια εξέτασης.

3.5 Προσομοίωση παραγωγής από το Φ/Β σταθμό της Αστυπάλαιας

Στην παρούσα ενότητα γίνεται μια εκτενής ανάλυση της προσομοίωσης παραγωγής από το Φ/Β σταθμό στη βάση των μετρητικών δεδομένων και των τεχνικών χαρακτηριστικών της εγκατάστασης στο Φ/Β σταθμό της Αστυπάλαιας. Σε συνέχεια της βιβλιογραφικής ανάλυσης, που προηγήθηκε, στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα μοντέλα προσομοίωσης των Φ/Β σταθμών. Ο κεντρικός στόχος, επομένως, σε αυτήν την ενότητα είναι να παρουσιαστούν τα τυπικά μοντέλα, που προσομοιώνουν τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς και οι μέθοδοι, που χρησιμοποιούνται για τις προβλέψεις ισχύος και παραγωγής ενέργειας για τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: φυσικές, στατιστικές και υβριδικές μέθοδοι (Kelachukwu, 2022).

Σχήμα 3.15: Κατηγοριοποίηση μοντέλων πρόβλεψης ενέργειας.



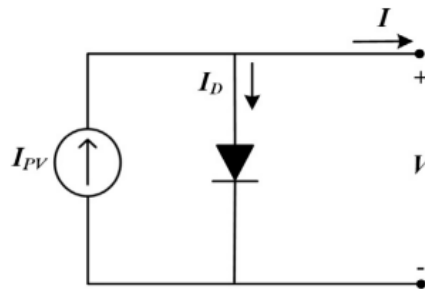
(Πηγή: Kelachukwu, 2022)

Τα φυσικά μοντέλα βασίζονται στην τεχνική περιγραφή και τις παραμέτρους σχεδιασμού του συστήματος φωτοβολταϊκών για να εκτιμήσουν την ηλεκτρική ισχύ, λαμβάνοντας ως είσοδο μετεωρολογικά δεδομένα. Δεδομένου ότι απαιτείται λεπτομερής τεχνική γνώση των

χαρακτηριστικών και των παραμέτρων στο μοντελοποιημένο σύστημα φωτοβολταϊκών, τα φυσικά μοντέλα είναι περισσότερο σχετικά με μονάδες φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, που διαθέτουν όλες τις σχετικές πληροφορίες. Όσον αφορά την ακρίβειά τους, υπάρχουν αναφορές, που αναφέρουν υψηλή απόδοση των φυσικών μοντέλων σε σύγκριση με μοντέλα μηχανικής μάθησης. Το μεγάλο τους πλεονέκτημα, ωστόσο, είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς την ανάγκη διαθεσιμότητας ιστορικών δεδομένων (Kelachukwu, 2022).

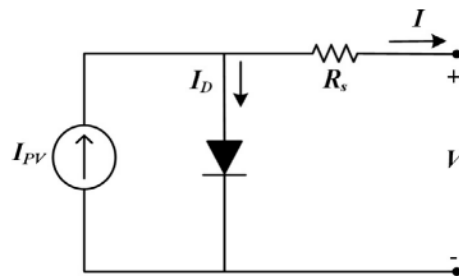
Οι πιο κοινές τεχνικές μοντελοποίησης φωτοβολταϊκών, υπό την κατηγορία των φυσικών μοντέλων, είναι τα μοντέλα, τα οποία βασίζονται σε ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα. Το «μοντέλο μιας διόδου», το οποίο περιλαμβάνει μια πηγή ρεύματος, μία αντίστροφη δίοδο και δύο αντιστάσεις, είναι ένα μοντέλο ισοδύναμου κυκλώματος, που χρησιμοποιείται συχνά (Σχήμα 3.17). Αυτά τα μοντέλα είναι, επίσης, γνωστά ως «μοντέλα πέντε παραμέτρων», καθώς πέντε παράμετροι απαιτούνται για τον πλήρη καθορισμό των χαρακτηριστικών I-V του κελιού φωτοβολταϊκού (Chin et al., 2015).

Σχήμα 3.16: Ιδανικό μοντέλο φωτοβολταϊκού κυττάρου.



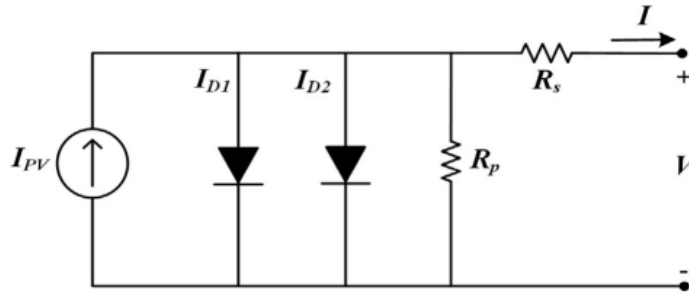
(Πηγή: Chin et al., 2015)

Σχήμα 3.17: Μοντέλο μιας διόδου R_S φωτοβολταϊκού κυττάρου.



(Πηγή: Chin et al., 2015)

Σχήμα 3.18: Μοντέλο δυο διόδων φωτοβολταϊκού κυττάρου.



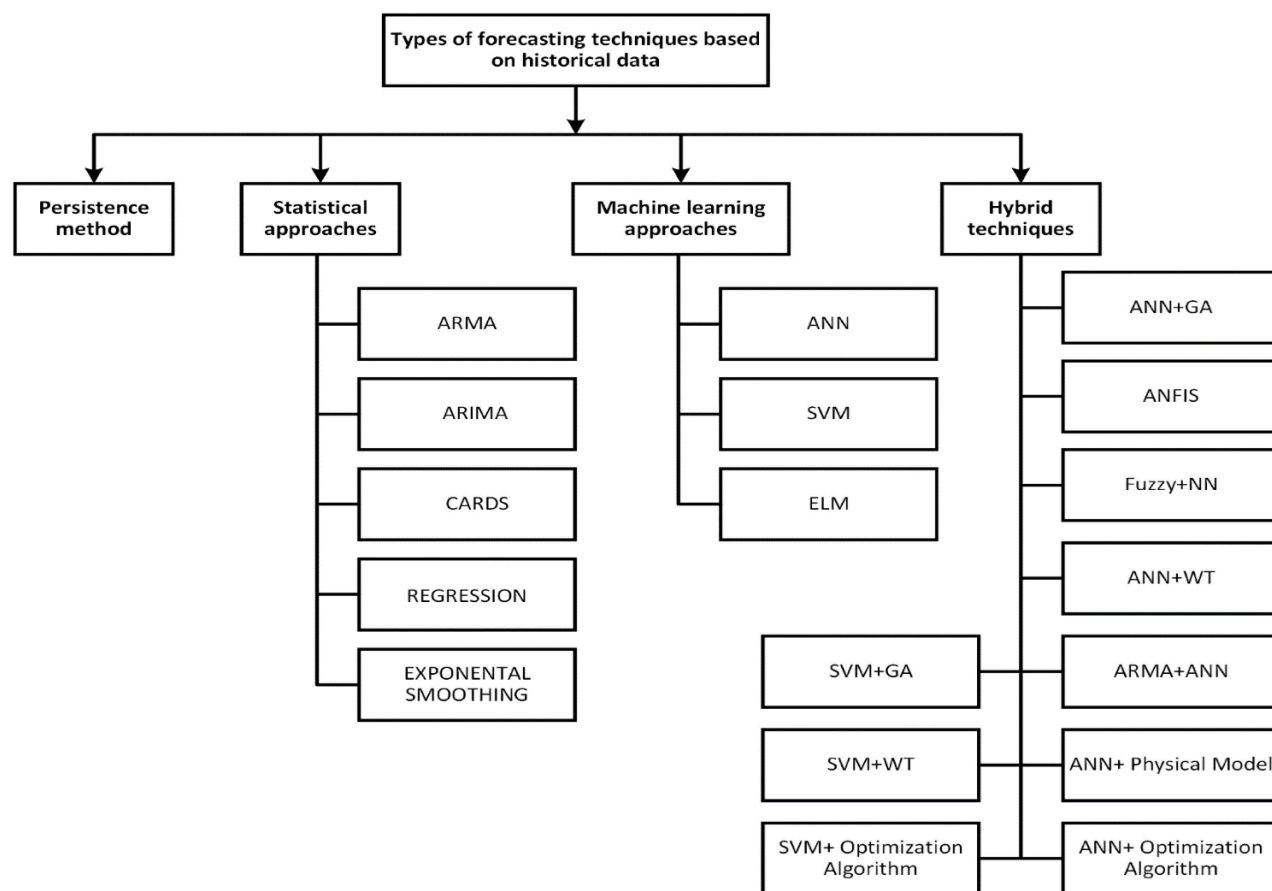
(Πηγή: Chin et al., 2015)

Υπάρχουν, επίσης, απλοποιημένες προσεγγίσεις των «μοντέλων πέντε παραμέτρων», όπου απαιτείται ο καθορισμός τριών και τεσσάρων παραμέτρων, αντίστοιχα. Εκτός από τα μοντέλα μιας διόδου υπάρχει, επίσης, το μοντέλο δυο διόδων (Σχήμα 3.18), που απαιτεί επτά παραμέτρους για να χαρακτηριστεί και είναι μια καλή επιλογή, λόγω της βελτιωμένης ακρίβειάς του σε χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας (Chin et al., 2015).

Από την άλλη μεριά, τα στατιστικά μοντέλα κερδίζουν δημοτικότητα τα τελευταία χρόνια, λόγω της ανάπτυξης της τεχνητής νοημοσύνης και της ανάγκης αντιμετώπισης της χαμηλής απόδοσης των φυσικών μοντέλων στις προβλέψεις επί βραχυπρόθεσμου χρονικού ορίζοντα. Αυτά τα μοντέλα, που βασίζονται στα δεδομένα, απαιτούν ιστορικά δεδομένα παραγωγής και ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ δεν απαιτούν καμία πληροφορία σχετικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος PV ως είσοδο. Αμφότερες οι τεχνικές μηχανικής μάθησης (Machine learning, ML) και βαθιάς μάθησης (Deep Learning, DL) έχουν χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της παραγωγής των συστημάτων PV (Ulbricht et al., 2013). Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks, ANN) αποτελούν την πιο κοινή μέθοδο βασισμένη σε ML, που χρησιμοποιείται στην πρόβλεψη των συστημάτων PV. Στο πλαίσιο της μεθόδου ANN, τα νευρωνικά δίκτυα πολλαπλών στρωμάτων (Multi-Layer Perceptron, MLP) και τα δίκτυα συναρτησιακών βάσεων (Radial Basis Function - Neural Network, RBF-NN) υιοθετούνται για την πρόβλεψη των συστημάτων PV (Timplalexis et al., 2020; Almeida et al., 2017). Άλλες τεχνικές ML, που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της παραγωγής των συστημάτων PV εκτός από τα ANN, είναι η μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης (Support Vector Machine, SVM) και η μηχανή ακραίας μάθησης (Extreme Learning Machine, ELM) (Ogliari et al., 2017; Mellit & Pavan, 2010; Ehsan et al., 2016). Οι τεχνικές DL

έχουν εξεταστεί πρόσφατα στον τομέα της πρόβλεψης των συστημάτων PV με τη χρήση συνελκτικών νευρωνικών δικτύων (Convolutional Neural Networks, CNN), μεθόδων μακροπρόθεσμης και βραχυπρόθεσμης μνήμης (Long Short-term Memory, LSTM) και τους συνδυασμούς τους. Εκτός από τις τεχνικές ML, υπάρχουν και άλλες στατιστικές προσεγγίσεις, που βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα για την πρόβλεψη της ισχύος των συστημάτων PV, όπως φαίνονται στο κάτωθι σχήμα (Akhter et al., 2019; Shi et al., 2011; Wang et al., 2019).

Σχήμα 3.19: Τεχνικές πρόβλεψης ηλιακής ενέργειας βασισμένες σε ιστορικά δεδομένα.



(Πηγή: Akhter et al., 2019)

Εκτός από τις προαναφερθείσες μεθόδους, έχουν εξεταστεί, επίσης, υβριδικές μέθοδοι, που συνδυάζουν είτε πολλαπλά στατιστικά μοντέλα (υβριδικά-στατιστικά) είτε φυσικά και στατιστικά μοντέλα (υβριδικά-φυσικά) για την πρόβλεψη των συστημάτων PV. Στο πλαίσιο της παρούσας

εργασίας, το ιδανικό μοντέλο λαμβάνεται υπόψη για τη μοντελοποίηση, που χαρακτηρίζεται από τη σχέση:

$$I = I_{ph} - I_o \left(\exp \frac{q(V+R_s I)}{aKT N_s} - 1 \right) - \frac{(V+R_s I)}{R_{sh}} \quad (\sigma\chi. 3.1)$$

όπου:

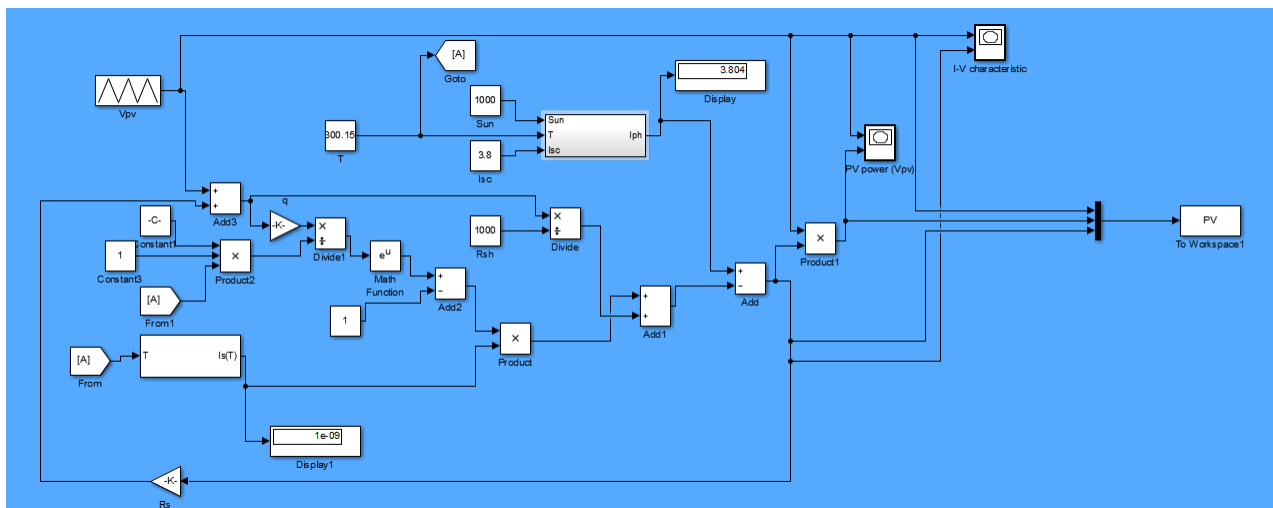
$$I_{ph} = (I_{sc} + K_i(T - 298.15)) \frac{G}{1000} \quad (\sigma\chi. 3.2)$$

και

$$I_o = \frac{I_{sc} + K_i(T - 298.15)}{\exp \left(\frac{q(V_{oc} + K_v(T - 298.15))}{aKT N_s} \right) - 1} \quad (\sigma\chi. 3.3)$$

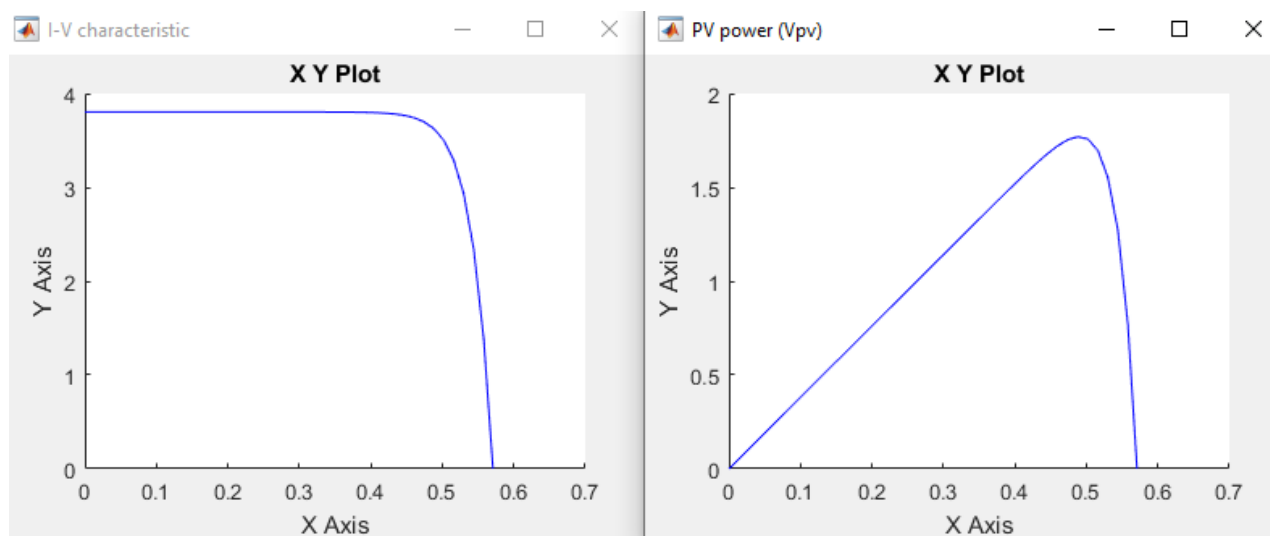
με I_{ph} το φωτορεύμα, I_o το αντίστροφο ρεύμα κορεσμού της διόδου, N_s ο αριθμός των κυψελών σε σειρά, V_m η τάση στα άκρα του μοντέλου, I_m το ρεύμα του μοντέλου, T η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε Κέλβιν, a ο παράγοντας ιδεατότητας, K η σταθερά Boltzmann, q το φορτίο του ηλεκτρονίου, G η ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2), R_s και R_{sh} οι αντιστάσεις σε σειρά και εν παραλλήλω του μοντέλου. Η μοντελοποίηση της εξίσωσης στο MATLAB φαίνεται στο Σχήμα 3.20.

Σχήμα 3.20: Μοντελοποίηση της εξίσωσης για πρόβλεψη παραγωγής PV στο MATLAB.



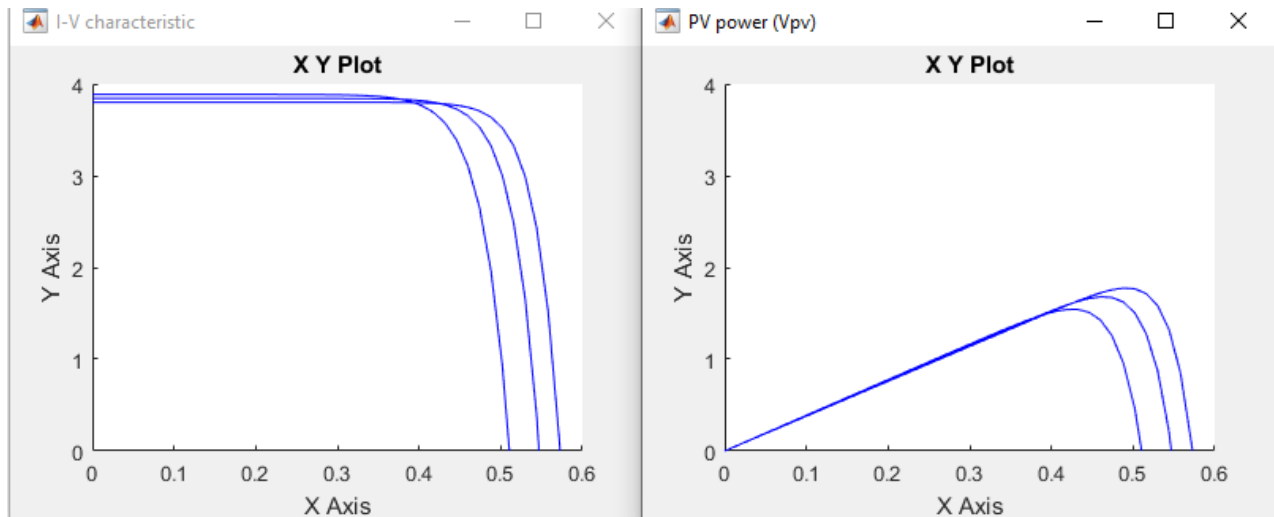
Η εν λόγω μοντελοποίηση στο MATLAB παράγει τις χαρακτηριστικές I-V και P-V ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου (για δεδομένες συνθήκες θερμοκρασίας / ωτεινότητας – στο παράδειγμα μελέτης $26^{\circ}\text{C} - 1000\text{W/m}^2$). Ιδιαίτερα η δεύτερη καμπύλη είναι σημαντική, καθώς το ακρότατο σημείο δίνει το πεδίο βέλτιστης λειτουργίας του Φ/Β στοιχείου (MPPT operation).

Σχήμα 3.21: Χαρακτηριστικές I-V και P-V ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο MATLAB.

