



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Διερεύνηση Στρατηγικών Ενεργειακής Διαχείρισης του  
Υβριδικού Ενεργειακού Έργου «Ναέρας» στο Νησί της Ικαρίας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

**Χριστοπούλου Ελένη**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης

Επίκουρος Καθηγητής ΠΑ. Δ.Α.

Αθήνα, Μάρτιος 2024





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**Διερεύνηση Στρατηγικών Ενεργειακής Διαχείρισης του  
Υβριδικού Ενεργειακού Έργου «Ναέρας» στο Νησί της Ικαρίας**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

της

**Χριστοπούλου Ελένη**

**Επιβλέπων:** Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης  
Επίκουρος Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική Επιτροπή την 21<sup>η</sup> Μαρτίου 2024

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....  
Δρ Καββαδίας Κοσμάς  
Αν. Καθηγητής Πα.Δ.Α.

.....  
Δρ Μουστρής Κων/νος  
Καθηγητής Πα.Δ.Α.

.....  
Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης  
Επίκουρος Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Αθήνα, Μάρτιος 2024

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Χριστοπούλου Ελένη του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 51204509 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



Χριστοπούλου Ελένη

# Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, κλείνει ένας πολύ όμορφος κύκλος της ζωής μου, σηματοδοτώντας την αρχή ενός επόμενου. Ένας κύκλος αρκετών χρόνων, μέσα από τον οποίο γνώρισα πρώτα από όλα καλύτερα τον εαυτό μου και έπειτα νέους ανθρώπους οι οποίοι έγιναν φίλοι και αναπόσπαστο κομμάτι αυτής της πορείας, όπου μερικοί από αυτούς δεν αποτέλεσαν μόνο έναν φίλο – συμφοιτητή για την σχολή, αλλά πραγματικούς φίλους.

Πρώτα από όλα, όμως, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, καθώς χωρίς αυτούς δεν θα βρισκόμουν σήμερα ως εδώ, για την απεριόριστη στήριξη τους σε κάθε νέο μου βήμα, την αγάπη, την ενθάρρυνση να συνεχίσω και το πιστεύω, τους στις δυνατότητες μου. Ακόμα, θέλω να ευχαριστήσω τον σύντροφό μου, ο οποίος με έκανε να γνωρίσω και να αγαπήσω το όμορφο νησί της Ικαρίας και να εμπνευστώ από αυτόν τον τόπο το θέμα της Διπλωματικής μου Εργασίας.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Δημήτριο Ζαφειράκη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την συνεχή καθοδήγηση και την στήριξη του σε όλη την διαδρομή δημιουργίας της εργασίας αυτής.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Νεκτάριο Στεφανάκη, Ηλεκτρολόγο Μηχανικό του Υβριδικού Ενεργειακού έργου «ΝΑΕΡΑΣ» της Ικαρίας, για την πανέμορφη συνεργασία μας το καλοκαίρι του 2022, όπου με ξενάγησε στο έργο, παρέχοντας μου απλόχερα τις γνώσεις του και δίνοντας μου την ευκαιρία να γνωρίσω και να δω από κοντά τον υβριδικό σταθμό και τελικά να αγαπήσω περισσότερο αυτό που επέλεξα.

# Περίληψη

Στη σημερινή εποχή, η ανάγκη για ενέργεια είναι διαρκώς αυξανόμενη σε εγχώριο και παγκόσμιο επίπεδο, ενώ τα ορυκτά καύσιμα του πλανήτη εξαντλούνται και παράλληλα αυξάνονται οι εκπομπές των αέριων ρύπων, εντείνοντας το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Επομένως, η υψηλότερη διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη βιώσιμη ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος. Βασικός παράγοντας για την επίτευξη της μεγαλύτερης διείσδυσης των ΑΠΕ είναι η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας αυτών, προσδίδοντας έτσι, μεγαλύτερη ευελιξία και ασφάλεια στο εκάστοτε ηλεκτρικό σύστημα. Ταυτόχρονα, τα περισσότερα νησιά της χώρας μας λειτουργούν ως αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα, καθώς είναι μη διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο. Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται ανελαστικά ως προς την διαχείριση παραγωγής – ζήτησης, το οποίο οφείλεται στην χρήση κυρίως θερμικών μονάδων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και σε μικρότερο ποσοστό ΑΠΕ. Αξιοποιώντας, όμως περισσότερο τις ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά και συνδυάζοντας τις διάφορες τεχνολογίες ΑΠΕ και αποθήκευσης, εξασφαλίζεται σταθερότητα και ασφάλεια στο ηλεκτρικό δίκτυο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα των παραπάνω αποτελεί ο Ναέρας, το πρώτο υβριδικό ενεργειακό έργο Αιολικού πάρκου - αντλησιοταμίευσης της Ελλάδας, στην Ικαρία, το οποίο αξιοποιώντας δύο τεχνολογίες ΑΠΕ, την αιολική και την υδραυλική, παράγει ηλεκτρική ενέργεια, μειώνοντας ταυτόχρονα την χρήση του Τοπικού Σταθμού Παραγωγής του νησιού. Με την λειτουργία του Ναέρα, τα οφέλη είναι πολλαπλά για την τοπική κοινωνία της Ικαρίας, την τοπική οικονομία, το τοπικό περιβάλλον και την τουριστική βιομηχανία του νησιού.

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τις στρατηγικές ενεργειακής διαχείρισης του υβριδικού σταθμού Ναέρα στο νησί της Ικαρίας ως προς την διασύνδεσή της με το νησί της Σάμου, μέσα από την εφαρμογή τριών βασικών σεναρίων. Τα τρία σενάρια εξετάζουν μεμονωμένα το ηλεκτρικό σύστημα της Ικαρίας, τη διασύνδεση Ικαρίας και Σάμου υπό το πλαίσιο εξαγωγής περίσσειας αιολικής ενέργειας μεταξύ των δύο νησιών και αξιοποίησης του Ναέρα για ικανοποίηση ενεργειακών αναγκών αποκλειστικά της Ικαρίας, καθώς και την επέκταση του δεύτερου σεναρίου με αξιοποίηση του Ναέρα για κάλυψη αναγκών και της Σάμου, επιπρόσθετα της Ικαρίας. Με βάση τα ανωτέρω, σκοπός της παρούσας εργασίας δεν αποτελεί η ανάδειξη ενός

εκ των τριών σεναρίων ως το επικρατέστερο, αλλά η εκτέλεση μιας εκτενούς παραμετρικής ανάλυσης και η διερεύνηση του αντίκτυπου των βασικών παραμέτρων του προβλήματος για το σύνολο των τριών σεναρίων.

# Λέξεις Κλειδιά

Υβριδικοί Σταθμοί, Διασύνδεση Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, Αποθήκευση, Ικαρία, Σάμος



# Abstract

Nowadays, energy needs at both the national and the global level rise continuously, while fossil fuel reserves keep on diminishing, with the relevant greenhouse gas emissions causing further aggravation of climate change. As such, larger shares of Renewable Energy Sources hold a key role in supporting sustainable development and protection of the environment. The main factor for achieving larger RES shares corresponds to electrical energy storage, which ensures greater flexibility and also security for a given electricity system.

At the same time, most islands of our country are operated as autonomous electricity systems, as they remain non-interconnected to the mainland electricity system. These systems feature inelastic characteristics concerning the management of power supply and demand, owing to the presence of thermal power generation and limited shares of RES. By further exploiting RES in non-interconnected islands, and by combining them with energy storage, we ensure grid stability and energy security.