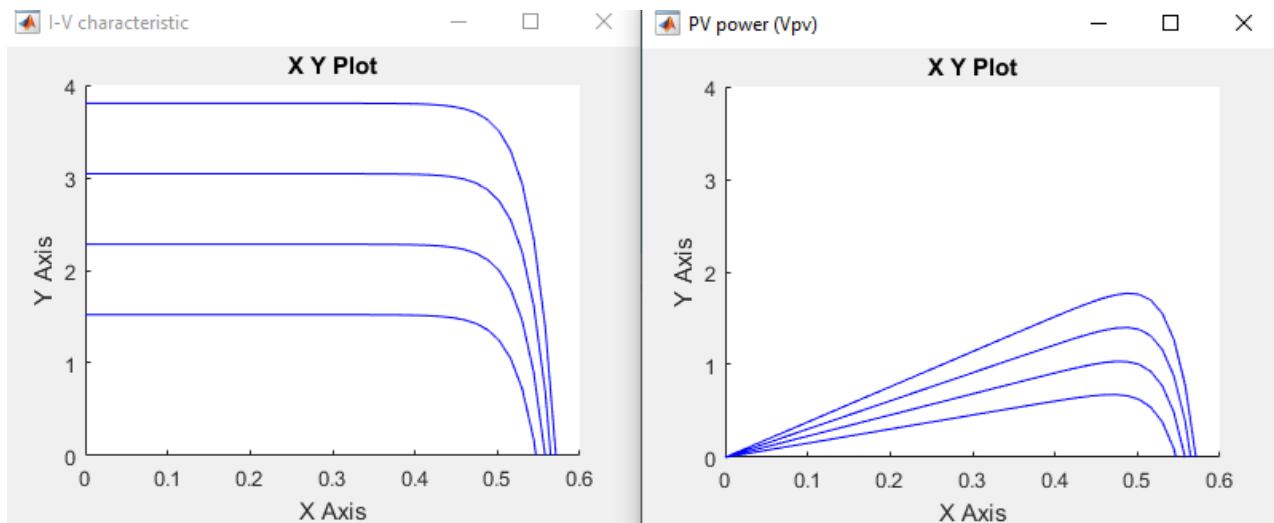


Διαπιστώνεται ανωτέρω η συσχέτιση της καμπύλης παραγωγής με τις συνθήκες θερμοκρασίας / φωτεινότητας. Η προσομοίωση στο MATLAB εκτελείται, επομένως, για διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας / φωτεινότητας, ώστε να διαπιστωθεί ακριβώς η επίδραση αυτή, ενώ τα αποτελέσματα παρουσιάζονται κάτωθι.

Σχήμα 3.22: Επίδραση θερμοκρασίας στις χαρακτηριστικές I-V και P-V ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο MATLAB.



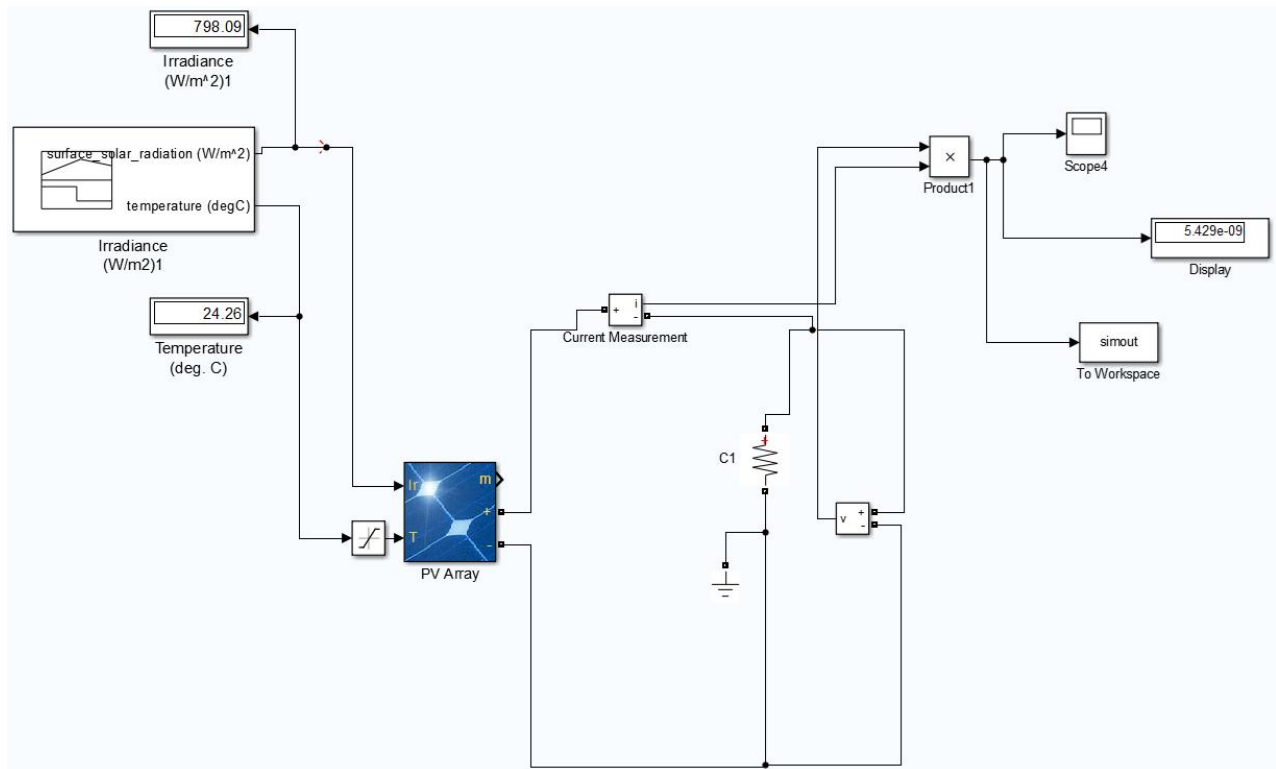
Σχήμα 3.23: Επίδραση φωτεινότητας στις χαρακτηριστικές I-V και P-V ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο MATLAB.



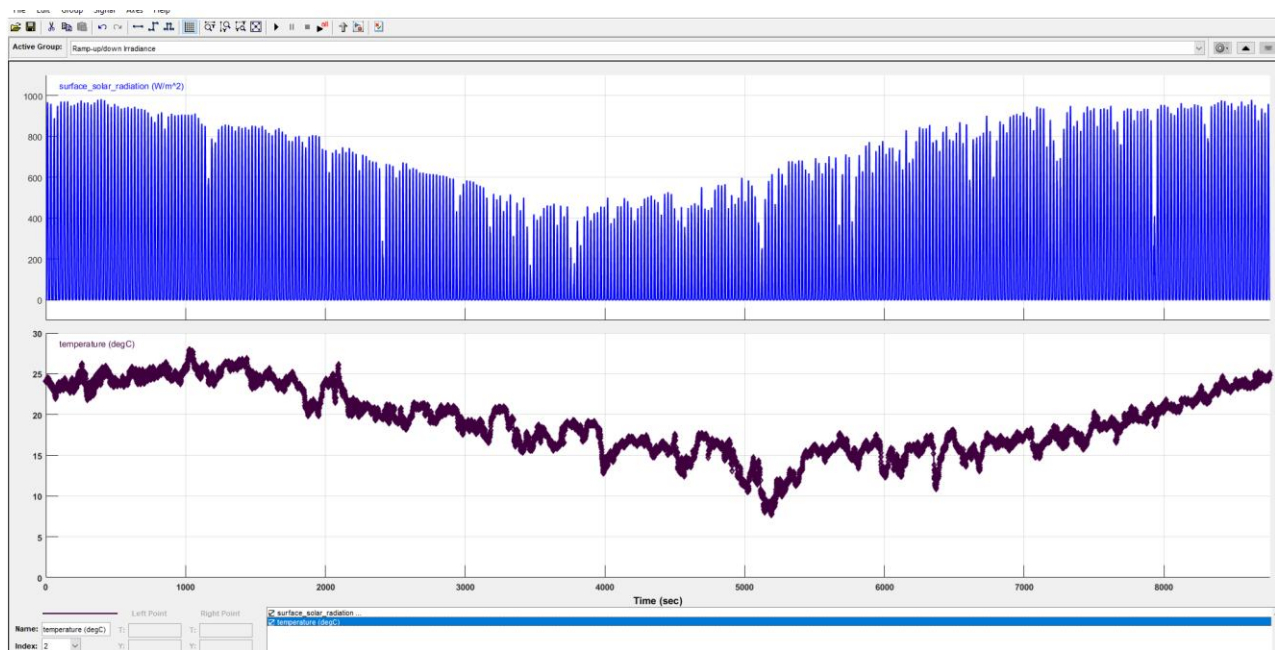
Σε συνέχεια της αναλυτικής προσέγγισης, όπως αναφέρθηκε παραπάνω (και με δεδομένη τη συσχέτιση της τελικής παραγωγής από τα δεδομένα ηλιοφάνειας και θερμοκρασίας), λαμβάνεται υπόψη το μοντέλο Φ/Β στο MATLAB, προκειμένου να προσομοιωθεί η παραγωγή του συστήματος για το νησί της Αстуπάλαιας. Σημειώνεται ότι υιοθετείται η βέλτιστη λειτουργία της εγκατάστασης σε ιδανικές συνθήκες (simplified MPPT) και τροποποιημένες τις τιμές των

παραμέτρων ηλιοφάνειας και θερμοκρασίας, προκειμένου να εξεταστεί η παραγωγή από τη διάταξη. Η μοντελοποίηση του συστήματος στο MATLAB φαίνεται στο Σχήμα 3.34.

Σχήμα 3.24: Μοντελοποίηση του συστήματος παραγωγής ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο MATLAB.

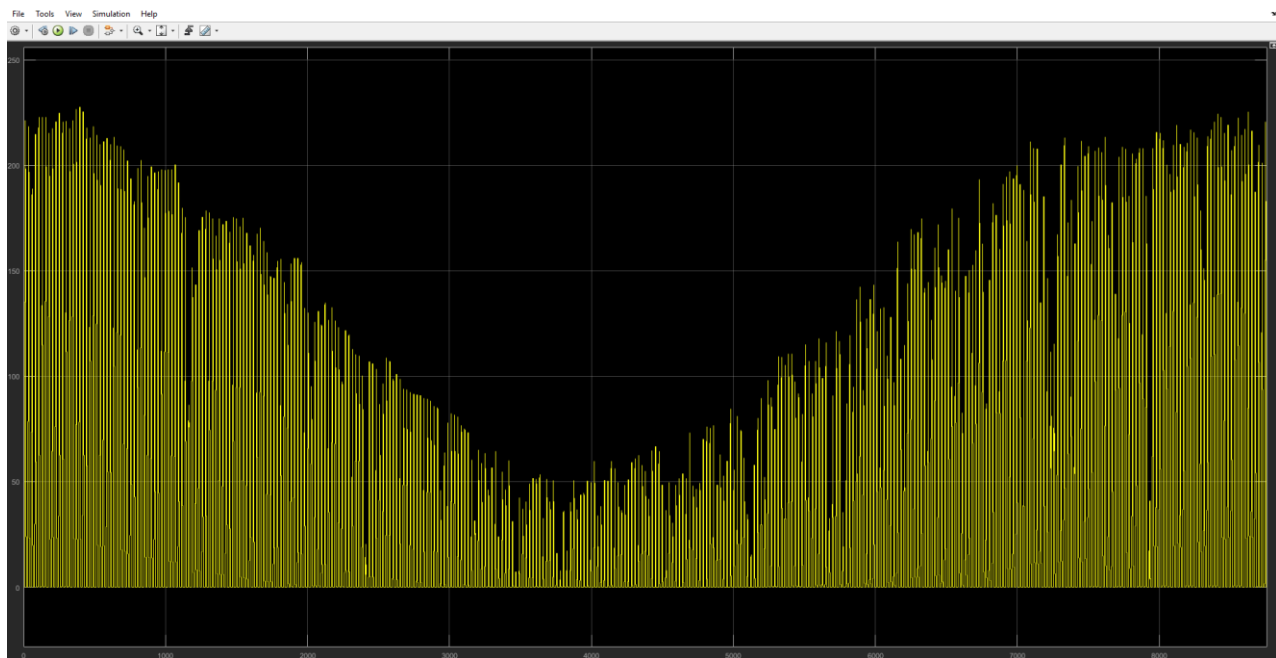


Σχήμα 3.25: Δεδομένα εισόδου στη μοντελοποίηση του συστήματος παραγωγής ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο MATLAB.



Η αναπαράσταση των δεδομένων εξόδου για το πρώτο έτος εξέτασης απεικονίζεται στο Σχήμα 3.26.

Σχήμα 3.26: Αποτέλεσμα μοντελοποίησης του συστήματος παραγωγής ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο MATLAB.



Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται υπόψη για την προσομοίωση της τεχνοοικονομικής λειτουργίας του αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

3.6 Προσομοίωση παραγωγής από τον Α/Γ σταθμό της Αστυπάλαιας

Τα μοντέλα πρόβλεψης ανέμου μπορούν γενικά να ταξινομηθούν στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες, όπως και τα μοντέλα Φ/Β, που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα: (i) φυσικά μοντέλα, (ii) στατιστικά και υπολογιστικά μοντέλα και (iii) υβριδικά μοντέλα (Manwell et al., 2010; Gasch & Tewe, 2011). Το φυσικό μοντέλο βασίζεται στις εξισώσεις λειτουργίας των επιμέρους στοιχείων της Α/Γ, όπως αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2, και είναι αντικείμενο εξέτασης στη συνέχεια, επομένως μια σύντομη περιγραφή στις άλλες δυο μεθόδους παρέχεται στην παρούσα ενότητα.

Αναφορικά με τα στατιστικά μοντέλα και τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, η προσέγγιση της τεχνητής νοημοσύνης ανήκει στη στατιστική προσέγγιση, αφού άπτεται του καθορισμού της σχέσης μεταξύ εισόδου και εξόδου με μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης, αντί να χρησιμοποιήσει

την αναλυτική μέθοδο. Πολλές μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης είναι καλύτερες από τις συμβατικές μεθόδους και έχουν καλή προοπτική ανάπτυξης (Foley et al., 2012; Lei et al., 2009). Τα στατιστικά μοντέλα είναι εύκολα στη χρήση και φθηνότερα στην ανάπτυξη, σε σύγκριση με άλλα μοντέλα. Οι στατιστικές μέθοδοι χρησιμοποιούν το προηγούμενο ιστορικό δεδομένων ανέμου για να πραγματοποιήσουν μια πρόβλεψη τις επόμενες ώρες, είναι καλές για σύντομες χρονικές περιόδους. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι το σφάλμα πρόβλεψης αυξάνεται όσο αυξάνεται η χρονική πρόβλεψη, δηλαδή, οι στατιστικές χρονοσειρές και οι μέθοδοι των νευρωνικών δικτύων προορίζονται κυρίως για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις (Wu & Hong, 2007; Chang, 2014). Σύμφωνα με τους Soman και συν. (2010), η υποταξινόμηση αυτής της προσέγγισης δύναται να οριστεί ως τα μοντέλα, που βασίζονται σε χρονικές σειρές, και οι μέθοδοι, που βασίζονται σε νευρωνικά δίκτυα. Αυτές οι μέθοδοι πρόβλεψης χρησιμοποιούνται γενικά για μικρούς ορίζοντες πρόβλεψης (mesoscale), επειδή, σε αυτούς τους ορίζοντες, η συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων των ανέμων και κατά συνέπεια της παραγωγής είναι μεγαλύτερη. Τα στατιστικά μοντέλα, που αναφέρονται, περιλαμβάνουν τα αυτοπαλινδρομικά μοντέλα (AutoRegressive, AR), τα αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινητών μέσων όρων (AutoRegressive Moving Average, ARMA) και τα ολοκληρωμένα αυτοπαλινδρομικά μοντέλα κινητών μέσων όρων (AutoRegressive Integrated Moving Average, ARIMA). Οι στατιστικές μέθοδοι, σε πολλές προβλέψεις, χρησιμοποιούν τη διαφορά μεταξύ της προβλεπόμενης και της πραγματικής ταχύτητας ανέμου για να προσαρμόσουν τις παραμέτρους του μοντέλου. Το πλεονέκτημα των τεχνητών νευρωνικών δικτύων είναι να γνωρίζουν τη σχέση μεταξύ εισόδων και εξόδων με μια μη στατιστική προσέγγιση. Σύμφωνα με τους Firat και συν. (2010), τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν εύκολα να μάθουν από τη χαρτογράφηση εισόδου και εξόδου κατά τη διάρκεια της φάσης εκπαίδευσης. Αυτό επιτρέπει στα νευρωνικά μοντέλα να έχουν καλή απόδοση, ακόμη και χωρίς τη γνώση του προβλήματος από τους ερευνητές. Το πλεονέκτημα, που σχετίζεται με τις άλλες μεθόδους, είναι η παροχή σχετικά φθηνών μοντέλων στατιστικής προβολής, που δεν απαιτούν άλλα δεδομένα εκτός από ιστορικά δεδομένα παραγωγής αιολικής ενέργειας. Ωστόσο, η ακρίβεια πρόβλεψης για αυτά τα μοντέλα μειώνεται σημαντικά όταν επεκταθεί ο χρονικός ορίζοντας (Firat et al., 2010).

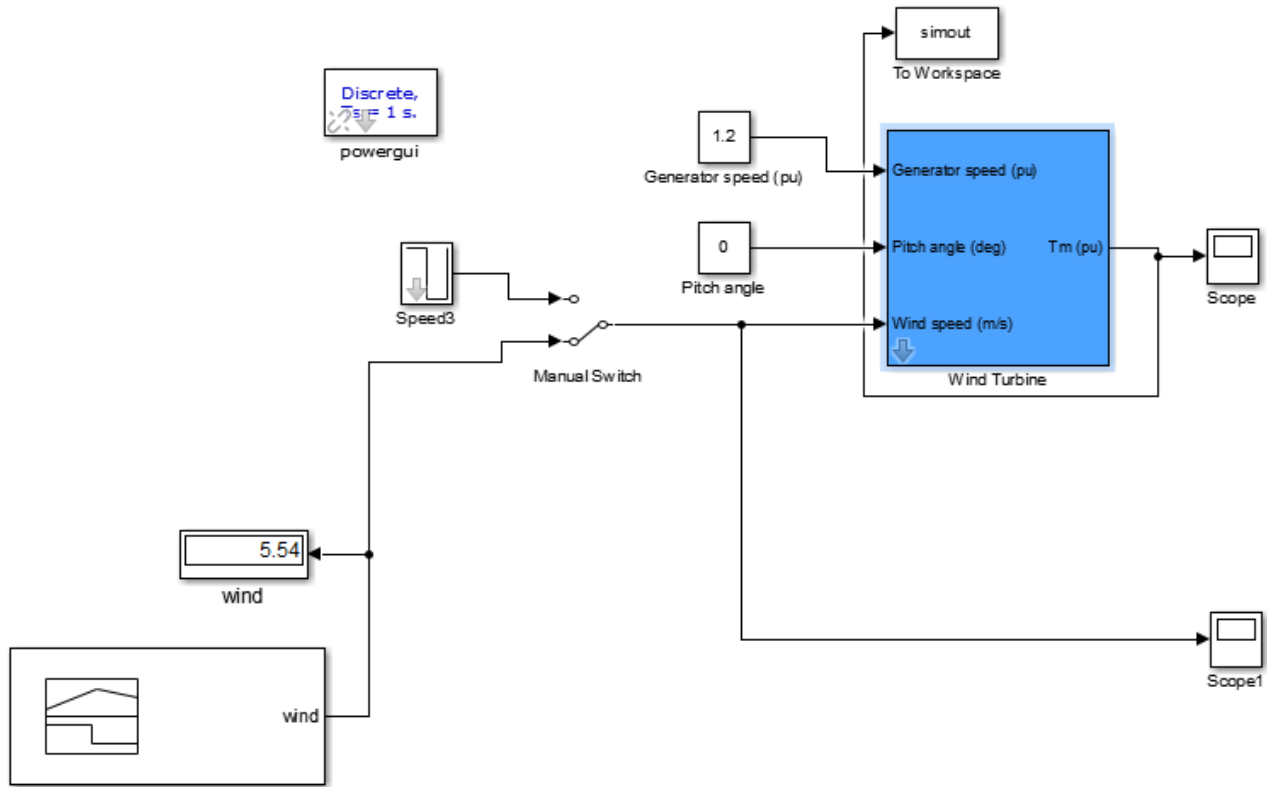
Ως προς το μικτό ή υβριδικό μοντέλο, συνήθως συνιστούν τον συνδυασμό διαφορετικών προσεγγίσεων, όπως φυσικές και στατιστικές προσεγγίσεις, μοντέλα που συνδυάζουν βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα κλπ. (Wu & Hong, 2007). Σύμφωνα με τον Chang (2014), το αντικείμενο των υβριδικών μοντέλων είναι να επωφεληθούν από τα πλεονεκτήματα κάθε

επιμέρους μοντέλου και να επιτύχουν τη βέλτιστη συνολική απόδοση πρόβλεψης. Δεδομένου ότι οι πληροφορίες, που περιέχονται στη μέθοδο μεμονωμένης πρόβλεψης, είναι περιορισμένες, η υβριδική μέθοδος μπορεί να μεγιστοποιήσει τις διαθέσιμες πληροφορίες, να ενσωματώσει πληροφορίες από μεμονωμένα μοντέλα και να αξιοποιήσει με τον καλύτερο τρόπο τα πλεονεκτήματα των διαφόρων μεθόδων πρόβλεψης, βελτιώνοντας έτσι την ακρίβεια πρόβλεψης. Πολλοί τύποι υβριδικών μοντέλων χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της αιολικής ενέργειας. Οι τύποι συνδυασμών μπορούν να είναι:

- συνδυασμός φυσικών και στατιστικών προσεγγίσεων.
- συνδυασμός μοντέλων βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα.
- συνδυασμός εναλλακτικών στατιστικών μοντέλων.
- συνδυασμός εναλλακτικών μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης.

Στην παρούσα ενότητα γίνεται προσομοίωση της παραγωγής από ένα πιθανό Α/Γ σταθμό της Αστυπάλαιας και παρουσιάζονται μόνο τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης μιας Α/Γ στο MATLAB (κατά αντιστοιχία με την μοντελοποίηση του σταθμού Φ/Β και με γνώμονα τη συλλογή των δεδομένων για την προσομοίωση της τεχνοοικονομικής λειτουργίας του αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας). Στη βάση της μοντελοποίησης αποτελεί το μοντέλο της διαθέσιμης γεννήτριας του MATLAB. Το μοντέλο βασίζεται στα χαρακτηριστικά ενεργού ισχύος στην κατάσταση ισορροπίας της ανεμογεννήτριας.

Σχήμα 3.27: Μοντελοποίηση του συστήματος παραγωγής ενός Α/Γ στοιχείου στο MATLAB.



Η ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$P_m = c_p(\lambda, \beta) \cdot \rho \cdot A \cdot v_{\text{wind}}^3 / 2 \quad (\text{σχ. 3.4})$$

όπου P_m η μηχανική ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας (W), C_p ο συντελεστής απόδοσης της ανεμογεννήτριας, με λ τον λόγο ταχύτητας άκρου λεπίδας του ρότορα προς την ταχύτητα του ανέμου και β τη γωνία κλίσης της λεπίδας (μοίρες), ρ την πυκνότητα του αέρα (kg/m^3), A την επιφάνεια που παρουσιάζεται στον άνεμο από την ανεμογεννήτρια (m^2) και V_{wind} την ταχύτητα του ανέμου (m/s).

Για το μοντέλο της $c_p(\lambda, \beta)$ χρησιμοποιείται μια γενική εξίσωση, βασισμένη στη μοντελοποίηση των χαρακτηριστικών της ανεμογεννήτριας:

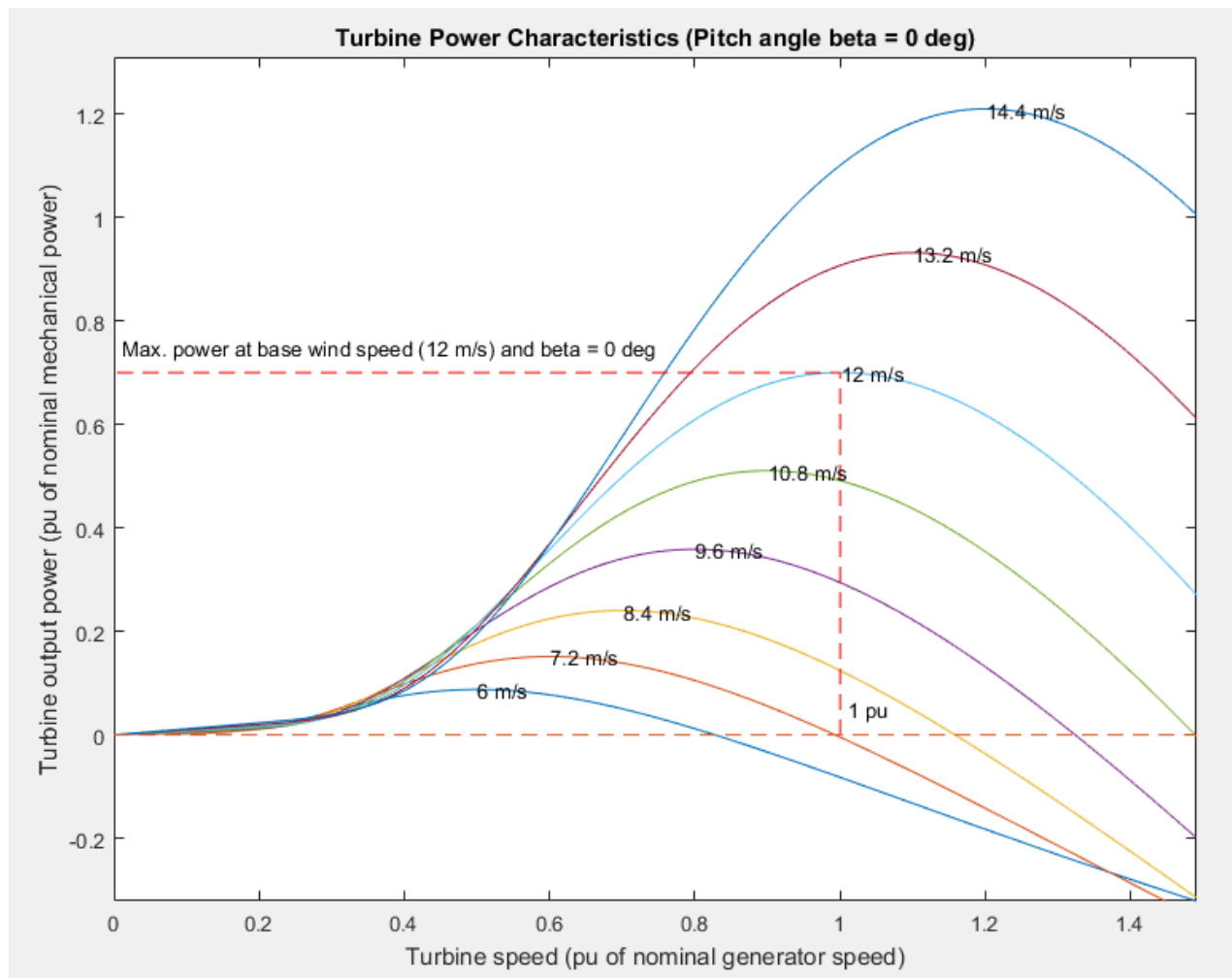
$$c_p(\lambda, \beta) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{-\frac{c_5}{\lambda_i} + c_6 \lambda} \quad (\text{σχ. 3.5})$$

με:

$$\lambda_i = \frac{1}{\lambda} + 0.08\beta - 0.035\beta^3 + 1 \quad (\text{σχ. 3.6})$$

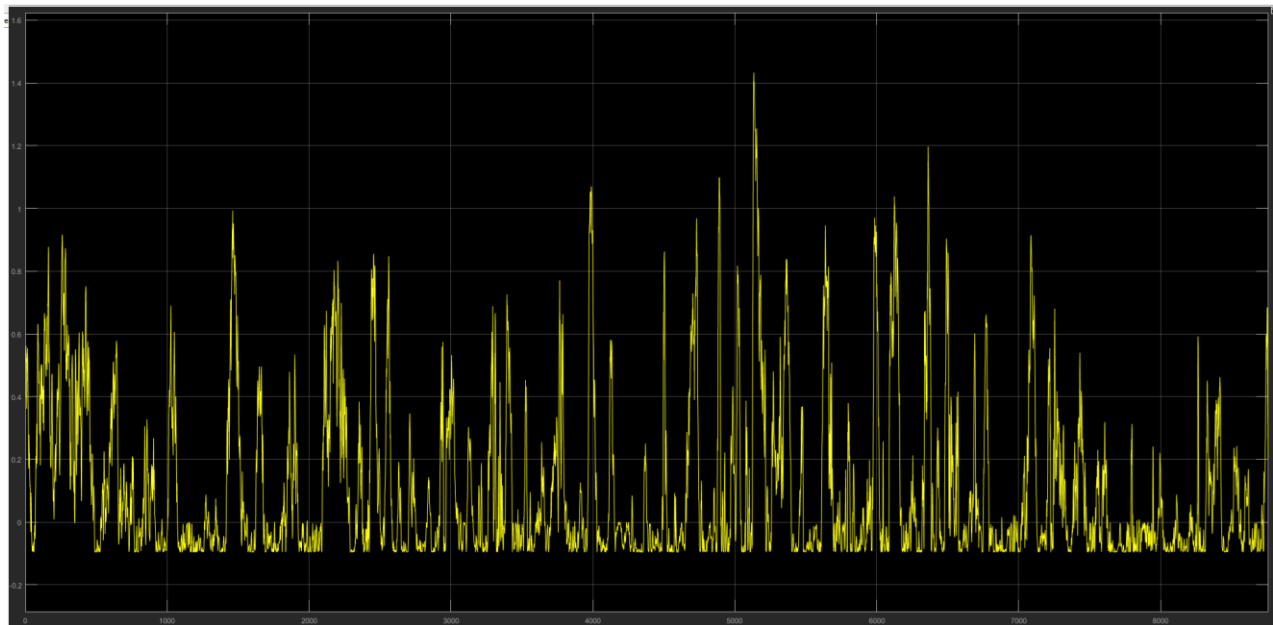
Οι συντελεστές c_1 έως c_6 είναι: $c_1 = 0.5176$, $c_2 = 116$, $c_3 = 0.4$, $c_4 = 5$, $c_5 = 21$ και $c_6 = 0.0068$ και η γραφική παράσταση για την παραγόμενη ενέργεια είναι αυτή του Σχήματος 3.28.

Σχήμα 3.28: Μοντελοποίηση του συστήματος παραγωγής ενός Α/Γ στοιχείου στο MATLAB – Καμπύλη $c_p(\lambda, \beta)$.



Όπως, παρουσιάστηκε ανωτέρω, τα ιστορικά δεδομένα ενός έτους λαμβάνονται υπόψη για την παραγωγή από την Α/Γ. Η προσομοίωση δίνει τα αποτελέσματα (θεωρώντας τις βασικές παραμέτρους για ταχύτητα ρότορα και γωνία κλίσης), όπως στο Σχήμα 3.29.

Σχήμα 3.29: Αποτελέσματα μοντελοποίησης του συστήματος παραγωγής ενός Α/Γ στοιχείου στο MATLAB.



Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται υπόψη για την προσομοίωση της τεχνοοικονομικής λειτουργίας του αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

3.7 Τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά του αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Με βάση τα ανωτέρω στοιχεία, η προσομοίωση της τεχνοοικονομικής λειτουργίας του αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνει χώρα στην παρούσα ενότητα. Αρχικά, τα διαφορετικά σενάρια εξέτασης ορίζονται συνδυαστικά με τις διαθέσιμες μονάδες στο νησί.

Πίνακας 3.6: Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.

Σενάριο	PV	Wind	Battery	Load	EV
Σενάριο 1	Baseline	-	Baseline	Baseline	-
Σενάριο 2	1.5 * Baseline	-	Baseline	Baseline	-
Σενάριο 3	2 * Baseline	-	Baseline	Baseline	-
Σενάριο 4	Baseline	-	1.5 * Baseline	Baseline	-
Σενάριο 5	1.5 * Baseline	-	1.5 * Baseline	Baseline	-
Σενάριο 6	2 * Baseline	-	1.5 * Baseline	Baseline	-
Σενάριο 7	Baseline	-	1.5 * Baseline & Charge/Discharge	Baseline	-
Σενάριο 8	1.5 * Baseline	-	1.5 * Baseline & Charge/Discharge	Baseline	-
Σενάριο 9	2 * Baseline	-	1.5 * Baseline & Charge/Discharge	Baseline	-
Σενάριο 10	Baseline	-	Baseline & Charge/Discharge	Baseline	-
Σενάριο 11	1.5 * Baseline	-	Baseline & Charge/Discharge	Baseline	-
Σενάριο 12	2 * Baseline	-	Baseline & Charge/Discharge	Baseline	-
Σενάριο 13	Baseline	-	Baseline	Baseline	EV low
Σενάριο 14	Baseline	-	Baseline	Baseline	EV max
Σενάριο 15	Baseline	Baseline	Baseline	Baseline	-
Σενάριο 16	1.5 * Baseline	1.5 * Baseline	1.5 * Baseline	Baseline	-
Σενάριο 17	2 * Baseline	2 * Baseline	1.5 * Baseline & Charge/Discharge	Baseline	-
Σενάριο 18	2 * Baseline	-	Baseline & Charge/Discharge	1.5* Baseline	

Σαν σενάριο βάσης ορίζεται το υπάρχον σχέδιο εγκατάστασης της πρώτης φάσης. Τα υπόλοιπα σενάρια ορίζονται συνδυαστικά, λαμβάνοντας υπόψη:

- την εγκατάσταση μεγαλύτερου συστήματος Φ/Β
- την εγκατάσταση μεγαλύτερου συστήματος μπαταρίας (χωρητικότητα και φόρτιση / εκφόρτιση)
- την εγκατάσταση συστήματος Α/Γ
- την εγκατάσταση φόρτου από Η/Ο
- την εγκατάσταση μεγαλύτερου φόρτου συστήματος

Αρχικά, τα τεχνικά αποτελέσματα λαμβάνονται υπόψη για την προσομοίωση λειτουργίας του συστήματος. Ο ψευδοκωδικας, που υλοποιήθηκε για την προσομοίωση λειτουργίας του συστήματος αποτυπώνεται κάτωθι:

```

# Initialize the battery state
battery_state[1] = initial_battery_state
# Microgrid operation
for t = 1 to num_periods
    # Calculate available energy from demand and generation
    available_energy = generation_forecast[t] - load_demand[t]

    # Check if the battery needs to be charged from the excess of energy
    if available_energy > 0
        # Limit charging power based on maximum charge power
        charge_power = min(min(available_energy, max_charge_power), battery_capacity - battery_state[t])
        battery_state[t] = battery_state[t] + charge_power / battery_efficiency
        battery_charge_discharge[t] = charge_power
        grid_export[t] = abs(available_energy) - charge_power
    else
        # Limit discharging power based on maximum discharge power
        discharge_power = min(min(abs(available_energy), max_discharge_power), battery_state[t])
        battery_state[t] = battery_state[t] - discharge_power * battery_efficiency
        battery_charge_discharge[t] = -discharge_power
        grid_import[t] = abs(available_energy) - discharge_power
    end

    # Ensure the battery state stays within its capacity limits
    battery_state[t] = max(0, min(battery_state[t], battery_capacity))

    # Update the battery state for the next time period
    if t < num_periods
        battery_state[t + 1] = battery_state[t] * battery_efficiency
    end

    # Display results for this time period (commented out for cleaner output)
    # print('Time Period ' + str(t) + ':')
    # print('Grid Import (kWh): ' + str(grid_import[t]))
    # print('Battery State of Charge (kWh): ' + str(battery_state[t]))
end

```

Τα αποτελέσματα είναι για κάθε σενάριο:

- χρήση μπαταρίας για φόρτιση και εκφόρτιση
- στάθμη χωρητικότητας μπαταρίας
- έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο
- έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο

Με βάση τα ανωτέρω είναι προφανές και ο υπολογισμός του ποσοστού ιδιοκατανάλωσης, που αναφέρεται στην κατανάλωση ενέργειας, η οποία παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε έναν χώρο ή σε μια κοινότητα, και που χρησιμοποιείται από τον ίδιο τον παραγωγό της ενέργειας για τις δικές του ανάγκες, αντί να εισέρχεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Ο τύπος για την υπολογισμό της ιδιοκατανάλωσης ενέργειας μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\text{Ιδιοκατανάλωση} = \frac{\text{Παραγόμενη Ενέργεια που Καταναλώνεται Εντός του Συστήματος}}{\text{Συνολική Παραγόμενη Ενέργεια}} \times 100 \quad (\text{σχ. 3.7})$$

όπου η «παραγόμενη ενέργεια που καταναλώνεται εντός του συστήματος» είναι η ενέργεια, που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές και χρησιμοποιείται απευθείας ή αποθηκεύεται για τις ανάγκες του καταναλωτή και η «συνολική παραγόμενη ενέργεια» είναι η συνολική ενέργεια, που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές.

Τα αναλυτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης ανά ώρα για κάθε σενάριο παρουσιάζονται στους πίνακες του Παραρτήματος Β. Πιο συγκεκριμένα, εκεί αναφέρονται τα δεδομένα ζήτησης, παραγωγής, προσομοίωσης της κατάστασης μπαταρίας και εξάγονται από αυτά τα δεδομένα έγχυσης ενέργειας στο δίκτυο ή απορρόφησης ενέργειας από το δίκτυο. Στη βάση των ανωτέρω ωριαίων τιμών:

- 1) αθροίζονται τα δεδομένα ζήτησης προς υπολογισμό της συνολικής ετήσιας ζήτησης.
- 2) αθροίζονται τα δεδομένα παραγωγής προς υπολογισμό της συνολικής ετήσιας παραγωγής.
- 3) αθροίζονται τα δεδομένα grid import προς υπολογισμό της συνολικής ετήσιας απορρόφησης ενέργειας από το δίκτυο.
- 4) αθροίζονται τα δεδομένα grid export προς υπολογισμό της συνολικής ετήσιας έγχυσης ενέργειας από το δίκτυο.
- 5) αθροίζονται τα δεδομένα balance (η στήλη balance δηλώνει το τελικό ισοζύγιο μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης και ισούται με τη διαφορά αρχικής και τελικής κατάστασης της μπαταρίας) προς έλεγχο της τελικής κατάστασης της μπαταρίας μετά το ισοζύγιο.

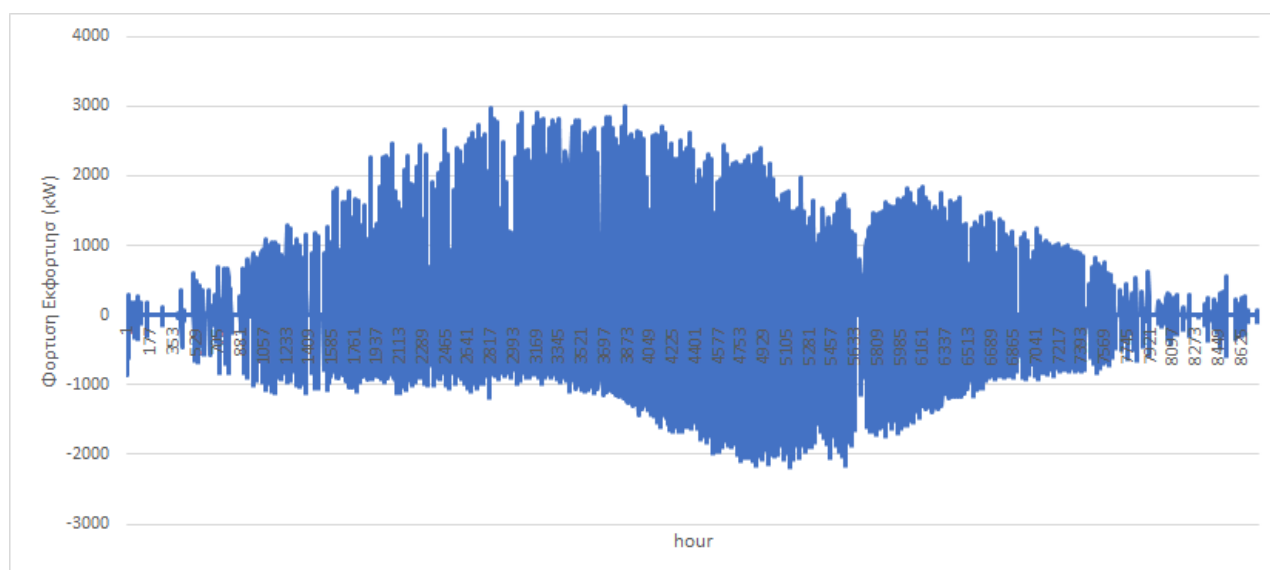
Στο παρόν σημείο της εργασίας επιλέχθηκε η συγκριτική παρουσίαση τριών σεναρίων: το Σενάριο 1 (baseline), το Σενάριο 3 (δύο φορές παραγωγή από Φ/Β) και το Σενάριο 7 (μεγαλύτερη μπαταρία από πλευρά χωρητικότητας και φόρτισης/εκφόρτισης).

Πίνακας 3.7: Τεχνική αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.

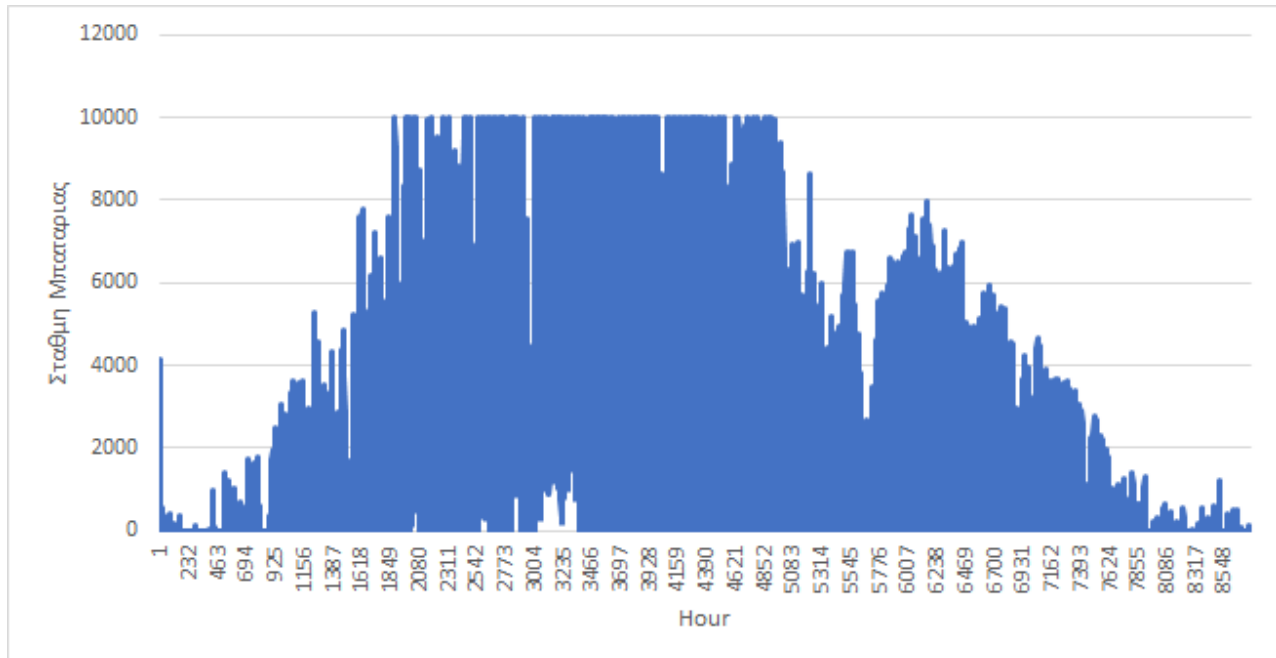
Σενάριο	Grid Import (MWh)	Grid Export (MWh)	Generation (MWh)	Demand (MWh)	Balance (MWh)	Self-consumption rate (%)
1	3456.18	250.35	4917.20	8128.02	-5.00	57.48%
3	2057.20	3768.57	9834.39	8128.02	-5.00	74.69%
7	3338.14	132.31	4917.20	8128.02	-5.00	58.93%

Ενδεικτικά τα γραφήματα χρήσης της μπαταρίας παρουσιάζονται για το Σενάριο 1, σε διαφορετικές καταστάσεις κάτωθι.