One such example is the system of Naeras, i.e. the first hybrid, Wind – Pumped Hydro Storage station in Greece, on the island of Ikaria, which, by combining two different forms of RES (wind power and hydropower), generates energy while reducing the use of the local thermal power station. Operation of Naeras introduces multiple benefits both for the local society of Ikaria and the local economy, the local environment and the tourist industry of the island.

In this context, the present thesis investigates energy management strategies for the hybrid power station of Naeras on the island of Ikaria, putting forward three different scenarios and taking also into account the establishment of an interconnector with the island of Samos. The three scenarios examine Ikaria as a stand-alone system, the integration of Ikaria and Samos under the exchange of wind power excess between the two islands and the use of the Naeras solely for the needs of Ikaria, and finally, an extension of the second scenario that considers also the exploitation of Naeras in covering energy needs of Samos island, on top of Ikaria.

According to the above, the objective of the thesis is not to designate a single scenario as the way forward, rather to conduct an extensive parametrical analysis and investigate the impact of main problem parameters across the different scenarios.

# Keywords

Hybrid Stations, Interconnection of non – interconnected islands, Energy Storage Systems, Ikaria, Samos

# Ακρωνύμια

ΕΣΕΚ	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΜΣ50	Μακροχρόνια Στρατηγική
ΜΔΝ	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
ΣΗΕ	Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΜΕΚ	Κινητήρες Εσωτερικής Καύσης
ΑΗΣ	Ατμοηλεκτρικές Μονάδες
Α/Π	Αιολικό Πάρκο
Φ/Β	Φωτοβολταϊκό Πάρκο
ΕΣΜΗΕ	Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
Υ.Τ.	Υψηλή Τάση
Μ.Τ.	Μέση Τάση
ΥΚΩ	Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΤΣΠ	Τοπικός Σταθμός Παραγωγής
ΜΥΗΣ	Μικρός – Μεγάλος Υδροηλεκτρικός Σταθμός
ΥΗΣ	Υδροηλεκτρικός Σταθμός
CNESA	China Energy Storage Alliance
ΙΗΑ	International Hydropower Association
PHS	Pumped Hydro Storage

# Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη .....	6
Λέξεις Κλειδιά .....	8
Abstract.....	9
Keywords .....	11
Κατάλογος Εικόνων.....	15
Κατάλογος Σχημάτων .....	16
Κατάλογος Γραφημάτων.....	17
Κατάλογος Πινάκων .....	18
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> : Εισαγωγή.....	19
1.1 Μη Διασυνδεδεμένα Νησιωτικά Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	21
1.2 Εγκατεστημένη Ισχύς Παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.....	24
1.2.1 Τοπικοί Θερμικοί Σταθμοί.....	24
1.2.2 Ανανεώσιμοι Σταθμοί Ενέργειας.....	24
1.3 Προκλήσεις από την υψηλή διείσδυση ΑΠΕ στα ΜΔΝ.....	25
1.4 Διασύνδεση Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών .....	28
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> : Υπό Διερεύνηση Λύση .....	31
2.1 Αποθήκευση Ενεργειακής Παραγωγής.....	32
2.2 Τεχνολογία Αντλησιοταμίευσης.....	35
2.2.1 Γενικά Στοιχεία Συστημάτων Αντλησιοταμίευσης.....	35
2.2.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Συστήματος Αντλησιοταμίευσης.....	38
2.2.3 Υπό Λειτουργία Συστήματα Αντλησιοταμίευσης.....	39
2.3 Wind – PHS ανά τον Κόσμο (Το Παράδειγμα του El Hierro).....	41
2.4 Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας – Ναέρας.....	43
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> : Μελέτη Περίπτωσης.....	47
3.1 Ενεργειακή Κατάσταση Ικαρίας.....	48
3.1.1 Γεωγραφικός Προσδιορισμός .....	48
3.1.2 Γεωμορφολογικός Προσδιορισμός – Αιολικό Δυναμικό.....	49
3.1.4 Ενεργειακός Προσδιορισμός.....	50

3.2 Ενεργειακή Κατάσταση Σάμου.....	56
3.2.1 Γεωγραφικός Προσδιορισμός .....	56
3.2.2 Γεωμορφολογικός Προσδιορισμός .....	57
3.2.3 Ενεργειακός Προσδιορισμός.....	57
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> : Παρουσίαση Υβριδικού Ενεργειακού Έργου Ικαρίας - Ναέρας.....	61
4.1 ΜΥΗΣ (Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός) Κάτω Προεσπέρας Ικαρίας .....	62
4.2 ΜΥΗΣ (Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός) Άνω Προεσπέρας Ικαρίας .....	64
4.3 Αντλιοστάσιο Κάτω Προεσπέρας Ικαρίας.....	65
4.4 Ταμιευτήρες - Δεξαμενές Νερού .....	66
4.5 Φράγμα .....	67
4.6 Αιολικό Πάρκο.....	68
4.7 Γενικές Πληροφορίες για τον Σταθμό.....	69
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> : Μεθοδολογία .....	71
5.1 Μεθοδολογικό Πλαίσιο.....	72
Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> : Αποτελέσματα Εφαρμογής.....	75
6.1 Διείσδυση ΑΠΕ στο νησί της Ικαρίας .....	76
6.2 Συμμετοχή ΥΗΣ στο νησί της Ικαρίας .....	79
6.3 Εισαγωγές ΑΠΕ στο νησί της Ικαρίας.....	81
6.4 Απευθείας Έγχυση Α/Π στο νησί της Ικαρίας.....	83
6.5 Διείσδυση ΑΠΕ στο νησί της Σάμου .....	85
6.6 Συμμετοχή ΥΗΣ στο νησί της Σάμο .....	87
6.7 Εισαγωγές ΑΠΕ στο νησί της Σάμου.....	88
6.9 Επίδραση Μεταφορικής Ικανότητας Γραμμής Διασύνδεσης .....	90
Κεφάλαιο 7 <sup>ο</sup> : Συμπεράσματα.....	91
7.1 Ανακεφαλαίωση.....	92
7.2 Συμπεράσματα Αποτελεσμάτων Εφαρμογής.....	93
Βιβλιογραφικές Αναφορές:.....	95
Παράρτημα .....	98
Παράμετροι και Απολογιστικοί .....	98
Δείκτες Προβλήματος Προσομοίωσης .....	98

# Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά [6] .....	22
Εικόνα 2: Διασυνδέσεις Δωδεκανήσων και νήσων Βορειοανατολικού Αιγαίου με την ηπειρωτική χώρα [6] .....	30
Εικόνα 3: Διασυνδέσεις Δωδεκανήσων και Νήσων Βορειοανατολικού Αιγαίου με την ηπειρωτική χώρα [6].....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
Εικόνα 4: Συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας [17] .....	34
Εικόνα 5: Διάγραμμα Ανοιχτού και Κλειστού Βρόχου Συστήματος Αντλησιοταμίευσης [18] .....	37
Εικόνα 6: Υδροηλεκτρικό Συγκρότημα Ποταμού Αλιάκμονα, ΥΗΣ Σφηκιάς - ΥΗΣ Ασωμάτων [24] .....	39
Εικόνα 7: Υδροηλεκτρικό Συγκρότημα Ποταμού Νέστου ΥΗΣ Θησαυρού - ΥΗΣ Πλατανόβρυσης [24].....	40
Εικόνα 8: Gorona del Viento [26] .....	42
Εικόνα 9: Υπό Διερεύνηση Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας [27] .....	45
Εικόνα 10: Γεωγραφική Αναπαράσταση Υβριδικού Ενεργειακού Έργου Ικαρίας - Ναέρας [28] .....	46
Εικόνα 11: Ικαρία [31] .....	48
Εικόνα 12: Τοποθεσίες Α/Π Πάρκων και ΥΒΣ Ικαρίας [36] .....	53
Εικόνα 13: Τοποθεσίες Φ/Β Πάρκων Ικαρίας [36].....	53
Εικόνα 14: Σάμος [31].....	56
Εικόνα 15: Τοποθεσίες Α/Π Πάρκων Σάμου [36] .....	59
Εικόνα 16: Τοποθεσίες Φ/Β Πάρκων Σάμου [36].....	59
Εικόνα 17: ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας Ικαρίας .....	62
Εικόνα 18: Υδροστρόβιλος Κάθετου Άξονα ΜΥΗΣ Άνω Προεσπέρας Ικαρίας .....	64
Εικόνα 19: Ταμειντήρας Κάτω Προεσπέρας Ικαρίας .....	66
Εικόνα 20: Φράγμα Ικαρίας .....	67
Εικόνα 21: Αιολικό Πάρκο Ικαρίας.....	68
Εικόνα 22: Παρουσίαση Τμημάτων Υβριδικού Ενεργειακού Έργου Ικαρίας - Ναέρας.....	70

# Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή [2].....	26
Σχήμα 2: Εξέλιξη παραγωγής θερμικών μονάδων και ΑΠΕ [12].....	27
Σχήμα 3: Διάγραμμα Sankey - Απώλειες Αποθήκευσης Συστήματος Αντλησιοταμίευσης [20] .....	36
Σχήμα 4: Χάρτης Αιολικού Δυναμικού Ικαρίας [34] .....	49
Σχήμα 5: Μεθοδολογικό πλαίσιο της υπό μελέτη εφαρμογής.....	72



# Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1: Ωριαίο Φορτίο Ηλεκτρικού Συστήματος Ικαρίας για το έτος 2022 .....	52
Γράφημα 2: Ωριαία Παραγωγή Αιολικών Ικαρίας για το έτος 2022 .....	54
Γράφημα 3: Ωριαία Παραγωγή Υβριδικού Σταθμού Ικαρίας για το έτος 2022 .....	55
Γράφημα 4: Ωριαίο Φορτίο Ηλεκτρικού Συστήματος Σάμου για το έτος 2021 .....	58
<i>Γράφημα 5: Ωριαία Παραγωγή Αιολικών Σάμου για το έτος 2021 .....</i>	<i>60</i>
Γράφημα 6: Διείσδυση ΑΠΕ Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 1 .....	76
<i>Γράφημα 7: Διείσδυση ΑΠΕ Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 2 .....</i>	<i>77</i>
Γράφημα 8: Διείσδυση ΑΠΕ Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3 .....	77
Γράφημα 8: Διείσδυση ΑΠΕ Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3 .....	77
<i>Γράφημα 9: Συμμετοχή ΥΗΣ Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 1 .....</i>	<i>79</i>
<i>Γράφημα 10: Συμμετοχή ΥΗΣ Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 2 .....</i>	<i>79</i>
<i>Γράφημα 11: Συμμετοχή ΥΗΣ Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3 .....</i>	<i>80</i>
<i>Γράφημα 12: Εισαγωγές ΑΠΕ Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 2 .....</i>	<i>81</i>
<i>Γράφημα 13: Εισαγωγές ΑΠΕ Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3 .....</i>	<i>82</i>
Γράφημα 14: Απευθείας Έγχυση Α/Π συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 1 .....	84
<i>Γράφημα 15: Απευθείας Έγχυση Α/Π Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 2 .....</i>	<i>84</i>
Γράφημα 16: Απευθείας Έγχυση Α/Π Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3 ...	84
Γράφημα 17: Διείσδυση ΑΠΕ Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το σενάριο Σενάριο 2 ...	85
Γράφημα 18: Διείσδυση ΑΠΕ Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3 .....	86
<i>Γράφημα 19: Συμμετοχή ΥΗΣ Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3 .....</i>	<i>87</i>
<i>Γράφημα 20: Εισαγωγές ΑΠΕ Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 2 .....</i>	<i>88</i>
<i>Γράφημα 21: Εισαγωγές ΑΠΕ Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3 .....</i>	<i>88</i>
<i>Γράφημα 22: Απευθείας Έγχυση Α/Π Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 2 .....</i>	<i>89</i>
<i>Γράφημα 23: Απευθείας Έγχυση Α/Π Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3 .....</i>	<i>89</i>
<i>Γράφημα 24: Διείσδυση ΑΠΕ Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων διαφορετικής ισχύος γραμμής διασύνδεσης για το Σενάριο 2 .....</i>	<i>90</i>
<i>Γράφημα 25: Διείσδυση ΑΠΕ Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων διαφορετικής ισχύος γραμμής διασύνδεσης για το Σενάριο 2 .....</i>	<i>90</i>

# Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Στοιχεία Ηλεκτροπαραγωγής στα ΜΔΝ για το έτος 2022 [7] .....	23
Πίνακας 2: Στοιχεία Συμβατικών Μονάδων ΤΣΠ Ικαρίας .....	51
Πίνακας 3: Στοιχεία Συμβατικών Μονάδων ΑΣΠ Σάμου .....	58

# **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Εισαγωγή**

Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), αποτελεί οδικό χάρτη για την εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος της χώρας μας, καθώς και την επίτευξη συγκεκριμένων ενεργειακών και κλιματικών στόχων έως το έτος 2030, οι οποίοι θα διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο τόσο στην οικονομία, όσο και στους τελικούς καταναλωτές. Η ενεργειακή ευελιξία αποτελεί ίσως την βασικότερη προϋπόθεση για την ανάπτυξη της οικονομίας της χώρας μας, η οποία με την σειρά της, άμεσα ή έμμεσα, επηρεάζει και τους υπόλοιπους βιομηχανικούς και κατασκευαστικούς κλάδους, τις μεταφορές, την τεχνολογία και την υγεία. Δηλαδή τη διασφάλιση της συνεχούς ενεργειακής κάλυψης και του επαρκή ενεργειακού εφοδιασμού των εγχώριων φορτίων, είτε μέσω αξιοποίησης του δικού μας ενεργειακού δυναμικού, είτε μέσω εξωτερικών πηγών. Οι κύριοι στόχοι που τίθενται από το ΕΣΕΚ, αφορούν στην πλήρη κατάργηση των λιγνιτικών σταθμών παραγωγής ενέργειας (από 3,9 GW στα 0 GW), την υψηλή διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, αλλά και την ενεργειακή ανάπτυξη των υποδομών, έως το τέλος της επόμενης επταετίας. Με βάση τα παραπάνω, θα μεταβούμε σε ένα πιο ασφαλές και ευέλικτο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, που σε μεγάλο βαθμό αναμένεται να είναι αποκεντρωμένο, αποτέλεσμα το οποίο δύναται να επιτευχθεί μέσω της αξιοποίησης των ΑΠΕ, τις διαχείρισης παραγωγής – ζήτησης της χρήσης διεσπαρμένης αποθήκευσης, δηλαδή της μετατροπής των μη κατανεμημένων μονάδων ΑΠΕ σε κατανεμόμενες με την προσθήκη αποθήκευσης, αλλά και γενικότερα, της μεγαλύτερης συμμετοχής των συστημάτων αποθήκευσης διαφόρων μεγεθών και τεχνολογιών, συνυπολογίζοντας ταυτόχρονα τη σταδιακή ανάπτυξη ευφυών μικροδικτύων καθώς και την ολοένα και εντονότερη παρουσία διαφορετικών σχημάτων αυτοπαραγωγής, ενταγμένων και μη στο κεντρικό σύστημα αλλά και την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας [1].