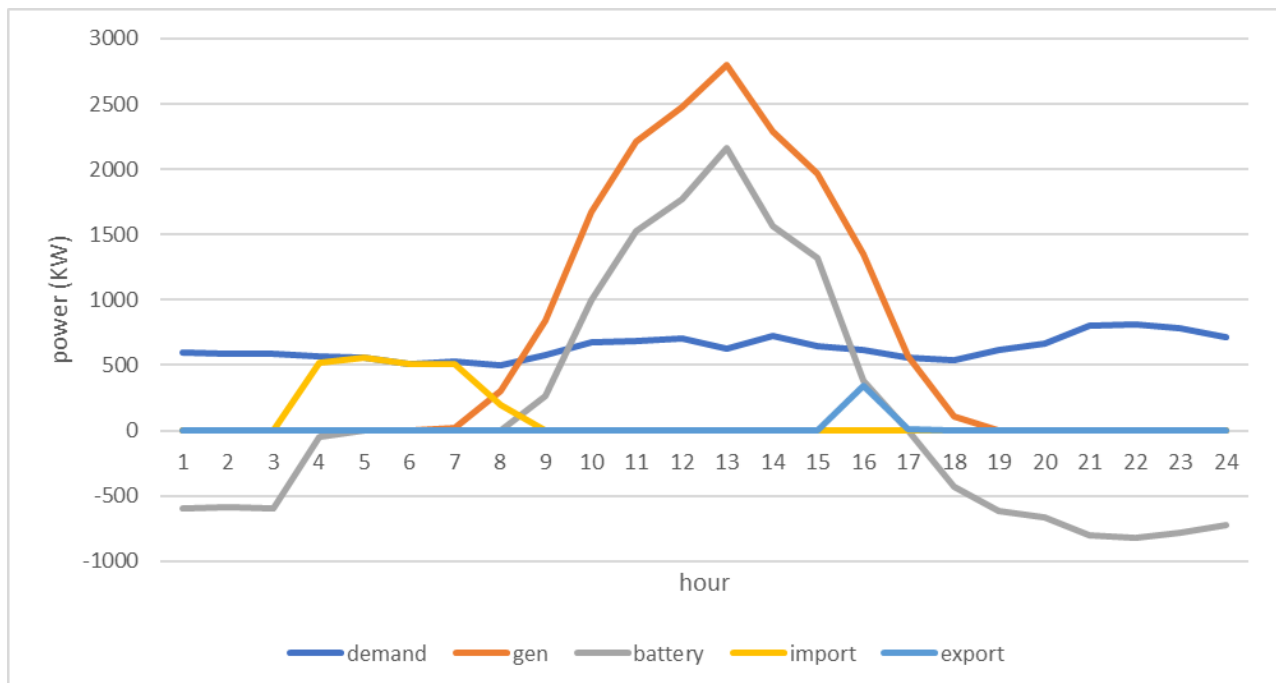
Σχήμα 3.30: Γράφημα χρήσης της μπαταρίας για το Σενάριο 1.



Σχήμα 3.31: Γράφημα κατάστασης της μπαταρίας για το Σενάριο 1.



Σχήμα 3.32: Γράφημα λειτουργίας για μία ημέρα για το Σενάριο 1.



Προς ποιοτική αξιολόγηση των σεναρίων συγκρίνονται το Σενάριο 1 (baseline) με τα Σενάρια 3 (δύο φορές παραγωγή από Φ/Β) και Σενάριο 7 (μεγαλύτερη μπαταρία από πλευρά χωρητικότητας και φόρτισης/εκφόρτισης). Τα συμπεράσματα, όπως διαπιστώνεται και από τα αποτελέσματα, είναι τα εξής:

- Και στα τρία σενάρια διαπιστώνονται ίδια δεδομένα ζήτησης (8128.02 MWh).
- Στο Σενάριο 3 η παραγωγή είναι αυξημένη, οπότε υφίστανται και λιγότερα grid imports αλλά και σημαντικά περισσότερα grid exports (αφού πλέον η παραγωγή είναι σημαντικά υψηλότερη).
- Στο Σενάριο 3 το self-consumption rate είναι αυξημένο, αφού και η παραγωγή είναι μεγαλύτερη (ενώ τα grid imports είναι λιγότερα).
- Στο Σενάριο 7, όπως φαίνεται, η παραγωγή και κατανάλωση είναι ίδια με το Σενάριο 1.
- Στο Σενάριο 7 υπάρχουν κάπως λιγότερα grid imports και grid exports, δεδομένης της αύξησης χωρητικότητας και φόρτισης/εκφόρτισης της μπαταρίας.
- Στο Σενάριο 7 υπάρχει κάπως αυξημένο το self-consumption rate.
- Στο Σενάριο 3 υπάρχει αυξημένο grid export (σε σχέση με το Σενάριο 1, όπου έχει γίνει η βέλτιστη διαστασιολόγηση και τα grid exports είναι περιορισμένα), οπότε η περαιτέρω επένδυση οδηγεί σε αύξηση της απώλειας της περίσσειας ενέργειας.
- Στο Σενάριο 7 υπάρχουν λιγότερα grid imports και grid exports, αλλά η περαιτέρω επένδυση σε αύξηση χωρητικότητας και φόρτισης/εκφόρτισης της μπαταρίας δεν οδηγεί σε αυξημένα συγκριτικά αποτελέσματα.

Η περαιτέρω ανάλυση είναι ενδεικτική και αντίστοιχη συσχέτιση μπορεί να γίνει και με όλα τα προς εξέταση σενάρια, που είναι παραλλαγές των βασικών σεναρίων, τα οποία αναφέρθηκαν ανωτέρω.

Στη συνέχεια, η οικονομική αξιολόγηση εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος περιλαμβάνει την εκτίμηση του κόστους, των εξοικονομηθέντων εσόδων, του χρόνου απόσβεσης (payback period) και άλλων κρίσιμων οικονομικών μεγεθών. Παρακάτω περιγράφονται τα βασικά στάδια, που θα ληφθούν υπόψη για την τεχνοοικονομική αξιολόγηση της εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος:

- κόστος εγκατάστασης (CAPEX): Περιλαμβάνει το συνολικό κόστος για την αγορά και την εγκατάσταση του υβριδικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των μπαταριών, του εξοπλισμού, του κόστους εγκατάστασης και άλλων σχετικών εξόδων.
- κόστος συντήρησης (OPEX): Περιλαμβάνει τα ετήσια και συνολικά κόστη συντήρησης του συστήματος.
- εξοικονόμηση κόστους ηλεκτρικής ενέργειας: Περιλαμβάνει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, που εξοικονομείται λόγω του συστήματος. Αυτό συνήθως περιλαμβάνει τη μείωση της κατανάλωσης από το δίκτυο.
- μείωση κόστους διακοπής ενέργειας: Περιλαμβάνει το κόστος των διακοπών ενέργειας, που αποφεύγονται λόγω του συστήματος. Αποτελεί παράμετρος, που δεν δύσκολα εκτιμάται.

Ενδεικτικοί δείκτες, που λαμβάνονται υπόψη για την οικονομική αξιολόγηση, είναι:

- καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value, NPV): Περιλαμβάνει το NPV για το έργο, λαμβάνοντας υπόψη την τιμή του χρήματος στο χρόνο.
- εσωτερικό ποσοστό επιστροφής (Internal Rate of Return, IRR): Περιλαμβάνει το IRR για το έργο, που αντιπροσωπεύει το ποσοστό απόδοσης των επενδύσεων.
- χρόνος απόσβεσης (Payback Period): Περιλαμβάνει τον χρόνο, που απαιτείται για να αποσβεστεί το συνολικό κόστος του συστήματος μέσω των εξοικονομούμενων εσόδων.

Παράλληλα, ως μέρος της αξιολόγησης υπολογίζονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, που μειώνονται λόγω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Αρχικά, τα οικονομικά μεγέθη για την εγκατάσταση του υβριδικού συστήματος, που λαμβάνονται υπόψη, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.8.

Πίνακας 3.8: Οικονομικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.

Σενάριο	Τιμή
PV (€/MW)	820,000
Wind (€/MW)	1,400,000
Battery (€/MWh)	320,000

Τα δεδομένα είναι σύμφωνα με τις μελέτες για την Ελλάδα το 2023. Παράλληλα, συνάδουν και με την εκτίμηση του κόστους για την πρώτη φάση του υβριδικού συστήματος Αστυπάλαιας, που είναι κοντά στα 5 εκ. €. Στη βάση των ανωτέρω οικονομικών μεγεθών και του μεγέθους του έργου, για τα διαφορετικά σενάρια διαφαίνεται το εξής:

Πίνακας 3.9: Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.

	PV (MW)	Wind (MW)	Battery (MWh)
Σενάριο 1	3		9
Σενάριο 3	6		9
Σενάριο 7	3		13.5

οπότε πολλαπλασιάζοντας προκύπτουν τα CAPEX κόστη για κάθε σενάριο, όπως παρουσιάζονται κάτωθι:

Πίνακας 3.10: Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας – capex.

	PV	Wind	Battery	CAPEX
Σενάριο 1	€2,460,000.00	€0.00	€2,880,000.00	€5,340,000.00
Σενάριο 3	€4,920,000.00	€0.00	€2,880,000.00	€7,800,000.00
Σενάριο 7	€2,460,000.00	€0.00	€4,320,000.00	€6,780,000.00

Σε αυτά τα δεδομένα, που χρειάζονται για τον υπολογισμό του CAPEX, λαμβάνονται και οι παράμετροι για το OPEX. Το ποσοστό των λειτουργικών δαπανών, σε σχέση με τα κεφάλαια επένδυσης (CAPEX) για ένα υβριδικό νησιωτικό σταθμό, μπορεί να ποικίλει ευρέως, βασιζόμενο σε παράγοντες όπως ο τύπος και η κλίμακα του συστήματος, οι τεχνολογίες, που εμπλέκονται και οι τοπικές συνθήκες. Ωστόσο, ως γενική κατεύθυνση, οι λειτουργικές δαπάνες συνήθως εκφράζονται ως ποσοστό, που κυμαίνεται από 1% έως 5% ή περισσότερο, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του υβριδικού συστήματος. Κάτωθι αναλύονται οι γενικές κατηγορίες των λειτουργικών δαπανών και το ποσοστό τους σε σχέση με το CAPEX (Γρίβας, 2017):

- συντήρηση και επισκευές: Αυτή η κατηγορία αντιπροσωπεύει συνήθως ένα σημαντικό μέρος των λειτουργικών δαπανών. Οι ετήσιες δαπάνες συντήρησης μπορεί να κυμαίνονται από 1% έως 3% του CAPEX, ανάλογα με την πολυπλοκότητα και το μέγεθος του υβριδικού συστήματος.

- συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου: Τα κόστη, που σχετίζονται με τα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου, είναι γενικά χαμηλότερα, αλλά μπορεί ακόμη και να κυμαίνονται από 0,5% έως 1% του CAPEX.
- κόστη προσωπικού: Τα κόστη για προσωπικό λειτουργίας και συντήρησης μπορεί να ποικίλουν, κυμαίνονται όμως από 0,5% έως 2% του CAPEX, ανάλογα με το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του υβριδικού συστήματος.
- ασφάλεια: Το κόστος ασφάλισης του υβριδικού συστήματος μπορεί να ποικίλει, αλλά συνήθως αποτελεί ένα μικρότερο ποσοστό του CAPEX, ενδεικτικά περίπου 0,2% έως 0,5%.
- συμμόρφωση με περιβαλλοντικούς κανονισμούς: Τα κόστη αυτά συνήθως κυμαίνονται από 0,1% έως 0,5% του CAPEX.
- αντικατάσταση συστατικών: Ο προϋπολογισμός για την αντικατάσταση εξαρτημάτων μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα μικρότερο ποσοστό, ενδεικτικά περίπου 0,5% έως 1% του CAPEX.

Σημειώνεται ότι αυτά τα ποσοστά αποτελούν γενικές εκτιμήσεις. Τα πραγματικά κόστη για ένα συγκεκριμένο έργο θα πρέπει να καθοριστούν μέσω λεπτομερούς σχεδιασμού έργου και χρηματοοικονομικού μοντελοποιητή. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, ένα αθροιστικό ποσοστό περί το 8% (ποσοστό CAPEX) λαμβάνεται υπόψη για τα σενάρια προσομοίωσης ενώ τα OPEX παρουσιάζονται κάτωθι:

Πίνακας 3.11: Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας – opex.

	opex
Σενάριο 1	€427,200.00
Σενάριο 3	€624,000.00
Σενάριο 7	€542,400.00

Παράλληλα, η εξοικονόμηση καυσίμου είναι το βασικό έσοδο, οπότε πρέπει να υπολογιστεί τι εξοικονομείται από την μη χρήση καυσίμου. Το υβριδικό σύστημα περιλαμβάνει και συστήματα παραγωγής, βασισμένα σε καύσιμα, ενώ παράλληλα αναλύεται από το υβριδικό σύστημα το κόστος των καυσίμων, το οποίο παρέχεται αναλυτικά από τον ΔΕΔΔΗΕ για κάθε μήνα. Αναλυτικά, για την Αστυπάλαια παρέχονται οι κάτωθι τιμές (ΔΕΔΔΗΕ, 2023):

- ΜΠΚΠ_ΜΔΝ (€/MWh): Μέσο Πλήρες Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
- ΜΜΚ_ΜΔΝ (€/MWh): Μέσο Μεταβλητό Κόστος Παραγωγής Συμβατικών Μονάδων στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά

Τα δεδομένα, που λαμβάνονται υπόψη στην παρούσα εργασία, μελέτη αναφέρονται στον Πίνακα 3.10 (ΔΕΔΔΗΕ, 2023).

Πίνακας 3.12: Κόστος καυσίμου στα διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.

Μήνας	ΜΠΚΠ_ΜΔΝ (€/MWh)	ΜΜΚ_ΜΔΝ (€/MWh)
Oct-22	626.19	406.76
Nov-22	637.97	418.97
Dec-22	987.19	564.76
Jan-23	732.85	497.01
Feb-23	641.73	471.69
Mar-23	614.38	446.37
Apr-23	581.66	430.08
May-23	608.10	390.49
Jun-23	497.62	348.10
Jul-23	406.80	330.87
Aug-23	386.73	317.00
Sep-23	450.53	333.27
AVG	597.65	412.95

Τα ανωτέρω δεδομένα λαμβάνονται υπόψη για την οικονομοτεχνική προσομοίωση των διαφορετικών σεναρίων. Οι υποθέσεις, που λαμβάνονται υπόψη, είναι οι εξής:

- σταθερή τιμή κόστους καυσίμων: 412 €/MWh όσο είναι το ΜΜΚ_ΜΔΝ για το τελευταίο έτος λειτουργίας (ως ο μέσος όρος, όπως αναφέρεται ανωτέρω για το ΜΜΚ_ΜΔΝ)
- ανάλυση για τα 6 έτη λειτουργίας

Οπότε, η εξοικονόμηση σε καύσιμο είναι η τιμή κόστους καυσίμων με την εξοικονομούμενη MWh, η οποία είναι ίση με τη συνολική ζήτηση, μειωμένη κατά την εγγεόμενη από το δίκτυο. Στην ουσία, θεωρείται ότι ενώ αρχικά όλη η συνολική ζήτηση καλύπτονταν από το καύσιμο, τώρα μόνο η εγγεόμενη από το δίκτυο καλύπτεται με καύσιμο και το υπόλοιπο είναι η εξοικονόμηση. Στην παρούσα φάση, δεν θεωρείται ότι η εκροή ενέργειας προς το δίκτυο αποτελεί κάποιο έσοδο.

Τα αποτελέσματα για τα savings ανά σενάριο παρουσιάζονται κάτωθι (μαζί με τα δεδομένα της πράξης (συνολική ζήτηση – εγχεόμενη από το δίκτυο).

Πίνακας 3.13: Savings στα διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.

	Grid import savings (MWh)	Energy Savings
Σενάριο 1	4671848	\$1,924,801.38
Σενάριο 3	6070826	\$2,501,180.31
Σενάριο 7	4789886	\$1,973,433.03

Τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης, λαμβάνοντας το CAPEX, το OPEX και τα savings με βάση τις ανωτέρω υποθέσεις, παρουσιάζονται ακολούθως. Πιο συγκεκριμένα:

- το έτος 0 είναι τα δεδομένα CAPEX
- για κάθε ένα από τα έτη 1-6 παρουσιάζονται τα δεδομένα Savings-OPEX. Σε κάθε χρόνο θεωρείται μείωση των κερδών κατά 8% σε σχέση με το προηγούμενο έτος

Πίνακας 3.14: Έτη λειτουργίας στα διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.

ΕΤΗ	0	1	2	3	4	5	6
Σενάριο 1	-€5,340,000.00	€1,497,601.38	€1,377,793.27	€1,267,569.80	€1,166,164.22	€1,072,871.08	€987,041.40
Σενάριο 3	-€7,800,000.00	€1,877,180.31	€1,727,005.89	€1,588,845.42	€1,461,737.78	€1,344,798.76	€1,237,214.86
Σενάριο 7	-€6,780,000.00	€1,431,033.03	€1,316,550.39	€1,211,226.36	€1,114,328.25	€1,025,181.99	€943,167.43

Με βάση τα ανωτέρω οικονομικά δεδομένα προκύπτει ο υπολογισμός των NPV, IRR και Payback (Dai et al., 2022)³⁰.

Πίνακας 3.15: Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας – αποτελέσματα για τους οικονομικούς δείκτες.

Σενάριο	NPV	IRR	Payback
Σενάριο 1	€921,461.74	10.91%	4.1
Σενάριο 3	€101,170.97	5.46%	4.9
Σενάριο 7	(€716,985.65)	1.17%	5.8

Η ποιοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων της τεchnοοικονομικής ανάλυσης παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

³⁰ <https://rb.gy/aa4cuv>, (05/06/2024).

3.8 Προτάσεις βελτίωσης του αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια

Διαπιστώθηκε στην ανωτέρω ποσοτική αξιολόγηση ότι το αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια είναι ένα σημαντικό έργο, που έχει τη δυνατότητα να προσφέρει σημαντικά οφέλη για την ενεργειακή ασφάλεια και τη βιωσιμότητα του νησιού. Πιο συγκεκριμένα:

- το ποσοστό ιδιοκατανάλωσης είναι σε όλα τα σενάρια μεγαλύτερο του 50%
- σε εννέα από τα σενάρια υπάρχει θετική NPV
- σε όλα, πλην ενός, υπάρχει θετικό IRR
- σε επτά σενάρια υπάρχει IRR μεγαλύτερο από 10%
- σε όλα τα σενάρια υπάρχει payback period μικρότερο από επτά έτη, ενώ σε όλα, πλην ενός, υπάρχει payback κάτω από έξι χρόνια.

Ωστόσο, πέρα από την ποσοτική αξιολόγηση, υπάρχουν ορισμένα σημεία, τα οποία θα μπορούσαν να αναλυθούν περαιτέρω ως αποτέλεσμα της ποιοτικής αξιολόγησης της ανωτέρω ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται συγκριτική αξιολόγηση στα Σενάρια 1, 3 και 7:

- Το Σενάριο 1 είναι το οικονομικά βέλτιστο, αφού αποτελεί το αποτέλεσμα της ορθής διαστασιολόγησης της νήσου.
- Το Σενάριο 3 αφορά διπλάσια παραγωγή από Φ/Β, συνεπάγεται περαιτέρω κόστος, το οποίο όμως δεν απορροφάται, οπότε υπάρχει μικρότερο NPV, IRR και payback.
- Το Σενάριο 7 αφορά 1.5 φορές χωρητικότητα μπαταρίας, συνεπάγεται περαιτέρω κόστος, το οποίο όμως δεν οδηγεί σε συγκριτικά μεγαλύτερη απορρόφηση της περίσσειας ΑΠΕ, οπότε υπάρχει μικρότερο NPV (αρνητικό στα 6 χρόνια της ανάλυσης), IRR και payback.

Η ανάλυση των 3 σεναρίων είναι ενδεικτική και αντίστοιχη ανάλυση μπορεί να γίνει για όλα τα σενάρια, που αποτελούν παραλλαγές των βασικών σεναρίων, τα οποία αναφέρθηκαν. Ως περαιτέρω σχόλιο, τα Σενάρια 13, 14 και 18 έχουν καλύτερα αποτελέσματα στους οικονομικούς δείκτες. Αυτά τα σενάρια αντιστοιχούν σε σενάρια με αυξημένη ζήτηση, οπότε υπάρχει μεγαλύτερη αξιοποίηση των επενδύσεων και καλύτεροι δείκτες NPV, IRR και payback. Σε

τεχνικό επίπεδο, όμως, το self-consumption rate είναι χαμηλό, οπότε απαιτείται περαιτέρω βελτιστοποίηση της διαστασιολόγησης.

Η ανάλυση εξέτασε διάφορες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας, αλλά δεν εξέτασε όλες τις πιθανές τεχνολογίες, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια της Αστυπάλαιας. Για τις τεχνολογίες παραγωγής από φωτοβολταϊκά λαμβάνεται η μέγιστη αξιοποίηση του δυναμικού με ελάχιστες απώλειες ενώ, για τα αιολικά γίνεται αξιολόγηση μόνο της παραγωγής αιολικού δυναμικού και όχι το μέρος της μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια. Σημειώνεται ότι τεχνικοί περιορισμοί αποκλείουν την εγκατάσταση παραγωγής Α/Γ στο νησί, ανεξάρτητα από το κόστος της τεχνολογίας. Τονίζεται, επίσης, ότι η διαστασιολόγηση για 3,5 MW είναι επαρκής στην παρούσα φάση (και στη βάση των δεδομένων κατανάλωσης). Μια μικρή αύξηση της παραγωγής είναι δυνατή (αποτελεί και σχέδιο για μελλοντική επέκταση του συστήματος), αλλά ο διπλασιασμός του συστήματος δεν προκρίνεται σαν οικονομικά βιώσιμη προσέγγιση στην παρούσα φάση.