Ακόμα, το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αποτελεί ζήτημα ύψιστης σημασίας και η αντιμετώπιση του παγκόσμια προτεραιότητα, το οποίο έχει ως συνέπεια μεγάλες και δραστικές αλλαγές στον ενεργειακό τομέα. Πιο συγκεκριμένα, η Ελλάδα στο πλαίσιο υιοθέτησης συγκεκριμένων αναπτυξιακών και περιβαλλοντικών πολιτικών, δεσμεύτηκε έως το 2030 σε μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> που ανέρχεται πάνω από 42% σε σχέση με τις εκπομπές του έτους 1990 και μείωση πάνω από 56% συγκριτικά με τις εκπομπές του έτους 2005. Αναφορικά με τις ΑΠΕ, τέθηκε στόχος για μερίδιο συμμετοχής τους στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας κατ' ελάχιστον 35%, και τέλος, σε σχέση με την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, σκοπός

είναι η τελική ενεργειακή κατανάλωση του έτους 2030 να είναι χαμηλότερη από αυτή που καταγράφηκε κατά το έτος 2017 [2].

Συμπληρωματικά στο ΕΣΕΚ, και έπειτα από την επίτευξη των στόχων του, αναπτύσσεται η Μακροχρόνια Στρατηγική (ΜΣ50) μέσω της οποίας θα φτάσουμε σε μία επιτυχή και βιώσιμη οικονομία κλιματικής ουδετερότητας έως το έτος 2050, σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Έτσι, σύμφωνα με τις αποφάσεις της ΜΣ50, παρέχονται οι κατευθυντήριες γραμμές για την διαμόρφωση του Ενεργειακού Χάρτη της χώρας μας κατά την περίοδο 2020 – 2050, εστιάζοντας στην μείωση της εισαγόμενης ενέργειας, της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας και της παράλληλα αυξανόμενης διείσδυσης των ΑΠΕ, με στόχο τη μείωση των αέριων εκπομπών του θερμοκηπίου. Τέλος, η δραστική μείωση των αέριων εκπομπών του θερμοκηπίου έως το 2050, μπορεί να επιτευχθεί μέσα από δύο στρατηγικές, με την πρώτη να αφορά στη μείωση των εκπομπών, στο πλαίσιο επίτευξης συγκράτησης της ανόδου της θερμοκρασίας κατά 2°C, και με τη δεύτερη στην στόχευση της κλιματικής ουδετερότητας με μείωση των εκπομπών στο πλαίσιο επίτευξης συγκράτησης της ανόδου της θερμοκρασίας κατά 1,5°C [3].

## **1.1 Μη Διασυνδεδεμένα Νησιωτικά Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας**

Η Ελλάδα είναι μια Μεσογειακή χώρα, με συνολικό μήκος ακτογραμμής περίπου 15.000 χιλιόμετρα, αποτελώντας την μεγαλύτερη ακτογραμμή της Ευρώπης. Τα νησιά της χώρας μας αντιπροσωπεύουν το 20% της Ελληνικής χερσαίας έκτασης, ως κύριο μορφολογικό χαρακτηριστικό του τόπου μας, καθώς στην ελληνική επικράτεια υπάρχουν 6000 νησιά, νησίδες και βραχονησίδες. Από αυτά, μόνο τα 227 νησιά είναι κατοικημένα, εκ των οποίων τα 79 συγκεντρώνουν από 100 κατοίκους και άνω, ενώ μόλις τα 53, από 1000 κατοίκους και άνω [4]. Τα περισσότερα ελληνικά νησιά όμως, και κυρίως αυτά του Αιγαίου, δεν είναι διασυνδεδεμένα με την ηπειρωτική χώρα, καθώς το ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας διακρίνεται στο διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό σύστημα με την ηπειρωτική χώρα και στο μη διασυνδεδεμένο σύστημα, το οποίο απαρτίζεται από αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα νησιών. Πιο συγκεκριμένα, ως Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ) ονομάζονται τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) τα οποία λειτουργούν αυτόνομα, χωρίς διασύνδεση με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο. Έτσι, η χώρα μας

αποτελείται από 29 αυτόνομα ηλεκτρικά συστήματα, απαρτιζόμενα από ένα ή περισσότερα νησιά διασυνδεδεμένα μεταξύ τους, τα οποία κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) ως εξής:

- Δεκαεννέα (19) μικρής κλίμακας αυτόνομα συστήματα, με αιχμή ζήτησης έως 10 MW
- Οκτώ (8) μεσαίας κλίμακας αυτόνομα συστήματα, με αιχμή ζήτησης 10 – 100 MW
- Δύο (2) μεγάλης κλίμακας αυτόνομα συστήματα, με αιχμή ζήτησης μεγαλύτερη των 100 MW (αφορά στα νησιά Κρήτης και Ρόδου) [5].
- 



Εικόνα 1: Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά [6]

Ο αρμόδιος για την λειτουργία, την ανάπτυξη και τη διαχείριση της αγοράς των ΜΔΝ, είναι ο Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) και η ηλεκτροδότηση των 29 αυτόνομων ηλεκτρικών συστημάτων γίνεται κυρίως με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τοπικούς θερμικούς σταθμούς, καθώς και σε ένα μικρότερο ποσοστό από σταθμούς ΑΠΕ, απαρτιζόμενους από αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα. Μικρότερη, αλλά σημαντική συμμετοχή, κατέχουν οι δύο Υβριδικοί Σταθμοί της χώρας μας, αυτοί της Ικαρίας και της Τήλου. Από τα παραπάνω αυτόνομα συστήματα, αυτά της μικρής και μεσαίας κλίμακας

αντιπροσωπεύουν το 10% περίπου της συνολικής κατανάλωσης της χώρας μας, ενώ ακόμα σε αυτά κατοικεί περίπου το 15% του ελληνικού πληθυσμού [6].

Πίνακας 1: Στοιχεία Ηλεκτροπαραγωγής στα ΜΑΝ για το έτος 2022 [7]

Ηλεκτρικό Σύστημα ΜΑΝ	Εγκατεστημένη Ισχύς Θερμικών Μονάδων 2021 (MW)	Μέγιστη Ετήσια Αιχμή Ζήτησης 2021 (MW)	Ενέργεια Μονάδων ΑΠΕ (MWh)	Ενέργεια Θερμικών Μονάδων (MWh)	Ποσοστό Συμμετοχής ΑΠΕ στην Ηλεκτροπαραγωγή (%)
Ρόδος	326,96	237,47	6.768,20	33.004,87	17,02
Λέσβος	102,60	68,36	3.336,01	19.143,63	14,84
Κώς - Κάλυμνος	143,74	106,08	3.218,26	16.101,71	16,66
Λήμνος	26,15	16,30	736,26	3.793,62	16,25
Μήλος	21,70	14,52	275,42	2.955,84	8,52
Χίος	77,78	51,90	2.438,88	12.960,95	15,84
Σάμος	49,63	33,10	1.687,68	7.662,29	18,05
Κάρπαθος	19,05	12,45	348,85	1.922,03	15,36
Άγιος Ευστράτιος	0,84	0,35	0,00	75,27	0,00
Αγαθονήσι	0,64	0,24	0,00	70,79	0,00
Αμοργός	6,20	3,50	24,19	671,09	3,48
Ανάφη	1,15	0,64	0,00	73,81	0,00
Αντικύθηρα	0,41	0,10	0,00	16,96	0,00
Αρκιοί	0,41	0,16	0,00	21,98	0,00
Αστυπάλαια	5,10	2,59	30,68	341,99	8,23
Γαύδος	0,43	0,18	0,00	35,77	0,00
Δονούσα	0,99	0,46	0,00	53,41	0,00
Ερεϊκούσα	0,77	0,53	0,00	52,61	0,00
Θήρα	80,19	58,35	54,44	9.291,32	0,58
Ικαρία	20,02	9,60	637,05	1.472,87	30,19
Κύθνος	7,20	4,34	18,94	558,41	3,28
Μεγίστη	2,22	1,19	0,00	281,14	0,00
Οθωνοί	0,66	0,29	0,00	39,85	0,00
Πάτμος	8,93	6,14	121,47	1.014,08	10,70
Σέριφος	7,97	4,14	11,63	446,37	2,54
Σίφνος	11,48	7,50	112,53	911,38	10,99
Σκύρος	7,65	4,86	19,75	1.025,57	1,89
Σύμη	9,88	4,06	9,30	805,21	1,14

Με βάση τον Πίνακα 1, παρατηρούμε πως στην πλειοψηφία όλων των ηλεκτρικών μη διασυνδεδεμένων νησιωτικών συστημάτων, το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης ενέργειας προέρχεται από τους θερμικούς σταθμούς, ενώ οι σταθμοί ΑΠΕ λειτουργούν επικουρικά στην παραγωγή, ενώ σε κάποια εξ αυτών δεν υπάρχει παρουσία ΑΠΕ. Ακόμα, μπορούμε να δούμε πως

το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύς των θερμικών μονάδων είναι ικανό να καλύψει τις ανάγκες της μέγιστης ετήσιας αιχμής ζήτησης, βάση της μέγιστης ετήσιας αιχμής ζήτησης του έτους 2021, σύμφωνα με το ΔΕΔΔΗΕ.

## **1.2 Εγκατεστημένη Ισχύς Παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά**

### **1.2.1 Τοπικοί Θερμικοί Σταθμοί**

Η ηλεκτροδότηση των ΜΔΝ, βασίζεται κυρίως σε τοπικούς θερμικούς σταθμούς (ΤΣΠ) -στο σύνολο 30 σταθμούς- οι οποίοι χρησιμοποιούν συμβατικό καύσιμο πετρελαίου, είτε ελαφρύ (ντίζελ), είτε βαρύ (μαζούτ), με συνολική εγκατεστημένη ισχύ περίπου 933 MW και κάλυψη 84,73% επί της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής [7]. Στα συστήματα αυτά περιλαμβάνονται κυρίως κινητήρες εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) ονομαστικής ισχύος μεγέθους από 100 kW έως 50 MW, ατμοηλεκτρικές μονάδες (ΑΗΣ), αεριοστροβιλικές μονάδες και τέλος μια μονάδα συνδυασμένου κύκλου [8].

### **1.2.2 Ανανεώσιμοι Σταθμοί Ενέργειας**

Τα νησιά της χώρας μας, και κυρίως αυτά του Αιγαίου έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό το πολύ καλό αιολικό δυναμικό και τα υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας, τα οποία έχουν βοηθήσει σημαντικά στην ανάπτυξη της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ. Βάσει αυτών των στοιχείων όμως, θα αναμέναμε μεγαλύτερη διείσδυση των ΑΠΕ στα αυτόνομα συστήματα των ΜΔΝ, με στόχο την ισχυροποίηση και την πιο επαρκή ηλεκτροδότηση τους, παρόλα αυτά η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους είναι ίση με 162,47 MW, υπεύθυνη για το 15,27% της συνολικής ηλεκτρικής παραγωγής [9]. Αναλυτικότερα, στα νησιά αυτά βρίσκονται εγκατεστημένοι:

- 53 Αιολικοί Σταθμοί, συνολικής ισχύος 108,06 MW
- 641 Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί, συνολικής ισχύος 51,46 MW
- 2 Υβριδικοί Σταθμοί, συνολικής ισχύος 2,95 MW



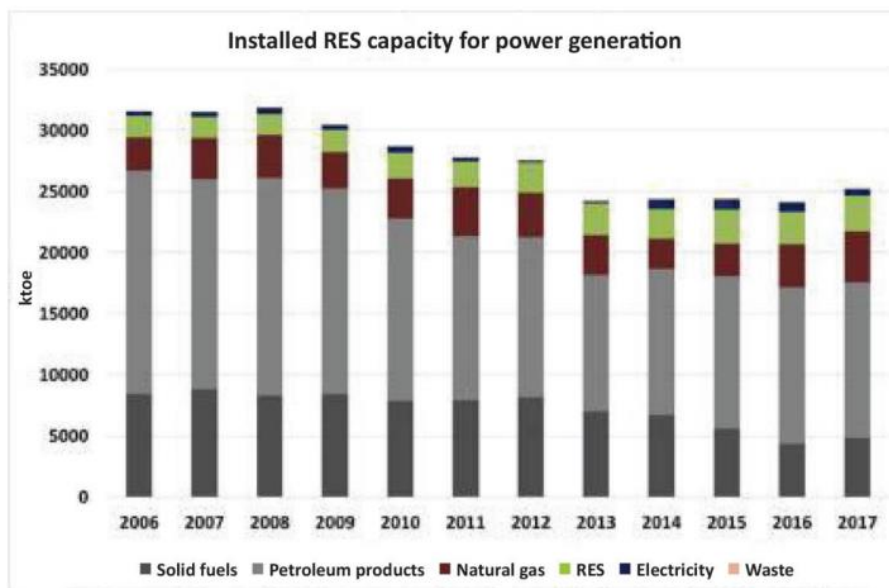
Στα παραπάνω στοιχεία, εντάσσονται και οι αυτοπαραγωγοί, έτσι στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύς των ΑΠΕ, προστίθενται ακόμα 5,84 MW συνολικής εγκατεστημένης ισχύς, τα οποία προέρχονται από:

- 959 Φωτοβολταϊκά Στέγης, συνολικής ισχύος 4,67 MW
- 106 Φωτοβολταϊκά Net Metering, συνολικής ισχύος 1,17 MW [9].