Η ανάλυση εξέτασε διάφορες συνθήκες λειτουργίας για την αποθήκευση ενέργειας, αλλά δεν εξέτασε όλες τις πιθανές συνθήκες λειτουργίας, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια της Αστυπάλαιας. Όμως, απαιτείται περαιτέρω έρευνα προς αξιολόγηση και σύγκριση των διαφορετικών σεναρίων (τόσο από άποψη ισχύος όσο και από άποψη χωρητικότητας) αποθήκευσης ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το κόστος, τη διαθεσιμότητα, την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και την αποτελεσματικότητα σε σχέση με τη διάρκεια ζωής (που προσθέτουν πολυπλοκότητα στις παραμέτρους εξέτασης του συστήματος). Για τα σενάρια εξέτασης, που μελετήθηκαν, τόσο η χωρητικότητα όσο και η ισχύς είναι ορθά διαστασιολογημένα. Μεγαλύτερο σύστημα υπό ορούς χωρητικότητας δεν αξιοποιείται στο μέγιστο βαθμό (μικρή αύξηση της απορρόφησης ΑΠΕ), ενώ παράλληλα και η αύξηση της ισχύος δεν παρέχει μεγάλη αλλαγή στη λειτουργία του συστήματος (δεδομένου ότι η baseline ισχύς επαρκεί για την πλειονότητα των περιπτώσεων σε σχέση με τα δεδομένα παραγωγής και κατανάλωσης).

Η μελέτη, που οδήγησε στην υλοποίηση του συστήματος, βασίστηκε σε μια εκτίμηση των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια της Αστυπάλαιας για το έτος 2024. Τα δεδομένα κατανάλωσης λαμβάνουν υπόψη σε κάποια σενάρια και τη χαμηλή στην παρούσα κατάσταση ζήτηση από ηλεκτρικά οχήματα. Από την ανάλυση φαίνεται ότι η αύξηση της ζήτησης σε χαμηλό βαθμό

μπορεί να καλυφθεί από το υπάρχον σύστημα, με αποτέλεσμα την αύξηση της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης. Ακόμη, η στοχευμένη αύξηση της ζήτησης, όπως είναι η ελεγχόμενη φόρτιση των ηλεκτρικών οχημάτων δύναται να αυξήσει ακόμη περαιτέρω την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Η εκτίμηση των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια της Αστυπάλαιας είναι βασική παράμετρος στο μοντέλο, οπότε είναι σημαντικό να διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα για την αξιολόγηση των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια της Αστυπάλαιας για τα επόμενα χρόνια. Η έρευνα αυτή θα μπορούσε να βασιστεί σε δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το παρελθόν, σε προβλέψεις για την οικονομική ανάπτυξη και στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η αξιολόγηση των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια παράλληλα θα μπορούσε να βοηθήσει στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του συστήματος, ώστε να παρέχει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια με το χαμηλότερο δυνατό κόστος.

Η παρούσα εργασία χρησιμοποιεί ένα μοντέλο για να μοντελοποιήσει τη λειτουργία του αυτόνομου υβριδικού συστήματος. Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε μια σειρά από παραδοχές, σε σχέση με τις απώλειες του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, απώλειες επιδρούν σε όλα τα στάδια της λειτουργίας του υβριδικού σταθμού και σε διάφορα σημεία του συστήματος, όπως:

- στις μονάδες παραγωγής ενέργειας: Οι απώλειες στις μονάδες παραγωγής ενέργειας μπορούν να προκληθούν από διάφορους παράγοντες, όπως η ανεπαρκής ακτινοβολία ή ο άνεμος, η μειωμένη απόδοση των μηχανημάτων και η θερμική απώλεια.
- στις μονάδες αποθήκευσης ενέργειας: Οι απώλειες στις μονάδες αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να προκληθούν από διάφορους παράγοντες, όπως η εσωτερική αντίσταση των μπαταριών και η απώλεια ενέργειας κατά την φόρτιση και την εκφόρτιση.
- στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής: Οι απώλειες στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής μπορούν να προκληθούν από διάφορους παράγοντες, όπως η αντίσταση των καλωδίων και η ύπαρξη παρασιτικών ρευμάτων.

Οι απώλειες ενέργειας μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην αποδοτικότητα και το κόστος του αυτόνομου υβριδικού συστήματος. Για παράδειγμα, εάν οι απώλειες στις μονάδες παραγωγής ενέργειας είναι 10%, τότε θα πρέπει να παραχθεί 11% περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια για να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του κόστους παραγωγής ενέργειας και μείωση της απόδοσης του συστήματος. Υπάρχουν διάφοροι

τρόποι για τη μείωση των απωλειών ενέργειας του αυτόνομου υβριδικού συστήματος. Μερικά από τα μέτρα, που μπορούν να εφαρμοστούν, είναι τα εξής:

- επιλογή κατάλληλων τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας: Η επιλογή κατάλληλων τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των απωλειών. Τα φωτοβολταϊκά έχουν χαμηλότερες απώλειες από τις αιολικές μονάδες, δεδομένης και της απλής τεχνολογίας καθώς και των επιμέρους μηχανικών συστημάτων, που διέπουν τη λειτουργία των δυο τεχνολογιών, όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω (Κεφάλαιο 2).
- βελτίωση της απόδοσης των μονάδων παραγωγής ενέργειας: Η βελτίωση της απόδοσης των μονάδων παραγωγής ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των απωλειών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της συντήρησης και της αναβάθμισης των μονάδων καθώς και της βέλτιστης λειτουργίας (φόρτισης/ εκφόρτισης εντός των ορίων και σε ιδανικές θερμοκρασιακές συνθήκες).
- χρήση προηγμένων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας.
- βελτίωση της διαχείρισης του συστήματος μέσω της χρήσης κατάλληλων αλγορίθμων διαχείρισης και της εφαρμογής μέτρων για την πρόληψη των καταστάσεων υπερφόρτωσης του συστήματος.

Η μείωση των απωλειών ενέργειας σε ένα σύστημα υβριδικού σταθμού είναι ένα σημαντικό ζήτημα, που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την υλοποίηση και λειτουργία αυτών των συστημάτων. Αποτελεί την πιο κρίσιμη παράμετρο κατά τη μοντελοποίηση των λειτουργικών χαρακτηριστικών της εγκατάστασης.

Συνολικά, 18 διαφορετικά σενάρια και συνδυασμοί εξετάστηκαν για το αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια. Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας καθώς και η επιλογή των σεναρίων θα μπορούσε να βοηθήσει στην εξασφάλιση ότι το σύστημα είναι σε θέση να ανταποκριθεί στις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια του νησιού στο μέλλον, ενώ παράλληλα να παράσχει και χρήσιμη πληροφορία για την οικονομική βιωσιμότητα των προς ανάπτυξη έργων.

3.9 Περιορισμοί της μελέτης

Η παρούσα εργασία, όπως κάθε αναλυτική ή σχεδιαστική προσπάθεια, ενέχει ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι απαιτείται να αποτυπωθούν για λόγους πληρότητας. Συγκεκριμένα:

- προσδιορισμός των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια: Η εργασία βασίζεται σε μια εκτίμηση των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια της Αστυπάλαιας για το έτος 2023, η οποία εδράζεται σε δεδομένα παρελθοντικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και σε προβλέψεις για το μέλλον. Ωστόσο, σημειώνεται ότι οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αλλάξουν με την πάροδο του χρόνου, ανάλογα με παράγοντες όπως ο πληθυσμός, η οικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογία.
- επιλογή των τεχνολογιών παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας: Η εργασία εξετάζει διάφορες τεχνολογίες παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής ενέργειας, της αιολικής ενέργειας, της αποθήκευσης με μπαταρίες. Ωστόσο, η τελική επιλογή των τεχνολογιών βασίζεται σε μια σειρά από παράγοντες, όπως το κόστος, η διαθεσιμότητα και η περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Σημειώνεται ότι η εργασία δεν εξετάζει όλες τις πιθανές τεχνολογίες, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια της Αστυπάλαιας. Εκτός από τους περιορισμούς, που αναφέρθηκαν παραπάνω, τονίζεται ότι η εργασία βασίζεται σε δεδομένα και παραδοχές, που είναι διαθέσιμα κατά την περίοδο εκπόνησής της.
- μοντελοποίηση του συστήματος: Η εργασία χρησιμοποιεί ένα μοντέλο για να μοντελοποιήσει τη λειτουργία του αυτόνομου υβριδικού συστήματος. Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε μια σειρά από παραδοχές, όπως οι σχέσεις μεταξύ των παραγόντων παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Σημειώνεται ότι ορισμένες τεχνικές (π.χ. επίπεδο απωλειών, βελτιστοποίηση λειτουργίας συστημάτων κτλ.) και οικονομικές (κόστος ανά τεχνολογία) παραδοχές μπορεί να προσεγγιστικές, δηλαδή μη απολυτά ακριβείς, και ότι το αποτέλεσμα του μοντέλου θα μπορούσε να διαφέρει από την πραγματική λειτουργία του συστήματος. Σε επίπεδο πραγματικής υλοποίησης, δεδομένα για όλες τις παραμέτρους θα έπρεπε να είναι διαθέσιμα.
- εκτίμηση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων: Η εργασία δεν εκτιμά τις περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις του αυτόνομου υβριδικού συστήματος.

Ωστόσο, σημειώνεται ότι οι πραγματικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις του συστήματος αποτελούν βασική ποιοτική παράμετρο και αντικείμενο εξέτασης σε ένα πραγματικό έργο.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 Συζήτηση - Συμπεράσματα

Ένας από τους πιο σημαντικούς στόχους, που έχει θέσει η ΕΕ, είναι η διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας αναφορικά με την μείωση των εκπομπών ρύπων, αλλά και, παράλληλα, η αντιμετώπιση της εξάρτησης από εξωτερικές δομές, απόρροια της πρόσφατης γεωπολιτικής κρίσης, που έχει επίδραση άμεσα και στο οικονομικό επίπεδο (και συνολικά την κατάσταση της οικονομίας) σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Αρχικά, έλαβε χώρα μια ανάλυση της βιβλιογραφίας, με την παρουσίαση της υπάρχουσας κατάστασης σε ρυθμιστικό επίπεδο στον τομέα της ενέργειας τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε ελληνικό επίπεδο. Ιδιαίτερη αναφορά έγινε στην υιοθέτηση της πιο πρόσφατης νομοθεσίας σε ευρωπαϊκό επίπεδο, απόρροια της γεωπολιτικής και οικονομικής κρίσης, που βιώνει η Ευρώπη τους τελευταίους μήνες.

Διαπιστώνεται η σημασία της ενεργειακής κατανάλωσης και διαχείρισης αυτής σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, κάτι που καταδεικνύεται από την γεωπολιτική κατάσταση, που έχει δημιουργηθεί. Παράλληλα, η σημαντικότητα ορίζεται και από την άμεση συσχέτιση με την επερχόμενη κλιματική αλλαγή, που θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα, που έχει να αντιμετωπίσει ο κόσμος τα επόμενα 30 χρόνια.

Παράλληλα, γίνεται ανάλυση των επιμέρους τεχνολογιών παραγωγής και αποθήκευσης, που είναι αντικείμενο εξέτασης της παρούσας εργασίας. Υλοποιήθηκε αρχικά μια σύντομη αναφορά στις τεχνολογίες παραγωγής από αιολικά, φωτοβολταϊκά καθώς και μονάδες αποθήκευσης και, ακολούθως, στα αυτόνομα υβριδικά συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, που βρίσκονται σε λειτουργία ή υπό κατασκευή στην Ελλάδα. Στην Τήλο λειτουργεί ένα υβριδικό σύστημα, που αποτελείται από ηλιακούς συλλέκτες, ανεμογεννήτριες και μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Το σύστημα αυτό έχει σχεδιαστεί για να παρέχει στο νησί 100% ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια καλύπτει περίπου το 60% των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ η αιολική ενέργεια καλύπτει το υπόλοιπο 40%. Οι μονάδες αποθήκευσης ενέργειας χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν η παραγωγή από αυτές είναι χαμηλή. Το έργο αυτό χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και από το ελληνικό

κράτος. Η κατασκευή του συστήματος ολοκληρώθηκε το 2023. Στην Ικαρία λειτουργεί ένα υβριδικό σύστημα, που αποτελείται από ανεμογεννήτριες και μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Το σύστημα αυτό έχει σχεδιαστεί για να παρέχει στο νησί 70% ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια από ΑΠΕ καλύπτει περίπου το 65% των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ οι μονάδες αποθήκευσης ενέργειας (αντλησιοταμίευση, όπου χρησιμοποιείται η ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο για να αντληθεί νερό από ένα χαμηλότερο υψόμετρο σε ένα υψηλότερο υψόμετρο. Το νερό, στη συνέχεια, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όταν χρειάζεται, χρησιμοποιώντας μια υδροηλεκτρική γεννήτρια) θα χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση της ενέργειας, που παράγεται από τον αέρα. Στον Άγιο Ευστράτιο, θα λειτουργήσει ένα υβριδικό σύστημα, που αποτελείται από ηλιακούς συλλέκτες, ανεμογεννήτριες και μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Το σύστημα αυτό έχει σχεδιαστεί για να παρέχει στο νησί 80% ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια καλύπτει περίπου το 60% των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ η αιολική ενέργεια καλύπτει το υπόλοιπο 20%.

Με την ανάλυση των συστημάτων, γίνεται η μετάβαση στο βασικό σενάριο εξέτασης της παρούσας εργασίας, που είναι το αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια. Αρχικά, παρουσιάζονται αναλυτικά τα μετρολογικά δεδομένα καθώς και τα δεδομένα λειτουργίας του ενεργειακού δικτύου, όπως είναι διαθέσιμα από την ΡΑΕ και τον ΔΕΔΔΗΕ. Εξετάστηκαν οι ακόλουθες τεχνολογίες για το αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια:

- ηλιακή ενέργεια: Το σύστημα περιλαμβάνει ηλιακούς συλλέκτες με συνολική ισχύ έως 7 MW. Τα μετρολογικά δεδομένα ηλιοφάνειας και θερμοκρασίας λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο, με στόχο τη μέγιστη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας (MPPT λειτουργία του φωτοβολταϊκού σταθμού).
- αιολική ενέργεια: Το σύστημα θα περιλαμβάνει ανεμογεννήτριες, με συνολική ισχύ 1,5 MW. Τα μετρολογικά δεδομένα αιολικού δυναμικού λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο, με στόχο την αξιοποίηση των αιολικών πόρων του νησιού. Όπως αναφέρεται στην ανάλυση, η αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού είναι σε θεωρητικό επίπεδο, δεδομένων των τεχνικών περιορισμών, που αποκλείουν την εγκατάσταση αιολικού δυναμικού στο νησί.
- αποθήκευση ενέργειας: Το σύστημα θα περιλαμβάνει μονάδες αποθήκευσης ενέργειας, με συνολική χωρητικότητα 10 MWh. Οι μονάδες αποθήκευσης θα χρησιμοποιηθούν για την

αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν η παραγωγή από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι χαμηλή. Διαφορά σενάρια εξέτασης με βάση την ισχύ και την χωρητικότητα του συστήματος της μπαταρίας εξετάζονται στην υλοποιηθείσα ανάλυση.

Παράλληλα με τη μοντελοποίηση των επιμέρους συστημάτων γίνεται και η μοντελοποίηση της βέλτιστης τεχνοοικονομικής λειτουργίας του συστήματος. Ο σχεδιασμός του συστήματος βασίζεται στις ακόλουθες αρχές:

- αξιοποίηση των τοπικών πόρων: Το σύστημα θα αξιοποιεί τις τοπικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Αυτό θα βοηθήσει στη μείωση της εξάρτησης του νησιού από τα συμβατικά καύσιμα.
- αυτόνομο σύστημα: Το σύστημα θα είναι αυτόνομο, δηλαδή θα δύναται κατά το μέγιστο να λειτουργεί χωρίς να συνδέεται με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας / παραγωγής από μονάδες diesel. Αυτό θα αυξήσει την ενεργειακή απεξάρτηση του νησιού από τις ΑΠΕ.
- ευελιξία: Το σύστημα θα είναι ευέλικτο, ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί στις μεταβαλλόμενες συνθήκες παραγωγής από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η μελέτη που διεξήχθη για την αξιολόγηση του συστήματος έδειξε ότι το σύστημα θα έχει τα ακόλουθα οφέλη:

- μείωση της εξάρτησης από τα συμβατικά καύσιμα: Το σύστημα θα βοηθήσει στη μείωση της εξάρτησης της Αστυπάλαιας από τα συμβατικά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, που είναι το βασικό καύσιμο για τη λειτουργία των μονάδων diesel στην παρούσα κατάσταση.
- μείωση του κόστους παραγωγής από τα συμβατικά καύσιμα: Το σύστημα θα βοηθήσει στη μείωση του κόστους παραγωγής της Αστυπάλαιας για τη λειτουργία των μονάδων diesel, το οποίο με βάση τα δεδομένα της ΠΑΕ είναι ιδιαίτερα αυξημένο. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας του νησιού.
- αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας: Το σύστημα θα αυξήσει την ενεργειακή ασφάλεια του νησιού, καθώς θα μπορεί να παρέχει συνεχή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμα και σε περιόδους με χαμηλή παραγωγή από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

- μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου: Το σύστημα θα συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την ηλεκτροπαραγωγή. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας του νησιού.

Τα τεχνικά συμπεράσματα της μελέτης είναι τα εξής:

- το σύστημα, όπως έχει διαστασιολογηθεί από την ΡΑΕ, έχει τη δυνατότητα να καλύψει τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια του νησιού της Αστυπάλαιας.
- το σύστημα είναι οικονομικά βιώσιμο, καθώς το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα είναι χαμηλότερο από το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα συμβατικά καύσιμα. Το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας είναι πλέον χαμηλό, στο βασικό σενάριο όπως έχει το σενάριο από την ΡΑΕ.
- το σύστημα είναι τεχνικά εφικτό και μπορεί να συμβάλει άμεσα στην ενεργειακή αυτονομία σε μέγιστο βαθμό του νησιού.
- τα επιμέρους σενάρια εξέτασης λαμβάνουν υπόψη την επέκταση της Φ/Β παραγωγής ή της παραγωγής από αιολικά ή της επέκτασης του συστήματος αποθήκευσης. Τα περισσότερα σενάρια εξέτασης έχουν αυξημένο κόστος με περιορισμό στην τεχνική αξιοποίηση. Παράλληλα, στα συστήματα που έχουν καλύτερο οικονομικό αποτύπωμα (μεγαλύτερο IRR ή μικρότερο payback period) πρέπει να ληφθεί υπόψη και το υψηλότερο CAPEX ή και η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στη λειτουργία του συστήματος, παράλληλα με το ρίσκο της οικονομικής επένδυσης, που δεν είναι αντικείμενο εξέτασης της παρούσας εργασίας.

Συνολικά, η εργασία ανέδειξε ότι το αυτόνομο υβριδικό σύστημα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια είναι ένα βιώσιμο σχέδιο, που θα προσφέρει σημαντικά οφέλη στο νησί. Παράλληλα, το υπάρχον σχέδιο υλοποιείται στη βάση της σωστής διαστασιολόγησης, παρέχοντας μια εγκατάσταση, που δύναται με σχετικά χαμηλό κόστος κεφαλαίου να καλύψει τις βασικές ενεργειακές ανάγκες του νησιού, ενώ παράλληλα αποτελεί μια βιώσιμη χρηματοοικονομικά επένδυση.

4.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα εργασία, έχει ως στόχο την ανάλυση ενός αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αστυπάλαια και την παροχή χρήσιμων πληροφοριών για την ανάπτυξη αυτόνομων υβριδικών συστημάτων σε νησιωτικές περιοχές. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα θέματα, που θα μπορούσαν να διερευνηθούν περαιτέρω στο πλαίσιο μελλοντικής έρευνας:

- αξιολόγηση των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια: Η παρούσα εργασία βασίζεται στα διαθέσιμα από την ΡΑΕ δεδομένα για την κατανάλωση ενέργειας και τη ζήτηση για φόρτιση οχημάτων. Είναι σημαντικό να διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα για την αξιολόγηση των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια της Αστυπάλαιας για τα επόμενα χρόνια. Η έρευνα αυτή θα μπορούσε να βασιστεί σε δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το παρελθόν, σε προβλέψεις για την οικονομική ανάπτυξη και στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε προβλέψεις για την αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.
- ζήτηση για φόρτιση οχημάτων: μια πιο λεπτομερής εξέταση δύναται να διεξαχθεί περαιτέρω για την αξιολόγηση των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια για τα επόμενα χρόνια. Η προώθηση της ηλεκτροκίνησης είναι πλέον δεδομένη και έτσι μια ακριβής εξέταση των αναγκών για φόρτιση οχημάτων αποτελεί βασικό κριτήριο για μια επένδυση σε ένα ενεργειακό δίκτυο.
- επιλογή των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας: Η μελέτη εξετάζει διάφορες τεχνολογίες παραγωγής, αλλά δεν εξετάζει όλες τις πιθανές τεχνολογίες, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών αποθήκευσης ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια της Αστυπάλαιας. Είναι σημαντικό να διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα για την αξιολόγηση και σύγκριση των διαφορετικών τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το κόστος, η διαθεσιμότητα, η περιβαλλοντική βιωσιμότητα και η αποτελεσματικότητα.
- επιλογή των τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας: Η μελέτη εξετάζει τις πιο βασικές τεχνολογίες παραγωγής (φωτοβολταϊκά και δυνητικά αιολικά), αλλά δεν εξετάζει όλες τις πιθανές τεχνολογίες, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών

παραγωγής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια της Αστυπάλαιας. Σε βιβλιογραφικό επίπεδο, θα μπορούσαν να εξεταστούν διαφορετικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας.