Πρόσφατες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για τον ΔΕΔΔΗΕ, αποδεικνύουν πως η συνολική χωρητικότητα ΑΠΕ, μπορεί να ξεπεράσει τα 1000 MW, καθιστώντας έτσι δυνατή την κάλυψη του 50% της ετήσιας ζήτησης ενέργειας στα ΜΔΝ. Τα υψηλά επίπεδα διείσδυσης των ΑΠΕ, μπορούν να επιτευχθούν με την μετατροπή τους σε κατανεμόμενες μονάδες, εισάγοντας δηλαδή συστήματα αποθήκευσης. Η αποθήκευση αποτελεί τον κύριο παράγοντα για την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ από το περίπου 20% που βρίσκεται τώρα στο 50% και υψηλότερα [8].

### **1.3 Προκλήσεις από την υψηλή διείσδυση ΑΠΕ στα ΜΔΝ**

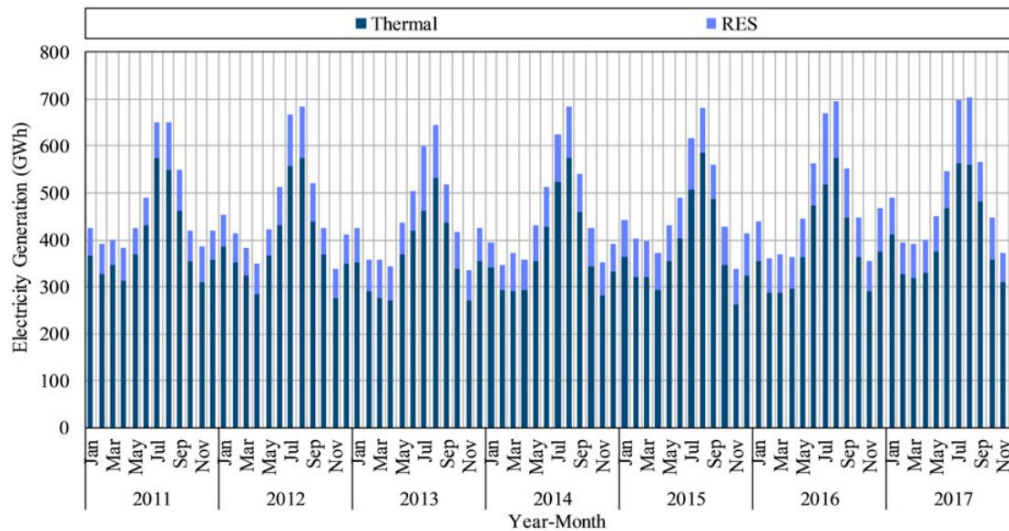
Σε παγκόσμιο επίπεδο, η ανάπτυξη των ΑΠΕ αποτελεί βασικό στόχο για κάθε ενεργειακό σχέδιο, έτσι και η Ελλάδα προσπαθεί να διασφαλίσει την εξέλιξη και την ποικιλία του ενεργειακού μείγματος, την ενεργειακή ασφάλεια καθώς και την προστασία του περιβάλλοντος σε μια παράλληλα βιώσιμη ανάπτυξη για την οικονομία [10]. Τα τελευταία χρόνια το ποσοστό χρήσης ενέργειας από ΑΠΕ, όπως φαίνεται, παρουσίασε σημαντική αύξηση, κατά την περίοδο των ετών 2006 – 2017. Για την ακρίβεια, υπερδιπλασιάστηκε, φτάνοντας έτσι περίπου το 17% το έτος 2017, ενώ ταυτόχρονα μειώθηκε κατά 43% το ποσοστό των στερεών καυσίμων για την ίδια περίοδο, όπως φαίνεται και παρακάτω στο **Σχήμα 1** [2].



Σχήμα 1: Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή [2]

Από την άλλη, η διείσδυση των ΑΠΕ στα ΜΔΝ δίκτυα όπως φαίνεται δεν παρουσιάζει την ίδια τάση με την επικράτεια της χώρας. Αυτό οφείλεται κυρίως σε υφιστάμενους τεχνικούς περιορισμούς που τίθενται από τους διαχειριστές των τοπικών δικτύων των νησιών, έτσι ώστε να διασφαλίσουν τη συνεχή και αξιόπιστη λειτουργία των τοπικών ηλεκτρικών συστημάτων. Έτσι, η λειτουργία των θερμικών σταθμών για την κάλυψη της ζήτησης, θα πρέπει πάντα να γίνεται πάνω από τα τεχνικά ελάχιστα αυτών και άρα όταν η παραγωγή από σταθμούς ΑΠΕ είναι υψηλή και ταυτόχρονα υπάρχει χαμηλή ζήτηση στο δίκτυο, η περίσσεια ενέργειας που παράγεται από τις ΑΠΕ θα πρέπει να περικόπτεται (ή να αποθηκεύεται), έτσι ώστε να τηρούνται οι ελάχιστοι περιορισμοί των θερμικών μονάδων. Την ίδια στιγμή, το ανώτατο όριο στιγμιαίας διείσδυσης των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή των νησιών, δεν μπορεί να ξεπερνά το 30% της ζήτησης φορτίου, μη λαμβάνοντας υπόψη τη συνεισφορά συστημάτων αποθήκευσης [11,12]. Ακόμα, κάθε αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα αντιμετωπίζει διαφορετικές τεχνικές απαιτήσεις και ιδιαιτερότητες, το οποίο καθιστά αδύνατη την δημιουργία μίας μοναδικής λύσης, καθολικά εφαρμόσιμης για την καλύτερη εκμετάλλευση των ΑΠΕ, και άρα, κάθε ΜΔΝ σύστημα οφείλει να εξετάζεται ξεχωριστά. Τέλος, η εποχικότητα που παρουσιάζει το φορτίο ζήτησης στα νησιά, με μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ ελάχιστου φορτίου και φορτίου αιχμής, κυρίως τις θερινές περιόδους του έτους λόγω τουριστικής δραστηριότητας, προκαλεί ιδιαίτερα προβλήματα, καθώς ο στόλος των

μονάδων παραγωγής καλείται να ανταπεξέλθει σε ιδιαίτερα έντονες αυξομειώσεις του φορτίου εντός μικρών χρονικών διαστημάτων.



Σχήμα 2: Εξέλιξη παραγωγής θερμικών μονάδων και ΑΠΕ [12]

Στο **Σχήμα 2** απεικονίζεται η εξέλιξη παραγωγής των θερμικών μονάδων σε σχέση με τους σταθμούς ΑΠΕ, για τα έτη 2011 έως 2017 σε μηνιαία βάση. Αυτό που μπορούμε εύκολα να δούμε, είναι πως η συμμετοχή των θερμικών μονάδων στην κάλυψη της ηλεκτρικής ζήτησης, αφορά το μεγαλύτερο ποσοστό, ενώ ταυτόχρονα το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ είναι σχεδόν σταθερό με το πέρασμα των χρόνων. Στην πραγματικότητα όμως, παρατηρείται μία αύξηση από το 15% ποσοστού διείσδυσης που υπήρχε το 2011, σε 18% για το έτος 2017. Στον αντίποδα, και όπως προαναφέραμε, παρόλο που η χώρα μας χαρακτηρίζεται από ικανό αιολικό δυναμικό, με την μέση ετήσια ταχύτητα σε ορισμένες νησιωτικές περιοχές να αγγίζει ακόμη και τα 10 m/s [13], η αξιοποίησή του για την κάλυψη των τοπικών αναγκών σε επίπεδο ΜΔΝ δεν είναι η μέγιστη δυνατή. Ειδικότερα, ο αριθμός και η εγκατεστημένη ισχύς των υφιστάμενων αιολικών πάρκων (Α/Π) στα νησιά του Αιγαίου (περίπου 100 Α/Π με αθροιστική ισχύ ~75 MW), έχουν παραμείνει σταθερά για μεγάλο χρονικό διάστημα, υποδηλώνοντας τα υψηλά επίπεδα κορεσμού ως προς τη δυνατότητα των ΜΔΝ να υποδεχθούν μεγαλύτερο παραγωγικό δυναμικό Α/Π. Ταυτόχρονα η εγκατεστημένη ισχύς των Φωτοβολταϊκών Πάρκων (Φ/Β) είναι ίση με 40 MW και βρίσκεται συγκεντρωμένη στα μεγαλύτερης κλίμακας νησιά του Αιγαίου.