- μοντελοποίηση του συστήματος: Η μελέτη χρησιμοποιεί ένα μοντέλο για να μοντελοποιήσει τη λειτουργία του αυτόνομου υβριδικού συστήματος. Το μοντέλο αυτό βασίζεται σε μια σειρά από παραδοχές, οι οποίες μπορεί να λάβουν άλλες τιμές ως μέρος των σεναρίων εξέτασης. Είναι σημαντικό να διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα για τη βελτίωση του μοντέλου, ώστε να παρέχει πιο ακριβείς προβλέψεις για τη λειτουργία του συστήματος.
- εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων: Η μελέτη δεν εκτιμά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του αυτόνομου υβριδικού συστήματος. Ωστόσο, η εκτίμηση αυτή είναι από μόνη της μια ξεχωριστή μελέτη και, επομένως, περαιτέρω έρευνα για τη βελτίωση της εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων δύναται να διεξαχθεί, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες, όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η χρήση φυσικών πόρων και η όχληση του περιβάλλοντος.

Εκτός από τα θέματα, που αναφέρονται παραπάνω, υπάρχουν και άλλα θέματα, τα οποία θα μπορούσαν να διερευνηθούν περαιτέρω στο πλαίσιο μελλοντικής έρευνας. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να διεξαχθεί έρευνα για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας του συστήματος, της αξιοπιστίας και ανθεκτικότητας του συστήματος και των οικονομικών επιπτώσεων της αυτονομίας του συστήματος κτλ. Η έρευνα σχετικά με τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε νησιωτικές περιοχές είναι ένα σημαντικό πεδίο έρευνας, που έχει τη δυνατότητα να προσφέρει σημαντικά οφέλη για την ενεργειακή ασφάλεια και τη βιωσιμότητα των νησιωτικών περιοχών. Η μελλοντική έρευνα σε αυτό το πεδίο θα μπορούσε να βοηθήσει στη βελτίωση της κατανόησης των αναγκών και των προοπτικών των αυτόνομων υβριδικών συστημάτων, καθώς και στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και εφαρμογών, που θα μπορούσαν να κάνουν αυτά τα συστήματα πιο αποδοτικά, αξιόπιστα και οικονομικά βιώσιμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ελληνόγλωσσες

- Ανδρίτσος, Ν. (2008). *Ενέργεια και περιβάλλον*. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://rb.gy/j8ufu6>
- Γρίβας, Α. (2017). *Αγορά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα και σύγκριση επενδυτικών σχεδίων*. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Τμήμα Οικονομικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://shorturl.at/M0oqP>
- Καλδέλλης, Ι. (2005). *Διαχείριση της αιολικής ενέργειας*. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- Μάντζαρης, Ν., & Χριστοπούλου, Ι. (2020) *Τεχνολογίες Αποθήκευσης Ενέργειας: Προκλήσεις και Προοπτικές*. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://shorturl.at/MTYXu>
- Πατσάκα, Θ., & Κουκούλα, Δ. (2022). *Διερεύνηση περιθωρίων διείσδυσης μη ελεγχόμενων ΑΠΕ στο ΗΣ Αστυπάλαιας*. Διεύθυνση Διαχείρισης Νησιών ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://shorturl.at/77UXU>
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2023). *Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος – Προσχέδιο Αναθεωρημένης Έκδοσης*. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://shorturl.at/Ou3HU>
- Φραγκιαδάκης, Ι. (2019). *Φωτοβολταϊκά συστήματα* (4^η έκδ.). Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα.
- Enterprise Greece (2021). *Κατασκευή Υβριδικών Σταθμών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΥΒΣΠΗΕ) σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, αποτελούμενους από φωτοβολταϊκά και συστοιχίες μπαταριών ιόντων λιθίου κεραμικών - Ελληνικοί Υβριδικοί Σταθμοί Α.Ε.* [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://shorturl.at/7tpeC>

Ξενόγλωσσες

- Ackermann T. (2000). *Wind Power in Power Systems*. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/fmks2ra6>
- Akhter, M., Mekhilef, S., Mokhlis, H., & Shah, N. (2019). Review on forecasting of photovoltaic power generation based on machine learning and metaheuristic techniques. *IET Renewable Power Generation*, 13(7), 1009-1023. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2018.5649>

- Almeida, M., Muñoz, M., de la Parra, I., & Perpiñán, O. (2017). Comparative study of PV power forecast using parametric and nonparametric PV models. *Solar Energy*, 155, 854-866. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.07.032>
- Boutahir, M., Farhaoui, Y., Azrou, M., et al. (2022). Effect of Feature Selection on the Prediction of Direct Normal Irradiance. *Big Data Mining and Analytics*, 2022, (4), 309-317. <https://doi.org/10.26599/BDMA.2022.9020003>
- Carriveau, R. (2011). *Fundamental and Advanced Topics in Wind Power*. Intechopen, Ontario. [Online]. 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/2p8drxkk>
- Chang, W.-Y. (2014). A literature review of wind forecasting methods. *Journal of Power and Energy Engineering*, 2, 161-168. [Online]. Ανάκτηση 19 Ιανουαρίου 2024, από: <https://shorturl.at/luITV>
- Chin, J., Salam, Z., & Ishaque, K. (2015). Cell modelling and model parameters estimation techniques for photovoltaic simulator application: A review. *Applied Energy*, 154, 500-519. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.035>
- Dai, H., Li, N., Wang, Y., Zhao, X. (2022). The Analysis of Three Main Investment Criteria: NPV, IRR and Payback Period. *Advances in Economics, Business and Management Research*, 211, 185-189. <https://doi.org/m2hc>
- Ehsan, R., Simon, S., & Venkateswaran, P. (2016). Day-ahead forecasting of solar photovoltaic output power using multilayer perceptron. *Neural Computing and Applications*, 28, 3981-3992. <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2310-z>
- Firat, U., Engin, S., Saraclar, M., & Ertuzun, A. (2010). Wind speed forecasting based on second order blind identification and autoregressive model. *Proceedings of the 2010 Ninth International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, Washington, DC, USA, 12-14 December 2010. <https://doi.org/10.1109/ICMLA.2010.106>
- Foley, A., Leahy, P., Marvuglia, A., & McKeogh, E. (2012). Current methods and advances in forecasting of wind power generation. *Renewable Energy*, 37(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.05.033>
- Gasch, R., & Twele, J. (2011). *Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation*. Berlin: Springer Science & Business Media.
- Kabouris, J. & Hatziargyriou, N. (2006). Wind power in Greece - Current situation, future developments and prospects. *IEEE Power Engineering Society General Meeting, PES*. <https://doi.org/brkzm7>
- Kelachukwu, I. (2022). Solar Photovoltaic Power Forecasting: A Review. *Sustainability*, 14(24), 17005. <https://doi.org/10.3390/su142417005>

- Lei, M., Shiyan, L., Chuanwen, J., Hongling, L., & Yan, Z. (2009). A review on the forecasting of wind speed and generated power. *Renew. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(4), 915-920. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.02.002>
- Manwell, J., McGowan, J., & Rogers, A. (2010). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons. <https://doi.org/c7f9tg>
- Mellit, A., & Pavan, A. (2010). A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network: Application for performance prediction of a grid-connected PV plant at Trieste, Italy. *Solar Energy*, 84, 807-821. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.02.006>
- Notton, G., Nivet, M., Motte, F., & Voyant, C. (2017). Tilos, the first autonomous renewable green island in Mediterranean: A Horizon 2020 project. *15th International Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)*. <https://doi.org/10.1109/ELMA.2017.7955410>
- Ogliari, E., Dolara, A., Manzolini, M., & Leva, S. (2017). Physical and hybrid methods comparison for the day ahead PV output power forecast. *Renewable Energy*, 113, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.063>
- Papaefthimiou, S., Karamanou, E., Papathanassiou, S., & Papadopoulos, M. (2009). Operating policies for wind-pumped storage hybrid power stations in island grids. *IET Renewable Power Generation*, 3(3), 293-307. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2008.0071>
- Shi, J., Lee, W-J., Liu, Y., Yang, Y., & Wang, P. (2011). Forecasting power output of photovoltaic system based on weather classification and support vector machine. *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Orlando, FL, USA*. <https://doi.org/10.1109/IAS.2011.6074294>
- Soman, S., Zareipour, H., Malik, O., & Mandal, P. (2010). A review of wind power and wind speed forecasting methods with different time horizons. *Proceedings of the 2010 North American Power Symposium (NAPS), Arlington, TX, USA, 26–28 September 2010*. <https://doi.org/10.1109/NAPS.2010.5619586>
- Timplalexis, C., Bezas, N., Bintoudi, A., Zyglakis, L., Pavlopoulos, V., Tsolakis, A., Krinidis, S., Tzovaras, D. (2020). A hybrid physical/statistical day-ahead direct PV forecasting engine. *12th Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MEDPOWER 2020, Paphos, Cyprus)*. <https://doi.org/10.1049/icp.2021.1233>
- Ulbricht, R., Fischer, U., Lehner, W., & Donker, H. (2013). First Steps Towards a Systematical Optimized Strategy for Solar Energy Supply Forecasting. *Proceedings of the European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases*. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/ynkfjy8>
- Wang, K., Qi, X., & Liu, H. (2019). A comparison of day-ahead photovoltaic power forecasting models based on deep learning neural network. *Applied Energy*, 251, 113315. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113315>

Wu, Y.-K., & Hong, J.-S. (2007). A literature review of wind forecasting technology in the world. *Proceedings of the 2007 IEEE Lausanne Power Tech, Lausanne, Switzerland, 1–5 July 2007*. <http://dx.doi.org/10.1109/PCT.2007.4538368>

Zohuri, B. (2018) Hybrid Renewable Energy Systems. In: *Hybrid Energy Systems*, Springer, Cham, 1-38. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70721-1_1

Διαδικτυακές

Αη Στράτης – Πράσινο Νησί (2017). *Υβριδικό Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας*. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/5d8bpz95>

ΔΕΔΔΗΕ (2021). *Πρόγραμμα ανάπτυξης συστημάτων μη διασυνδεδεμένων νησιών: Επταετές πρόγραμμα ανάπτυξης παραγωγής ΜΑΝ, 2021-2027*. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/yc3h8vc5>

ΔΕΔΔΗΕ (2022). *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά*. Διεύθυνση Διαχείρισης Νησιών. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/3vd2pewc>

ΔΕΔΔΗΕ (2023). *Εγχειρίδιο εκπόνησης μελετών ΑΠΕ και υβριδικών σταθμών*. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/yx7zv96f>

ΔΕΗ (2023). *Ναέρας - Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας*. [Online]. Ανάκτηση 14 Ιανουαρίου 2024, από: <https://shorturl.at/abotX>

Οδηγία (ΕΕ) 2015/2193 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, 25ης Νοεμβρίου 2015, για τον περιορισμό των εκπομπών ορισμένων ρύπων στην ατμόσφαιρα από μεσαίου μεγέθους μονάδες καύσης. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/yk9f5a8j>

Οδηγία (ΕΕ) 2018/410 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 14ης Μαρτίου 2018, για την τροποποίηση της οδηγίας 2003/87/ΕΚ με σκοπό την ενίσχυση οικονομικά αποδοτικών μειώσεων των εκπομπών και την προώθηση επενδύσεων χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών και της απόφασης (ΕΕ) 2015/1814. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/yv5cm2s2>

Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 11ης Δεκεμβρίου 2018, για την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/2cm9kz7u>

Νόμος 3468/2006 (ΦΕΚ Α' 129/27.06.2006). *Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις*. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/3n5hu72w>

Νόμος 4414/2016 (ΦΕΚ Α' 149/09.08.2016). *Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και*

- Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά του φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/2bxhdvzd>
- Νόμος 5037/2023 (ΦΕΚ Α' 78/29.3.2023). Μετονομασία της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας σε Ρυθμιστική Αρχή Αποβλήτων, Ενέργειας και Υδάτων και διεύρυνση του αντικειμένου της με αρμοδιότητες επί των υπηρεσιών ύδατος και της διαχείρισης αστικών αποβλήτων, ενίσχυση της υδατικής πολιτικής. Εκσυγχρονισμός της νομοθεσίας για τη χρήση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μέσω της ενσωμάτωσης των Οδηγιών ΕΕ 2018/2001 και 2019/944 Ειδικότερες διατάξεις για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/yc85zzyx>
- ΠΑΑΕΥ (2023). Καθορισμός Περιθωρίων Απορρόφησης ισχύος ανά Τεχνολογία Σταθμών ΑΠΕ, συμπεριλαμβανομένων των ΥΒΣ, σε αυτόνομα συστήματα ΜΔΝ (ΦΕΚ Β' 4668). [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/bddm3zmj>
- ΡΑΕ (2022). Απόφαση ΡΑΕ υπ' αρ. 488/2022. Προκήρυξη και Διενέργεια Ανταγωνιστικής Διαδικασίας υποβολής προσφορών για την επιλογή αναδόχου για την υλοποίηση του Ειδικού Πιλοτικού Έργου στο Ηλεκτρικό Σύστημα της νήσου «Αστυπάλαιας», σύμφωνα με τις διατάξεις της παραγράφου 3 του άρθρου 151 του ν. 4495/2017 (ΦΕΚ Α' 167). [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/39ahapd8>
- EU CORDIS (2015). *Technology Innovation for the Local Scale, Optimum Integration of Battery Energy Storage*. <https://doi.org/10.3030/646529>
- GR-eco Islands (2020). *Σχέδιο καθαρής ενεργειακής μετάβασης: Χάλκη* (1^η έκδ.). [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/yvt38jci>
- Meteoblue (2024). *Προσομοίωση ιστορικών δεδομένων κλίματος και καιρού για Αστυπάλαια*. [Online]. Ανάκτηση 31 Μαΐου 2024, από: <https://tinyurl.com/55trvmff>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Α. Δεδομένα ΡΑΕ

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται οι ισχύουσες άδειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας υβριδικών σταθμών, σύμφωνα με τα δεδομένα της ΡΑΕ (Νοέμβριος 2023). Σημειώνεται ότι:

- οι περισσότερες αιτήσεις έγιναν μετά την ανακοίνωση του Ν. 4414/2016 και των μέτρων προώθησης των ΥΣΠ
- η τελευταία χρονικά στη λίστα αίτηση αφορά τον ΥΣΠ σταθμό της Αστυπάλαιας.

Οι επιμέρους λεπτομέρειες των έργων καθώς και η λίστα, όπως ανανεώνεται, είναι διαθέσιμη στο σύνδεσμο:

<https://tinyurl.com/bdd63ewn>

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΥΠΟΒΟΛΗΣ ΑΙΤΗΣΗΣ	ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΘΕΣΗ	διαθέσιμη αθέσιμη Ισχύς (MW)
24/04/02	ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΣΙΜΩΝΟΣ ΠΕΤΡΑΣ/ΑΓΙΟΝ ΟΡΟΣ	ΑΓΙΟΝ ΟΡΟΣ	0.076
26/05/03	ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ ΟΣΙΟΥ ΓΡΗΓΟΡΙΟΥ/ΑΓΙΟΝ ΟΡΟΣ	ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΙΕΡΑΣ ΜΟΝΗΣ	0.04
16/06/06	ΑΝΕΜΟΣ RES ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΚΑΙ Δ.Τ. ΑΝΕΜΟΣ RES Α.Ε.	ΒΙΓΛΑ - ΠΛΑΚΕΣ - ΑΕΤΟΣ	15
10/10/07	ΥΔΡΟΑΙΟΛΙΚΗ ΑΙΓΑΙΟΥ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Α.Ε	ΠΛΑΚΑΚΙΑ	59.4
10/12/07	ΕΝΕΛ ΓΚΡΙΝ ΠΑΟΥΕΡ ΕΛΛΑΣ (ENEL GREEN POWER HELLAS) ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ, ΕΜΠΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ Δ.Τ. ΕΝΕΛ GREEN POWER HELLAS ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Α.Ε.	ΒΟΣΚΕΡΟ & ΒΟΥΚΟΛΙΑ	12
05/03/08	ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Δ.Τ. ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Α.Ε.	ΣΤΡΑΒΟΚΟΥΝΤΟΥΡΑΣ, ΠΡΟΕΣΠΕΡΑΣ, ΚΑΤΩ ΠΡΟΕΣΠΕΡΑΣ	2.55
10/06/08	INDUCE ENERGY I.K.E. ΚΑΙ Δ.Τ. INDUCE ENERGY P.C.	ΑΠΟΠΗΓΑΔΙ - ΣΤΡΟΓΓΥΛΗ ΚΟΥΡΥΦΗ	5.5
08/08/08	SFINARI ΔΥΤΙΚΟΣ HYBRID Α.Ε.	ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ	5
08/08/08	ΣΦΗΝΑΡΙ ΔΥΤΙΚΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (δ.τ. SFINARI ΔΥΤΙΚΟΣ HYBRID Α.Ε.)	ΣΤΑΥΡΟΣ	1.95
08/08/08	ΑΙΟΛΙΚΗ ΛΙΡΑ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (δ.τ. ΑΙΟΛΙΚΗ ΛΙΡΑ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Α.Ε.)	ΛΑΥΡΙΟ	12
10/10/08	ΑΙΟΛΙΚΗ ΛΙΡΑ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ και δ.τ. ΑΙΟΛΙΚΗ ΛΙΡΑ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Α.Ε.	ΒΟΥΝΙ, ΞΕΛΟΡΙΜΙ, ΠΕΛΕΚΑΝΟΣ, ΜΑΥΡΟ ΒΟΥΝΟ	15
10/10/08	ARGOLIDA ΑΙΟΛΟΣ Α.Ε.	ΞΕΡΑ ΞΥΛΑ-ΣΤΑΥΡΟΣ, ΣΧΟΛΕΙΟΥ ΧΩΡΑΦΙ, ΑΙΜΝΙΟ	12
10/04/09	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΚΡΗΤΗΣ Μ.Α.Ε.	ΑΓ. ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΟΣ, ΠΥΡΓΟΣ	42
10/04/09	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΚΡΗΤΗΣ Μ.Α.Ε.	ΒΙΤΣΙΛΟΚΟΥΜΙ - ΒΙΓΛΑ - ΑΜΥΓΔΑΛΟΚΕΦΑΛΑ - ΡΩΜΑΝΑΤΗ	57
10/08/10	ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΒΕΤΕ	ΦΡΟΥΔΙΑ - ΛΥΓΙΑΣ - ΠΛΑΤΥΒΟΛΟ ΤΡΟΥΛΑ - ΧΑΛΚΙΑΣ - ΚΟΡΦΗ ΦΡΑΓΜΑ ΠΟΤΑΜΩΝ	50
10/12/14	EUNICE ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. EUNICE FEROUSSA Α.Ε.)	ΑΓΙΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ - ΠΑΧΥ	0.4
19/09/16	ΔΥΤΙΚΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. ΔΥΤΙΚΟΣ HYBRID Α.Ε.)	ΠΑΧΝΟΒΟΥΝΟ	2
19/09/16	ΔΥΤΙΚΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. ΔΥΤΙΚΟΣ HYBRID Α.Ε.)	ΛΥΤΡΑ - ΑΓΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ - ΛΙΒΑΔΙΩΝ ΛΑΓΚΑΔΙ - ΑΓΙΑ ΜΑΡΙΝΑ	1
19/09/16	DISPATCH RENEWABLE ENERGY ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ Δ.Τ. DIREEN Α.Ε.	ΣΥΚΟΜΝΙΔΙΑ - ΒΟΡΟΣΚΕΠΟΛΕΠΡΟ - ΑΛΙΦΙΑΙ, ΚΡΗΤΙΚΟΥ ΛΑΚΚΟΣ & ΦΛΩΡΙΑΝΟΥ ΒΟΥΝΟ	7.75
19/09/16	ΔΥΤΙΚΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. ΔΥΤΙΚΟΣ HYBRID Α.Ε.)	ΚΑΨΑΛΑ - ΒΙΓΛΑ - ΚΑΤΣΙΝΙΤΗΣ - ΚΑΜΑΡΩΤΟ	5