## 1.4 Διασύνδεση Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών

Τα έργα διασύνδεσης των ΜΔΝ με το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ) αποτελούν βασικό σκοπό του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) για την επίτευξη των εθνικών ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων. Η εξυπηρέτηση της ζήτησης του ηλεκτρικού φορτίου των ΜΔΝ της Ελλάδας, έχει οδηγήσει στην ανάγκη για ανάπτυξη του συστήματος, καθώς η προοπτική της διασύνδεσης των αυτόνομων νησιωτικών δικτύων με το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, έχει απασχολήσει την χώρα από τις αρχές τις δεκαετίας του 1960, με στόχο την μείωση χρήσης συμβατικών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας και κατά συνέπεια την μείωση των αέριων εκπομπών του θερμοκηπίου. Μέχρι σήμερα, έχουν συνδεθεί με το Σύστημα Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.), όλες οι Ιόνιοι Νήσοι. Αναφορικά, με τα νησιά του Αιγαίου, από αυτά έχουν συνδεθεί με την Υ.Τ., η Άνδρος, η Σύρος, η Πάρος, η Μύκονος και η Νάξος, ενώ με την Μέση Τάση (Μ.Τ.), και μέσω Πάρου, διασυνδέονται η Αντίπαρος, η Ίος, η Σίκιнос και η Φολέγανδρος, μέσω Νάξου διασυνδέονται η Σχοινούσα, η Ηρακλεία και το Κουφονήσι, και μέσω Μυκόνου έχει διασυνδεθεί η Δήλος. Ακόμα, υπό την Μ.Τ. διασυνδέονται αρκετά από τα νησιά που βρίσκονται κοντά στην ακτή, όπως είναι η Θάσος, η Σαμοθράκη, τα Κύθηρα και οι Σποράδες. Τα υπόλοιπα νησιά του Αιγαίου, που βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις, έχουν διασυνδεθεί μεταξύ τους με την Μέση Τάση.

Έτσι λοιπόν, σύμφωνα με το Δεκαετές Πρόγραμμα Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2022-2031 του ΑΔΜΗΕ, αναφορικά με την διασύνδεση των ΜΔΝ, τα κύρια έργα ανάπτυξης του συστήματος είναι τα εξής:

- Η διασύνδεση των Κυκλάδων (Δ' Φάση).
- Η διασύνδεση της Κρήτης (Φάση Ι και Φάση ΙΙ).
- Η διασύνδεση των Δωδεκανήσων.
- Η διασύνδεση των νήσων του Βορειοανατολικού Αιγαίου.

Σε ότι αφορά στη διασύνδεση των ΜΔΝ με την ηπειρωτική χώρα, δημιουργούνται πολλά οφέλη ως προς την οικονομία, το περιβάλλον και την κοινωνία, καθώς:

- Θα υπάρξει μεγάλη εξοικονόμηση ως προς το κόστος παραγωγής των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις θερμικές μονάδες, το οποίο έχει άμεσο αντίκτυπο στους τελικούς καταναλωτές, ως προς το κόστος Υπηρεσιών Κοινής Ωφέλειας (ΥΚΩ).
- Θα αποτρέψει την ανάγκη για εκσυγχρονισμό των τοπικών θερμικών σταθμών παραγωγής ενέργειας, οι οποίοι λόγω παλαιότητας, παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή απόδοσης και αδυνατούν να καλύψουν τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες κάλυψης της ζήτησης καθώς και θα αποσυμφορηθεί το δίκτυο.
- Θα διευρύνει την Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- Θα συμβάλλει καθοριστικά στην μείωση των αέριων εκπομπών του θερμοκηπίου (με στόχο την μακροπρόθεσμη εξάλειψή τους).
- Η μεγαλύτερη διείσδυση των ΑΠΕ θα αποτελέσει βασικό παράγοντα για την παραγωγή ενέργειας, κάτι το οποίο μέχρι και σήμερα, λόγω των μικρών αυτόνομων ηλεκτρικών συστημάτων ήταν αδύνατο να συμβεί.
- Θα περιορίσει την όχληση που προκαλεί η συνεχής λειτουργία των θερμικών σταθμών, γύρω από κατοικημένες περιοχές.

Από την άλλη, υπάρχουν κάποιες περιπτώσεις ΜΔΝ, στα οποία η ζήτηση ενέργειας είναι αρκετά μικρή ή η γεωγραφική τους θέση δε διευκολύνει το σενάριο διασύνδεσης τους με την ηπειρωτική χώρα, αφού ένα τέτοιο ενδεχόμενο θα ήταν ασύμφορο οικονομικά [6].



Εικόνα 2: Διασυνδέσεις Δωδεκανήσων και νήσων Βορειοανατολικού Αιγαίου με την ηπειρωτική χώρα [6]

## **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Υπό Διερεύνηση Λύση**

## 2.1 Αποθήκευση Ενεργειακής Παραγωγής

Η αποθήκευση ενέργειας αποτελεί βασικό παράγοντα στην υψηλότερη διείσδυση των ΑΠΕ και την ενσωμάτωση τους στο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ταυτόχρονα, μπορεί να εξισορροπήσει την κεντρική και διεσπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλοντας έτσι στην ασφάλεια του ηλεκτρικού δικτύου. Ακόμα, μέσω της αποθήκευσης δημιουργείται ευελιξία στο ηλεκτρικό σύστημα και έτσι μπορεί να διαχειριστεί με καλύτερο τρόπο η ζήτηση ενέργειας, καθώς και να καλυφθούν τα φορτία αιχμής.

Σε ένα ηλεκτρικό σύστημα, χρησιμοποιείται η αποθήκευση για διάφορες μορφές ενέργειας με σκοπό την ενεργειακή μετατροπή και μετάθεσή τους χρονικά, από ένα αρχικό σημείο παραγωγής σε ένα μεταγενέστερο σημείο κατανάλωσης.