19/09/16	ΔΥΤΙΚΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. ΔΥΤΙΚΟΣ HYBRID Α.Ε.)	ΦΩΚΙΑΣ	0.4
19/09/16	ΔΥΤΙΚΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. ΔΥΤΙΚΟΣ HYBRID Α.Ε.)	ΛΑΜΠΗ	0.4
19/09/16	ΔΥΤΙΚΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. ΔΥΤΙΚΟΣ HYBRID Α.Ε.)	ΟΣΙΟΣ	0.4
19/09/16	ΔΥΤΙΚΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. ΔΥΤΙΚΟΣ HYBRID Α.Ε.)	ΚΕΦΑΛΑ - ΠΛΑΪΤΣΟΥΡΑ	6
09/12/16	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΝΩΝΥΜΟΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (δ.τ. ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΣ ΑΙΟΛΙΚΗ Α.Ε.)	ΚΟΥΒΑΣ	0.8
12/12/16	EUNICE ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. EUNICE FEROUSSA Α.Ε.)	ΚΕΦΑΛΑΣ	0.25
12/12/16	ΠΑΥΛΙΔΗΣ Α.Ε. ΜΑΡΜΑΡΑ - ΓΡΑΝΙΤΕΣ	ΛΑΚΚΟΥΔΙΑ	4
12/12/16	ΠΑΥΛΙΔΗΣ Α.Ε. ΜΑΡΜΑΡΑ - ΓΡΑΝΙΤΕΣ	ΧΑΛΑΒΡΑΣ - ΠΛΑΤΥΒΟΛΟ	4
10/03/17	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΩ Ι.Κ.Ε.	ΤΑΒΟΛΑ - ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΥΠ ΑΡΙΘΜ. 1169 & 1079 ΚΜ ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	1
10/03/17	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΩ Ι.Κ.Ε.	ΣΟΧΩΡΟ - ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΥΠ ΑΡΙΘΜ. 2016 ΚΜ ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	0.3
10/03/17	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΩ Ι.Κ.Ε.	ΠΕΤΡΟ & ΠΡΟΒΑΤΙ - ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΥΠ ΑΡΙΘΜ. 510 ΚΜ ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	0.9
10/03/17	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΩ Ι.Κ.Ε.	ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΥΠ ΑΡΙΘΜ. 613 & 614 ΚΜ ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	0.8
10/03/17	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ Ι.Κ.Ε.	ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΥΠ ΑΡΙΘΜ. 953 ΚΜ ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	0.5
10/03/17	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ Ι.Κ.Ε.	ΚΑΤΑΦΙ - ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΥΠ ΑΡΙΘΜ. 768 ΚΜ ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	0.3
10/03/17	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ Ι.Κ.Ε.	ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΥΠ ΑΡΙΘΜ. 226 ΚΜ ΓΑΙΩΝ ΚΑΡΔΑΜΑΙΝΑΣ	0.5
10/03/17	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ Ι.Κ.Ε.	ΝΕΜΕΣΟΣ - ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΥΠ ΑΡΙΘΜ. 606 ΚΜ ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	0.3
10/03/17	ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ Ι.Κ.Ε.	ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΥΠ ΑΡΙΘΜ. 407 ΚΜ ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	0.8
10/03/17	EUNICE ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (δ.τ. EUNICE FEROUSSA Α.Ε.)	ΒΟΥΝΙΑΣ	0.05
10/03/17	ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΝΩΝΥΜΟΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (δ.τ. ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΟΣ ΑΙΟΛΙΚΗ Α.Ε.)	ΠΛΑΚΑ	0.8
10/03/17	ΑΡΧΙΠΕΛΑΓΟΣ Α.Π.Ε. ΙΔΙΩΤΙΚΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥΧΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. ΑΡΧΙΠΕΛΑΓΟΣ Α.Π.Ε. Ι.Κ.Ε.)	ΠΕΤΡΟ & ΠΡΟΒΑΤΙ - ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΟ ΥΠ ΑΡΙΘΜ. 919 ΚΜ ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	0.6
13/06/17	ΔΥΤΙΚΟΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΩΝ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΚΑΙ Δ.Τ. ΔΥΤΙΚΟΣ HOLDING ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Α.Ε	ΑΝΕΡΑΓΔΟΡΡΕΜΑ ΒΟΡΕΙΟ	0.05
13/06/17	ΔΥΤΙΚΟΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΩΝ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΚΑΙ Δ.Τ. ΔΥΤΙΚΟΣ HOLDING ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Α.Ε	ΑΝΕΡΑΓΔΟΡΡΕΜΑ ΝΟΤΙΟ	0.05
07/09/17	CRETA SOLAR SYSTEM ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. CRETA SOLAR SYSTEM Α.Ε.)	ΜΑΤΙΑΔΕΣ	1
07/09/17	CRETA SOLAR SYSTEM ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. CRETA SOLAR SYSTEM Α.Ε.)	ΠΕΤΡΟΛΑΚΚΟΣ	1
07/09/17	CRETA SOLAR SYSTEM ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. CRETA SOLAR SYSTEM Α.Ε.)	ΑΛΑΓΝΙ - ΠΑΤΗΤΗΡΙΑ	0.1
07/09/17	CRETA SOLAR SYSTEM ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. CRETA SOLAR SYSTEM Α.Ε.)	ΑΛΑΓΝΙ	0.3
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΜΑΡΑΘΟΚΕΦΑΛΟ	0.15
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΜΑΚΡΥΑ ΡΑΧΗ	0.3
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΠΕΡΔΙΚΟΝΕΡΟ	0.5
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΜΟΡΟΝΙ	0.3
11/09/17	ES ENERGY ΕΠΕ	ΚΟΡΑΚΑΣ	1
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΚΑΤΩ ΚΑΣΤΕΛΛΙΑΝΑ	1
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΑΝΩ ΚΑΣΤΕΛΛΙΑΝΑ	1
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΓΕΡΟΛΑΚΟΣ ΒΟΡΕΙΟ	0.995
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.	ΚΑΡΕΣ ΣΕΛΛΙ - ΔΑΙΜΟΝΙΑΡΗΣ	1.5
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΞΕΡΟΚΑΜΠΙΟΣ	0.1
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΧΟΥΛΙ	3
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΜΑΧΑΙΡΑ	0.3
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΚΕΦΑΛΑ	0.5
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΚΑΜΝΑΚΙ	0.3
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΜΟΡΟΝΙ ΝΟΤΙΑ	0.15

11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΑΧΛΑΔΟΥΡΙ	3
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΑΓΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ	0.15
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΚΑΣΤΕΛΛΟΣ	1
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΧΑΙΔΟΥΤΗ ΧΑΝΙ	0.5
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΠΑΛΙΟΜΑΝΤΡΙΑ	0.3
11/09/17	DISPATCH RENEWABLE ENERGY ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ Δ.Τ. DIREEN Α.Ε.	ΒΑΤΣΗ - ΧΑΒΟΥΝΑ	3
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ	3
11/09/17	DISPATCH RENEWABLE ENERGY ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ Δ.Τ. DIREEN Α.Ε.	ΚΡΗΤΙΚΟΥ ΛΑΚΚΟΣ - ΛΑΓΚΑΔΙ	3
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΛΑΓΟΠΑΤΙΑ	1
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.	ΜΕΤΟΧΙ	12
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΑΓΚΙΝΑΡΑ	3
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΑΓΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ	1
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΚΑΤΩ ΚΑΣΤΕΛΙΑΝΝΑ ΝΟΤΙΑ	1
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΒΙΤΣΙΛΟΚΟΥΜΟ - ΧΑΛΕΠΑ	12
11/09/17	DISPATCH RENEWABLE ENERGY ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ Δ.Τ. DIREEN Α.Ε.	ΦΛΩΡΙΑΝΟΥ ΒΟΥΝΟ - ΜΥΔΩΝΑΣ	1
11/09/17	DELTA ENERGY I.K.E.	ΣΑΛΗ ΜΠΕΗ	0.5
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΦΟΛΕΣ ΝΟΤΙΟ	0.995
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΛΥΓΙΑΣ ΝΟΤΙΟ	0.995
11/09/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΓΕΡΟΛΑΚΟΣ ΝΟΤΙΟ	0.995
08/12/17	ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. Ε.Υ.Σ. Α.Ε.)	ΤΗΣ ΠΑΝΑΓΙΑΣ Ο ΚΑΒΟΣ	0.07
08/12/17	ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. Ε.Υ.Σ. Α.Ε.)	ΑΜΠΕΛΑ	0.017
08/12/17	ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. Ε.Υ.Σ. Α.Ε.)	ΤΡΑΧΥ - ΠΕΥΚΟΣ	1.4
08/12/17	ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. Ε.Υ.Σ. Α.Ε.)	ΠΟΡΤΟ - ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	0.084
08/12/17	ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. Ε.Υ.Σ. Α.Ε.)	ΣΤΕΡΝΑ	0.0334
08/12/17	ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. Ε.Υ.Σ. Α.Ε.)	ΧΩΡΑΦΙ - ΚΑΖΑΡΜΑ	0.0568
08/12/17	ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. Ε.Υ.Σ. Α.Ε.)	ΜΥΛΟΙ	0.038
08/12/17	ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. Ε.Υ.Σ. Α.Ε.)	ΒΑΓΙΑ	0.16
08/12/17	ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. Ε.Υ.Σ. Α.Ε.)	ΓΚΟΙΤΖΙΜΑΤΙΚΑ	0.05354
08/12/17	ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. Ε.Υ.Σ. Α.Ε.)	ΔΗΜΗΤΡΙΕΣ - ΚΑΜΑΡΙ	0.9
08/12/17	ΕΛΛΗΝΙΚΟΙ ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Δ.Τ. Ε.Υ.Σ. Α.Ε.)	ΠΑΝΑΓΙΑ ΚΑΛΑΜΙΩΤΙΣΣΑ - ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ - ΜΕΡΙΚΑΣ - ΚΕΡΑΙΕΣ	1.41
11/12/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΤΙΜΙΟΣ ΣΤΑΥΡΟΣ	0.3
11/12/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΜΟΝΗ	0.3
11/12/17	DISPATCH RENEWABLE ENERGY ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ Δ.Τ. DIREEN Α.Ε.	ΚΑΥΚΑΡΕΣ	3
11/12/17	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΤΑΒΕΡΩΝΑΣ	0.3
13/12/17	ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΩΝΥΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΑ (δ.τ. ECEN)	ΔΟΚΙΜΙ	0.125
09/03/18	ELPEDISON ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (δ.τ. ELPEDISON Μ.Α.Ε.)	ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΚΚΙΝΟΣ ΚΑΒΟΣ	0.5
13/03/18	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΝΙΚΗΤΗΔΕΣ	0.3
13/03/18	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΤΣΑΚΑΛΟΡΡΕΜΑ	0.3
13/03/18	ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Δ.Τ. ΑΚΤΙΝΑ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε.)	ΔΑΜΟΝΙΑΡΗΣ	1

08/06/18	ELPEDISON ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (δ.τ. ELPEDISON Μ.Α.Ε.)	ΣΤΟΜΑ ΜΑΛΛΑ	0.5
07/09/18	ELPEDISON ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ (δ.τ. ELPEDISON Μ.Α.Ε.)	ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΟΣ ΣΥΜΕΩΝ	0.5
10/12/18	ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΒΕΤΕ	ΠΑΧΥ ΒΟΥΝΟ	1.6
10/12/18	ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΒΕΤΕ	ΑΓΝΩΝΤΙΑ	1.6
06/09/19	RENEWABLE HYBRID PLANTS I ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Ι.Κ.Ε.	ΠΛΑΤΕΙΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΠΟΛΙΧΝΙΤΟΥ	3.834
06/09/19	RENEWABLE HYBRID PLANTS I ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Ι.Κ.Ε.	ΠΛΑΤΕΙΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	3.712
10/12/19	EUNICE LABORATORIES ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ Δ.Τ. EUNICE LABORATORIES Μ.Α.Ε.	ΚΑΨΑΛΑ ΔΟΝΟΥΣΗΣ	0.05
10/12/19	EUNICE LABORATORIES ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Ι.Κ.Ε.	ΜΕΜΙΓΚΑΡΙΑ - ΜΕΣΟΡΡΑΧΙΔΟ	2.15
03/07/20	ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΟΥ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΥ	ΠΟΛΥΝΟΤΝΟ	1
02/12/20	ΑΦΟΙ ΠΕΤΑΛΑ ΑΕ	"ΛΑΓΚΟΥΝΑΡΑ" ΧΩΡΙΖΙ ΒΑΘΥ ΚΑΛΥΜΝΟΥ	0.99
02/12/20	ΠΕΤΑΛΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΙ ΣΙΑ ΟΕ	"ΛΑΜΠΩΤΟ" ΣΤΗΜΕΝΙΑ ΧΩΡΙΖΙ ΒΑΘΥ ΚΑΛΥΜΝΟΥ	0.99
02/12/20	Α. ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΚΑΙ ΣΙΑ ΟΜΟΡΡΥΘΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ	«ΕΜΠΡΙΑΡΗΣ» ΚΜ1245 ΓΑΙΩΝ ΨΙΝΘΟΥ	1.98
02/12/20	Α. ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΚΑΙ ΣΙΑ ΟΜΟΡΡΥΘΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ	«ΒΟΥΕΣ» ΚΜ947 ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	0.494
02/12/20	Α. ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΚΑΙ ΣΙΑ ΟΜΟΡΡΥΘΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ	«ΤΕΤΡΑΓΩΝΟ» ΚΜ250 ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	1.98
02/12/20	ΠΕΛΑΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ	"ΑΝΑΒΑΛΟΥΣΣΑ" ΚΜ213Η ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	0.498
02/12/20	ΕΛΠΙΔΟΦΟΡΟΣ ΑΜΑΛΛΟΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑΚΗ ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΜΠΟΡΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΧΑΤΖΗΑΚΚΟΣ, ΚΜ73 ΓΑΙΩΝ ΚΕΦΑΛΟΥ	1.98
03/12/20	SEMINA SN SOLAR Ε Ε	«ΤΕΤΡΑΓΩΝΟ» ΚΜ256 ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	0.494
04/12/20	ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΩΝΥΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΑ	ΔΟΚΙΜΙ	2
04/12/20	ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΩΝΥΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΑ	ΚΛΕΒΟΥΣΚΙΑ	2
04/12/20	ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΩΝΥΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΑ	ΣΟΘΗΡΕΣ	6
14/12/20	ΤΗΚ HYBRID POWER ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΠΑΛΙΟΜΥΛΟΙ	9.936
14/12/20	ΤΗΚ HYBRID POWER ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΠΑΛΙΟΜΥΛΟΙ	9.936
14/12/20	ΤΗΚ HYBRID POWER ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΠΑΛΙΟΜΥΛΟΙ	9.936
14/12/20	ΤΗΚ HYBRID POWER ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΠΑΛΙΟΜΥΛΟΙ	9.936
14/12/20	ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ ΠΕΤΑΛΑΣ	ΡΙΚΙΑ-ΛΙΒΑΣ ΣΤΟ ΒΑΘΥ ΚΑΛΥΜΝΟΥ	0.494
18/12/20	ADDEDVALUE ENERGY ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Ι Κ Ε	«ΕΜΠΡΙΑΡΗΣ» ΚΜ1245 ΓΑΙΩΝ ΨΙΝΘΟΥ	0.498
19/12/20	ΠΕΤΑΛΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΙ ΣΙΑ ΟΕ	ΧΩΡΙΖΙ - ΣΤΗΜΕΝΙΑ ΣΤΟ ΒΑΘΥ ΚΑΛΥΜΝΟΥ	0.494
02/02/21	ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΙΚΗ ΟΜΗΡΟΥΠΟΛΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ Ο.Τ.Α ΚΑΙ Δ.Τ. ΠΡ.ΟΜ. Α.Ε. Ο.Τ.Α.	ΑΙΠΟΣ	0.567
03/02/21	ELEMENTAL Ι Κ Ε	ΚΜ 714 ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ - ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑ	0.498
04/02/21	PARTNERS ENERGY Ι Κ Ε	ΚΜ 790 ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ - ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑ	0.996
04/02/21	ΑΦΟΙ ΠΕΤΑΛΑ ΑΕ	ΕΜΠΟΛΑΣ ΣΤΟ ΒΑΘΥ ΚΑΛΥΜΝΟΥ	0.498
04/02/21	ΑΦΟΙ ΠΕΤΑΛΑ ΑΕ	"ΕΜΠΟΛΑΣ" ΣΤΗΝ ΟΔΟ ΠΡΟΣ ΚΥΡΑ ΨΗΛΗ ΣΤΟ ΒΑΘΥ ΚΑΛΥΜΝΟΥ	0.498
04/02/21	ΑΦΟΙ ΠΕΤΑΛΑ ΑΕ	ΧΩΡΙΖΙ ΣΤΗΜΕΝΙΑ ΣΤΟ ΒΑΘΥ ΚΑΛΥΜΝΟΥ	0.498
05/02/21	ΑΛΩΣ ΠΥΡΡΙΧΟΣ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΙΔΙΩΤΙΚΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥΧΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΚΜ 2801Α ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ - ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑ	0.498
05/02/21	RUTEC ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΔΙΩΤΙΚΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΑΕ	ΚΜ 190 ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑ	0.996
05/02/21	ADDEDVALUE ENERGY ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Ι Κ Ε	ΚΜ 2801Α ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ - ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑ	0.996
08/02/21	ΑΦΟΙ ΤΖΙΝΕΥΡΑΚΗ ΟΕ	ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑ ΚΜ 2232Α	0.999
08/02/21	ΑΦΟΙ ΤΖΙΝΕΥΡΑΚΗ ΟΕ	ΚΕΦΑΛΟΣ ΚΜ 2340	2.7
08/02/21	ΑΦΟΙ ΤΖΙΝΕΥΡΑΚΗ ΟΕ	Βάτι	1.998
08/02/21	ΑΦΟΙ ΤΖΙΝΕΥΡΑΚΗ ΟΕ	ΑΓΙΑ ΕΙΡΗΝΗ ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΟΥ	0.999
09/02/21	ΑΦΟΙ ΤΖΙΝΕΥΡΑΚΗ ΟΕ	ΠΕΔΙΑ	0.999
05/10/21	ΙΞΙΩΝ ΥΒΡΙΔΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΦΥΤΩΡΙΟ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Α.Ε. ΚΑΙ Δ.Τ. ΙΞΙΩΝ ΦΥΤΩΡΙΟ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Α.Ε.	ΦΥΤΩΡΙΟ	1.6
01/02/22	ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΙΚΗ ΟΜΗΡΟΥΠΟΛΗΣ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ Ο.Τ.Α ΚΑΙ Δ.Τ. ΠΡ.ΟΜ. Α.Ε. Ο.Τ.Α.	ΒΟΤΑΚΙΑ	0.3
09/02/22	ΑΦΟΙ ΤΖΙΝΕΥΡΑΚΗ Ο.Ε	ΣΤΑΥΡΟΣ - ΕΠΙΣΚΟΠΙΑΝΟ	0.34
09/02/22	ΑΦΟΙ ΤΖΙΝΕΥΡΑΚΗ Ο.Ε	ΤΡΥΠΗΤΗ	0.032
28/06/22	PRIME ENERGY Ι.Κ.Ε.	ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑ ΚΜ1241 ΤΜΗΜΑ Β, ΓΑΙΩΝ ΑΝΤΙΜΑΧΕΙΑΣ	0.999
07/02/23	ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Δ.Τ. ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΜΟΝΟΠΡΟΣΩΠΗ Α.Ε.	ΜΑΡΜΑΡΙ - ΑΓ. ΤΡΙΑΔΑ - ΠΑΛΙΟΜΥΛΟΣ	3

Β. Αποτελέσματα προσομοίωσης

Τεχνική αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.

Σενάριο	Grid Import (MWh)	Grid Export (MWh)	Generation (MWh)	Demand (MWh)	Balance (MWh)	Self-consumption rate (%)
1	3456.18	250.35	4917.20	8128.02	-5.00	57.48%
2	2474.45	1727.22	7375.80	8128.02	-5.00	69.56%
3	2057.20	3768.57	9834.39	8128.02	-5.00	74.69%
4	3338.14	132.31	4917.20	8128.02	-5.00	58.93%
5	1963.63	1216.40	7375.80	8128.02	-5.00	75.84%
6	1459.14	3170.51	9834.39	8128.02	-5.00	82.05%
7	3338.14	132.31	4917.20	8128.02	-5.00	58.93%
8	1961.19	1213.96	7375.80	8128.02	-5.00	75.87%
9	1458.83	3170.20	9834.39	8128.02	-5.00	82.05%
10	3538.07	332.24	4917.20	8128.02	-5.00	56.47%
11	2655.66	1908.43	7375.80	8128.02	-5.00	67.33%
12	2275.11	3986.48	9834.39	8128.02	-5.00	72.01%
13	4083.59	222.12	4917.20	8783.66	-5.00	53.51%
14	4666.64	149.54	4917.20	9439.30	-5.00	50.56%
15	1817.21	1144.66	7450.52	8128.02	-4.95	77.64%
16	628.47	3681.15	11175.79	8128.02	-4.92	92.27%
17	353.38	7131.30	14901.05	8128.02	-4.89	95.65%
18	5231.04	2878.40	9834.39	12192.04	-5.00	57.09%

Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας

	PV (MW)	Wind (MW)	Battery (MWh)
Σενάριο 1	3		9
Σενάριο 2	4.5		9
Σενάριο 3	6		9
Σενάριο 4	3		13.5
Σενάριο 5	4.5		13.5
Σενάριο 6	6		13.5
Σενάριο 7	3		13.5
Σενάριο 8	4.5		13.5
Σενάριο 9	6		13.5
Σενάριο 10	3		9
Σενάριο 11	4.5		9
Σενάριο 12	6		9
Σενάριο 13	3		9
Σενάριο 14	3		9

Σενάριο 15	3	1	9
Σενάριο 16	4.5	1.5	13.5
Σενάριο 17	6	2	13.5
Σενάριο 18	6		9

Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας – capex.

	PV	Wind	Battery	CAPEX
Σενάριο 1	€2,460,000.00	€0.00	€2,880,000.00	€5,340,000.00
Σενάριο 2	€3,690,000.00	€0.00	€2,880,000.00	€6,570,000.00
Σενάριο 3	€4,920,000.00	€0.00	€2,880,000.00	€7,800,000.00
Σενάριο 4	€2,460,000.00	€0.00	€4,320,000.00	€6,780,000.00
Σενάριο 5	€3,690,000.00	€0.00	€4,320,000.00	€8,010,000.00
Σενάριο 6	€4,920,000.00	€0.00	€4,320,000.00	€9,240,000.00
Σενάριο 7	€2,460,000.00	€0.00	€4,320,000.00	€6,780,000.00
Σενάριο 8	€3,690,000.00	€0.00	€4,320,000.00	€8,010,000.00
Σενάριο 9	€4,920,000.00	€0.00	€4,320,000.00	€9,240,000.00
Σενάριο 10	€2,460,000.00	€0.00	€2,880,000.00	€5,340,000.00
Σενάριο 11	€3,690,000.00	€0.00	€2,880,000.00	€6,570,000.00
Σενάριο 12	€4,920,000.00	€0.00	€2,880,000.00	€7,800,000.00
Σενάριο 13	€2,460,000.00	€0.00	€2,880,000.00	€5,340,000.00
Σενάριο 14	€2,460,000.00	€0.00	€2,880,000.00	€5,340,000.00
Σενάριο 15	€2,460,000.00	€1,600,000.00	€2,880,000.00	€6,940,000.00
Σενάριο 16	€3,690,000.00	€2,400,000.00	€4,320,000.00	€10,410,000.00
Σενάριο 17	€4,920,000.00	€3,200,000.00	€4,320,000.00	€12,440,000.00
Σενάριο 18	€4,920,000.00	€0.00	€2,880,000.00	€7,800,000.00

Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας – opex.

	opex
Σενάριο 1	€427,200.00
Σενάριο 2	€525,600.00
Σενάριο 3	€624,000.00
Σενάριο 4	€542,400.00
Σενάριο 5	€640,800.00
Σενάριο 6	€739,200.00
Σενάριο 7	€542,400.00
Σενάριο 8	€640,800.00
Σενάριο 9	€739,200.00
Σενάριο 10	€427,200.00
Σενάριο 11	€525,600.00

Σενάριο 12	€624,000.00
Σενάριο 13	€427,200.00
Σενάριο 14	€427,200.00
Σενάριο 15	€555,200.00
Σενάριο 16	€832,800.00
Σενάριο 17	€995,200.00
Σενάριο 18	€624,000.00

Savings στα διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.

	Grid import savings (MWh)	Energy Savings
Σενάριο 1	4671848	\$1,924,801.38
Σενάριο 2	5653574	\$2,329,272.49
Σενάριο 3	6070826	\$2,501,180.31
Σενάριο 4	4789886	\$1,973,433.03
Σενάριο 5	6164396	\$2,539,731.15
Σενάριο 6	6668879	\$2,747,578.15
Σενάριο 7	4789886	\$1,973,433.03
Σενάριο 8	6166839	\$2,540,737.67
Σενάριο 9	6669191	\$2,747,706.69
Σενάριο 10	4589955	\$1,891,061.46
Σενάριο 11	5472361	\$2,254,612.73
Σενάριο 12	5852916	\$2,411,401.39
Σενάριο 13	4700076	\$1,936,431.31
Σενάριο 14	4772658	\$1,966,335.10
Σενάριο 15	6310815	\$2,600,055.78
Σενάριο 16	7499556	\$3,089,817.07
Σενάριο 17	7774643	\$3,203,152.92
Σενάριο 18	6960992	\$2,867,928.70

Έτη λειτουργίας στα διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας.

ΕΤΗ	0	1	2	3	4	5	6
Σενάριο 1	-€5,340,000.00	€1,497,601.38	€1,377,793.27	€1,267,569.80	€1,166,164.22	€1,072,871.08	€987,041.40
Σενάριο 2	-€6,570,000.00	€1,803,672.49	€1,659,378.69	€1,526,628.39	€1,404,498.12	€1,292,138.27	€1,188,767.21
Σενάριο 3	-€7,800,000.00	€1,877,180.31	€1,727,005.89	€1,588,845.42	€1,461,737.78	€1,344,798.76	€1,237,214.86
Σενάριο 4	-€6,780,000.00	€1,431,033.03	€1,316,550.39	€1,211,226.36	€1,114,328.25	€1,025,181.99	€943,167.43
Σενάριο 5	-€8,010,000.00	€1,898,931.15	€1,747,016.66	€1,607,255.33	€1,478,674.90	€1,360,380.91	€1,251,550.44
Σενάριο 6	-€9,240,000.00	€2,008,378.15	€1,847,707.90	€1,699,891.26	€1,563,899.96	€1,438,787.97	€1,323,684.93
Σενάριο 7	-€6,780,000.00	€1,431,033.03	€1,316,550.39	€1,211,226.36	€1,114,328.25	€1,025,181.99	€943,167.43
Σενάριο 8	-€8,010,000.00	€1,899,937.67	€1,747,942.65	€1,608,107.24	€1,479,458.66	€1,361,101.97	€1,252,213.81

Σενάριο 9	-€9,240,000.00	€2,008,506.69	€1,847,826.16	€1,700,000.06	€1,564,000.06	€1,438,880.05	€1,323,769.65
Σενάριο 10	-€5,340,000.00	€1,463,861.46	€1,346,752.54	€1,239,012.34	€1,139,891.35	€1,048,700.04	€964,804.04
Σενάριο 11	-€6,570,000.00	€1,729,012.73	€1,590,691.71	€1,463,436.38	€1,346,361.47	€1,238,652.55	€1,139,560.35
Σενάριο 12	-€7,800,000.00	€1,787,401.39	€1,644,409.28	€1,512,856.54	€1,391,828.02	€1,280,481.77	€1,178,043.23
Σενάριο 13	-€5,340,000.00	€1,509,231.31	€1,388,492.81	€1,277,413.38	€1,175,220.31	€1,081,202.69	€994,706.47
Σενάριο 14	-€5,340,000.00	€1,539,135.10	€1,416,004.29	€1,302,723.95	€1,198,506.03	€1,102,625.55	€1,014,415.50
Σενάριο 15	-€6,940,000.00	€2,044,855.78	€1,881,267.32	€1,730,765.93	€1,592,304.66	€1,464,920.29	€1,347,726.66
Σενάριο 16	-€10,410,000.00	€2,257,017.07	€2,076,455.71	€1,910,339.25	€1,757,512.11	€1,616,911.14	€1,487,558.25
Σενάριο 17	-€12,440,000.00	€2,207,952.92	€2,031,316.68	€1,868,811.35	€1,719,306.44	€1,581,761.93	€1,455,220.97
Σενάριο 18	-€7,800,000.00	€2,243,928.70	€2,064,414.41	€1,899,261.26	€1,747,320.35	€1,607,534.73	€1,478,931.95

Διαφορετικά σενάρια εξέτασης του ΥΣΠ Αστυπάλαιας – αποτελέσματα για τους οικονομικού δείκτες.

Σενάριο	NPV	IRR	Payback
Σενάριο 1	€921,461.74	10.91%	4.1
Σενάριο 2	€977,745.08	10.12%	4.2
Σενάριο 3	€101,170.97	5.46%	4.9
Σενάριο 4	(€716,985.65)	1.17%	5.8
Σενάριο 5	(€11,582.10)	4.95%	4.8
Σενάριο 6	(€743,997.07)	2.10%	5.5
Σενάριο 7	(€716,985.65)	1.17%	5.8
Σενάριο 8	(€7,544.77)	4.97%	4.9
Σενάριο 9	(€743,481.46)	2.11%	5.5
Σενάριο 10	€786,124.25	10.06%	4.2
Σενάριο 11	€678,270.00	8.58%	4.3
Σενάριο 12	(€258,950.08)	3.82%	5.2
Σενάριο 13	€968,111.72	11.20%	3.9
Σενάριο 14	€1,088,061.73	11.94%	3.9
Σενάριο 15	€1,592,798.13	12.78%	3.8
Σενάριο 16	(€860,942.77)	2.02%	5.5
Σενάριο 17	(€2,991,082.16)	-4.00%	6.8
Σενάριο 18	€1,572,271.48	11.87%	3.9

Στο σημείο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (ωριαία για το έτος αναφοράς) για ένα σενάριο, που εξετάζεται (δεδομένα για τις πρώτες 10 ημέρες του Ιανουαρίου). Τα δεδομένα αφορούν παραγωγή ΑΠΕ, ζήτηση, grid import, grid export, battery_charge_discharge (δηλαδή το ποσό ενέργειας, που αποδίδει ή λαμβάνει η μπαταρία ανά κατάσταση), battery status. Τα

αθροιστικά μεγέθη παρουσιάζονται στο βασικό τμήμα της μελέτης και αντιστοιχούν στα αποτελέσματα της τελικής αξιολόγησης (όπως παρουσιάζονται στην παρούσα).

Σενάριο 1						
hour	gen	demand	grid_import;	grid_export;	battery_charge discharge;	battery_state
1	0.00	854.36	0.00	0.00	-854.36	4145.64
2	0.00	814.91	0.00	0.00	-814.91	3330.73
3	0.00	731.00	0.00	0.00	-731.00	2599.73
4	0.00	705.42	0.00	0.00	-705.42	1894.31
5	0.00	613.74	0.00	0.00	-613.74	1280.57
6	0.00	612.64	0.00	0.00	-612.64	667.93
7	0.00	586.30	0.00	0.00	-586.30	81.63
8	0.45	650.09	568.01	0.00	-81.63	0.00
9	62.51	643.41	580.90	0.00	0.00	0.00
10	305.22	714.74	409.52	0.00	0.00	0.00
11	666.65	912.19	245.54	0.00	0.00	0.00
12	966.44	874.56	0.00	0.00	91.88	91.88
13	1033.18	748.22	0.00	0.00	284.96	376.85
14	882.11	693.17	0.00	0.00	188.94	565.79
15	543.30	635.75	0.00	0.00	-92.45	473.34
16	204.62	625.33	0.00	0.00	-420.71	52.63
17	18.30	647.84	576.91	0.00	-52.63	0.00
18	0.00	684.64	684.64	0.00	0.00	0.00
19	0.00	880.40	880.40	0.00	0.00	0.00
20	0.00	895.15	895.15	0.00	0.00	0.00
21	0.00	896.28	896.28	0.00	0.00	0.00
22	0.00	956.73	956.73	0.00	0.00	0.00
23	0.00	807.04	807.04	0.00	0.00	0.00
24	0.00	835.18	835.18	0.00	0.00	0.00
25	0.00	675.50	675.50	0.00	0.00	0.00
26	0.00	609.35	609.35	0.00	0.00	0.00
27	0.00	602.76	602.76	0.00	0.00	0.00
28	0.00	551.29	551.29	0.00	0.00	0.00
29	0.00	526.20	526.20	0.00	0.00	0.00
30	0.00	578.63	578.63	0.00	0.00	0.00
31	0.00	542.56	542.56	0.00	0.00	0.00
32	0.49	632.45	631.96	0.00	0.00	0.00
33	66.74	635.77	569.03	0.00	0.00	0.00
34	335.15	774.99	439.84	0.00	0.00	0.00
35	696.95	826.48	129.53	0.00	0.00	0.00
36	986.41	816.02	0.00	0.00	170.39	170.39

37	1065.40	966.81	0.00	0.00	98.59	268.98
38	894.42	785.47	0.00	0.00	108.95	377.93
39	556.31	731.44	0.00	0.00	-175.13	202.80
40	210.30	812.48	399.38	0.00	-202.80	0.00
41	20.78	838.63	817.85	0.00	0.00	0.00
42	0.00	833.32	833.32	0.00	0.00	0.00
43	0.00	1059.35	1059.35	0.00	0.00	0.00
44	0.00	1094.27	1094.27	0.00	0.00	0.00
45	0.00	1019.97	1019.97	0.00	0.00	0.00
46	0.00	870.20	870.20	0.00	0.00	0.00
47	0.00	807.04	807.04	0.00	0.00	0.00
48	0.00	729.88	729.88	0.00	0.00	0.00
49	0.00	676.61	676.61	0.00	0.00	0.00
50	0.00	601.66	601.66	0.00	0.00	0.00
51	0.00	548.01	548.01	0.00	0.00	0.00
52	0.00	599.46	599.46	0.00	0.00	0.00
53	0.00	585.21	585.21	0.00	0.00	0.00
54	0.00	510.96	510.96	0.00	0.00	0.00
55	0.00	537.10	537.10	0.00	0.00	0.00
56	0.51	575.54	575.03	0.00	0.00	0.00
57	69.96	576.56	506.60	0.00	0.00	0.00
58	344.14	719.66	375.52	0.00	0.00	0.00
59	720.28	780.43	60.15	0.00	0.00	0.00
60	1015.77	845.51	0.00	0.00	170.26	170.26
61	1095.04	968.92	0.00	0.00	126.12	296.39
62	922.64	916.28	0.00	0.00	6.36	302.75
63	575.96	898.60	19.89	0.00	-302.75	0.00
64	216.58	783.43	566.85	0.00	0.00	0.00
65	22.13	863.62	841.49	0.00	0.00	0.00
66	0.00	847.66	847.66	0.00	0.00	0.00
67	0.00	1036.16	1036.16	0.00	0.00	0.00
68	0.00	1074.46	1074.46	0.00	0.00	0.00
69	0.00	1014.20	1014.20	0.00	0.00	0.00
70	0.00	917.90	917.90	0.00	0.00	0.00
71	0.00	875.86	875.86	0.00	0.00	0.00
72	0.00	794.70	794.70	0.00	0.00	0.00
73	0.00	673.29	673.29	0.00	0.00	0.00
74	0.00	645.67	645.67	0.00	0.00	0.00
75	0.00	577.54	577.54	0.00	0.00	0.00
76	0.00	626.94	626.94	0.00	0.00	0.00
77	0.00	597.27	597.27	0.00	0.00	0.00

78	0.00	590.69	590.69	0.00	0.00	0.00
79	0.00	542.56	542.56	0.00	0.00	0.00
80	0.49	604.01	603.52	0.00	0.00	0.00
81	56.54	665.28	608.74	0.00	0.00	0.00
82	274.58	760.24	485.66	0.00	0.00	0.00
83	562.18	731.65	169.47	0.00	0.00	0.00
84	856.17	770.87	0.00	0.00	85.30	85.30
85	1010.70	729.89	0.00	0.00	280.81	366.10
86	837.99	789.61	0.00	0.00	48.38	414.48
87	458.63	786.55	0.00	0.00	-327.92	86.56
88	183.31	838.48	568.61	0.00	-86.56	0.00
89	16.65	855.85	839.20	0.00	0.00	0.00
90	0.00	821.57	821.57	0.00	0.00	0.00
91	0.00	1029.22	1029.22	0.00	0.00	0.00
92	0.00	1035.00	1035.00	0.00	0.00	0.00
93	0.00	1083.78	1083.78	0.00	0.00	0.00
94	0.00	929.30	929.30	0.00	0.00	0.00
95	0.00	912.20	912.20	0.00	0.00	0.00
96	0.00	779.01	779.01	0.00	0.00	0.00
97	0.00	706.53	706.53	0.00	0.00	0.00
98	0.00	630.24	630.24	0.00	0.00	0.00
99	0.00	583.01	583.01	0.00	0.00	0.00
100	0.00	610.45	610.45	0.00	0.00	0.00
101	0.00	590.69	590.69	0.00	0.00	0.00
102	0.00	614.84	614.84	0.00	0.00	0.00
103	0.00	555.66	555.66	0.00	0.00	0.00
104	0.41	627.25	626.84	0.00	0.00	0.00
105	62.60	694.19	631.59	0.00	0.00	0.00
106	299.20	715.22	416.02	0.00	0.00	0.00
107	672.23	743.17	70.94	0.00	0.00	0.00
108	881.73	962.55	80.82	0.00	0.00	0.00
109	964.71	793.58	0.00	0.00	171.13	171.13
110	753.51	866.26	0.00	0.00	-112.75	58.37
111	479.81	877.00	338.82	0.00	-58.37	0.00
112	172.71	799.21	626.50	0.00	0.00	0.00
113	16.55	817.42	800.87	0.00	0.00	0.00
114	0.00	941.86	941.86	0.00	0.00	0.00
115	0.00	1086.11	1086.11	0.00	0.00	0.00
116	0.00	1129.38	1129.38	0.00	0.00	0.00
117	0.00	1124.69	1124.69	0.00	0.00	0.00
118	0.00	1184.75	1184.75	0.00	0.00	0.00

119	0.00	1028.06	1028.06	0.00	0.00	0.00
120	0.00	895.15	895.15	0.00	0.00	0.00
121	0.00	779.01	779.01	0.00	0.00	0.00
122	0.00	708.76	708.76	0.00	0.00	0.00
123	0.00	677.71	677.71	0.00	0.00	0.00
124	0.00	674.39	674.39	0.00	0.00	0.00
125	0.00	668.86	668.86	0.00	0.00	0.00
126	0.00	679.93	679.93	0.00	0.00	0.00
127	0.00	658.92	658.92	0.00	0.00	0.00
128	0.28	702.10	701.82	0.00	0.00	0.00
129	50.91	687.42	636.51	0.00	0.00	0.00
130	266.81	783.55	516.74	0.00	0.00	0.00
131	502.92	695.54	192.62	0.00	0.00	0.00
132	580.30	959.61	379.31	0.00	0.00	0.00
133	732.90	996.92	264.02	0.00	0.00	0.00
134	587.91	1153.34	565.43	0.00	0.00	0.00
135	420.64	1044.77	624.13	0.00	0.00	0.00
136	153.07	886.31	733.24	0.00	0.00	0.00
137	14.24	851.87	837.63	0.00	0.00	0.00
138	0.00	919.29	919.29	0.00	0.00	0.00
139	0.00	1169.39	1169.39	0.00	0.00	0.00
140	0.00	1207.26	1207.26	0.00	0.00	0.00
141	0.00	1159.95	1159.95	0.00	0.00	0.00
142	0.00	1155.24	1155.24	0.00	0.00	0.00
143	0.00	988.86	988.86	0.00	0.00	0.00
144	0.00	896.28	896.28	0.00	0.00	0.00
145	0.00	743.25	743.25	0.00	0.00	0.00
146	0.00	754.41	754.41	0.00	0.00	0.00
147	0.00	639.06	639.06	0.00	0.00	0.00
148	0.00	693.22	693.22	0.00	0.00	0.00
149	0.00	653.40	653.40	0.00	0.00	0.00
150	0.00	660.02	660.02	0.00	0.00	0.00
151	0.00	660.02	660.02	0.00	0.00	0.00
152	0.48	662.29	661.81	0.00	0.00	0.00
153	70.47	749.09	678.62	0.00	0.00	0.00
154	350.94	854.81	503.87	0.00	0.00	0.00
155	746.53	838.00	91.47	0.00	0.00	0.00
156	1045.20	879.97	0.00	0.00	165.23	165.23
157	1131.03	954.37	0.00	0.00	176.66	341.89
158	962.27	1014.42	0.00	0.00	-52.15	289.73
159	613.66	1003.13	99.74	0.00	-289.73	0.00

160	244.39	882.02	637.63	0.00	0.00	0.00
161	29.01	1003.76	974.75	0.00	0.00	0.00
162	0.01	1078.78	1078.77	0.00	0.00	0.00
163	0.00	1319.85	1319.85	0.00	0.00	0.00
164	0.00	1331.95	1331.95	0.00	0.00	0.00
165	0.00	1214.39	1214.39	0.00	0.00	0.00
166	0.00	1264.50	1264.50	0.00	0.00	0.00
167	0.00	1103.62	1103.62	0.00	0.00	0.00
168	0.00	1011.89	1011.89	0.00	0.00	0.00
169	0.00	870.20	870.20	0.00	0.00	0.00
170	0.00	766.70	766.70	0.00	0.00	0.00
171	0.00	727.66	727.66	0.00	0.00	0.00
172	0.00	703.20	703.20	0.00	0.00	0.00
173	0.00	623.64	623.64	0.00	0.00	0.00
174	0.00	662.23	662.23	0.00	0.00	0.00
175	0.00	660.02	660.02	0.00	0.00	0.00
176	0.48	793.58	793.10	0.00	0.00	0.00
177	73.74	872.00	798.26	0.00	0.00	0.00
178	346.57	1008.20	661.63	0.00	0.00	0.00
179	702.98	976.79	273.81	0.00	0.00	0.00
180	1051.71	1140.36	88.65	0.00	0.00	0.00
181	1167.53	1194.57	27.04	0.00	0.00	0.00
182	953.23	1181.29	228.06	0.00	0.00	0.00
183	626.66	1159.62	532.96	0.00	0.00	0.00
184	232.74	1008.26	775.52	0.00	0.00	0.00
185	28.68	1122.07	1093.39	0.00	0.00	0.00
186	0.01	1175.58	1175.57	0.00	0.00	0.00
187	0.00	1321.06	1321.06	0.00	0.00	0.00
188	0.00	1318.64	1318.64	0.00	0.00	0.00
189	0.00	1287.30	1287.30	0.00	0.00	0.00
190	0.00	1281.29	1281.29	0.00	0.00	0.00
191	0.00	1074.46	1074.46	0.00	0.00	0.00
192	0.00	1093.11	1093.11	0.00	0.00	0.00
193	0.00	878.13	878.13	0.00	0.00	0.00
194	0.00	770.05	770.05	0.00	0.00	0.00
195	0.00	679.93	679.93	0.00	0.00	0.00
196	0.00	652.29	652.29	0.00	0.00	0.00
197	0.00	612.64	612.64	0.00	0.00	0.00
198	0.00	622.54	622.54	0.00	0.00	0.00
199	0.00	651.19	651.19	0.00	0.00	0.00
200	0.50	879.59	879.09	0.00	0.00	0.00

201	69.04	934.57	865.53	0.00	0.00	0.00
202	346.38	999.56	653.18	0.00	0.00	0.00
203	730.55	991.57	261.02	0.00	0.00	0.00
204	1022.31	1039.74	17.43	0.00	0.00	0.00
205	1127.27	1172.38	45.11	0.00	0.00	0.00
206	948.32	1086.16	137.84	0.00	0.00	0.00
207	599.88	998.75	398.87	0.00	0.00	0.00
208	239.45	997.49	758.04	0.00	0.00	0.00
209	29.85	1076.03	1046.18	0.00	0.00	0.00
210	0.01	1110.50	1110.49	0.00	0.00	0.00
211	0.00	1284.90	1284.90	0.00	0.00	0.00
212	0.00	1315.01	1315.01	0.00	0.00	0.00
213	0.00	1226.29	1226.29	0.00	0.00	0.00
214	0.00	1157.59	1157.59	0.00	0.00	0.00
215	0.00	1141.12	1141.12	0.00	0.00	0.00
216	0.00	963.60	963.60	0.00	0.00	0.00
217	0.00	864.54	864.54	0.00	0.00	0.00
218	0.00	676.61	676.61	0.00	0.00	0.00
219	0.00	617.04	617.04	0.00	0.00	0.00
220	0.00	655.60	655.60	0.00	0.00	0.00
221	0.00	600.56	600.56	0.00	0.00	0.00
222	0.00	586.30	586.30	0.00	0.00	0.00
223	0.00	620.34	620.34	0.00	0.00	0.00
224	0.31	766.70	766.39	0.00	0.00	0.00
225	62.66	792.40	729.74	0.00	0.00	0.00
226	308.17	863.25	555.08	0.00	0.00	0.00
227	563.90	756.97	193.07	0.00	0.00	0.00
228	848.95	943.39	94.44	0.00	0.00	0.00
229	649.95	871.79	221.84	0.00	0.00	0.00
230	505.85	700.30	194.45	0.00	0.00	0.00
231	159.12	919.87	760.75	0.00	0.00	0.00
232	46.00	983.21	937.21	0.00	0.00	0.00
233	6.52	965.30	958.78	0.00	0.00	0.00
234	0.00	1012.85	1012.85	0.00	0.00	0.00
235	0.00	1176.47	1176.47	0.00	0.00	0.00
236	0.00	1164.67	1164.67	0.00	0.00	0.00
237	0.00	1086.11	1086.11	0.00	0.00	0.00
238	0.00	1102.45	1102.45	0.00	0.00	0.00
239	0.00	960.16	960.16	0.00	0.00	0.00
240	0.00	905.38	905.38	0.00	0.00	0.00