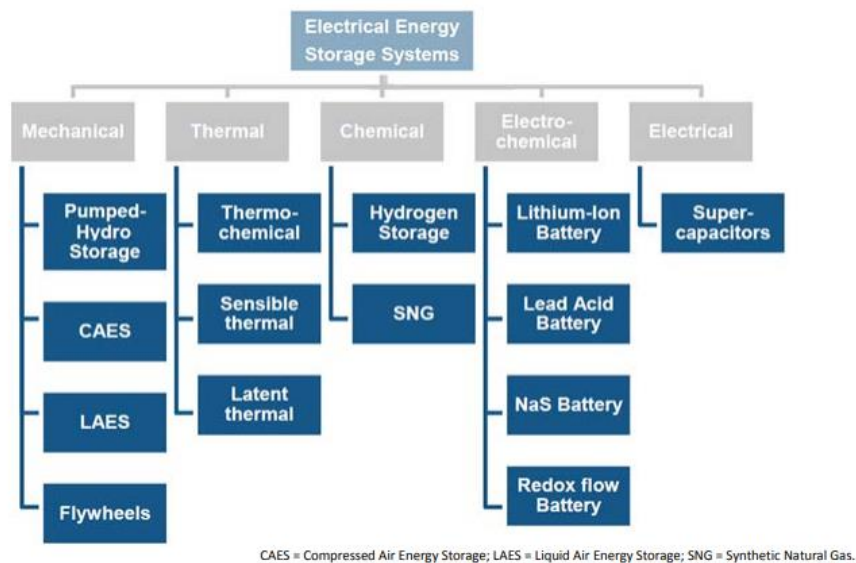
Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να πραγματοποιηθεί από ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών, οι οποίες διαφοροποιούνται ανάλογα με την τάξη μεγέθους του συστήματος, την κλίμακα ενέργειας και ισχύος, την απόδοση, το κόστος και σαφώς την καταλληλότητά τους ανάλογα την υπό εξέταση εφαρμογή. Οι διαθέσιμες τεχνολογίες αποθήκευσης, κατηγοριοποιούνται βάση του τρόπου με τον οποίο επιτυγχάνεται η αποθήκευση ενέργειας, καταλήγοντας σε τέσσερις βασικές κατηγορίες συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας οι οποίες είναι οι εξής:

1. Μηχανική αποθήκευση ενέργειας περιλαμβάνοντας τις τεχνολογίες:
  - Αντλησιοταμίευσης
  - Αποθήκευσης πεπιεσμένου αέρα
  - Σφονδύλους
2. Χημική αποθήκευση ενέργειας περιλαμβάνοντας τις τεχνολογίες των συμβατικών και προηγμένων τύπων συσσωρευτών όπως:
  - Συσσωρευτές ιόντων λιθίου (Li-ion)
  - Συσσωρευτές μολύβδου – οξέος (Lead-acid)
  - Συσσωρευτές νικελίου – καδμίου (Ni-Cd)
  - Συσσωρευτές νατρίου – θείου (NaS)
  - Συσσωρευτές θείου – νικελίου – χλωρίου (Sodium-nickel-chloride)



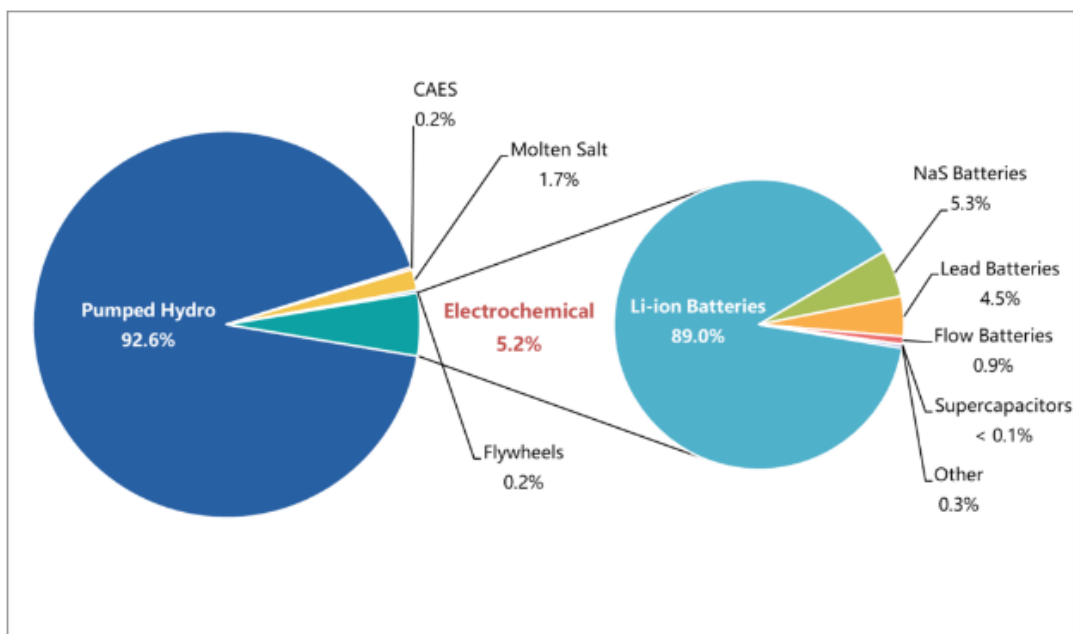
- Συσσωρευτές μολύβδου – άνθρακα (Lead Carbon)
  - Συσσωρευτές ροής (Flow batteries)
3. Ηλεκτρική αποθήκευση ενέργειας περιλαμβάνοντας τις τεχνολογίες:
- Υπερπυκνωτών
  - Υπεραγώγιμης μαγνητικής αποθήκευσης ενέργειας
4. Θερμικής αποθήκευσης ενέργειας περιλαμβάνοντας την τεχνολογία:
- Αποθήκευση με χρήση τηγμένων αλάτων, υγροποιημένου αέρα κ.ά. [14,15].

Οι παραπάνω τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία χρησιμοποιούνται, διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, με την πρώτη να αφορά τη διαχείριση ενέργειας και τη δεύτερη, την ποιότητα ενέργειας και την αξιοπιστία. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι τεχνολογίες μεγάλης κλίμακας ενέργειας, όπως είναι η αντλησιοταμίευση και η αποθήκευση πεπιεσμένου αέρα, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές που απαιτείται αποθήκευση μεγάλης χωρητικότητας ενέργειας και ταυτόχρονα ενεργειακή αυτονομία. Αντίστοιχα, στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τεχνολογίες όπως οι σφόνδυλοι, οι οποίοι μπορούν να αποδώσουν στιγμιαία ισχύ (ακόμα και σε κλίμακα msec) στο σύστημα [14].



Εικόνα 3: Κατηγορίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας [16]

Η εγκατεστημένη ισχύς αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας είναι διαρκώς αυξανόμενη παγκοσμίως. Βάση των στατιστικών στοιχείων της παγκόσμιας βάσης δεδομένων China Energy Storage Alliance (CNESA), έως το τέλος του Μαρτίου 2020 η συνολική χωρητικότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ήταν 184,7 GW, παρουσιάζοντας αύξηση της τάξης 1,9% συγκριτικά με το 2019. Σύμφωνα με την **Εικόνα 4**, βλέπουμε πως η επικρατέστερη τεχνολογία αποθήκευσης είναι η αντλησιοταμίευση, αντιπροσωπεύοντας το 92,6% (ίσο με 171,03 GW της συνολικής αποθηκευμένης ισχύς), ενώ το υπόλοιπο μέρος καλύπτεται κυρίως από συσσωρευτές (οι οποίοι παρουσιάζουν σημαντική εξέλιξη) και σε ένα μικρότερο ποσοστό από τα συστήματα συμπιεσμένου αέρα και τους σφονδύλους [17].



Εικόνα 3: Συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς συστημάτων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας [17]

## 2.2 Τεχνολογία Αντλησιοταμίευσης

### 2.2.1 Γενικά Στοιχεία Συστημάτων Αντλησιοταμίευσης

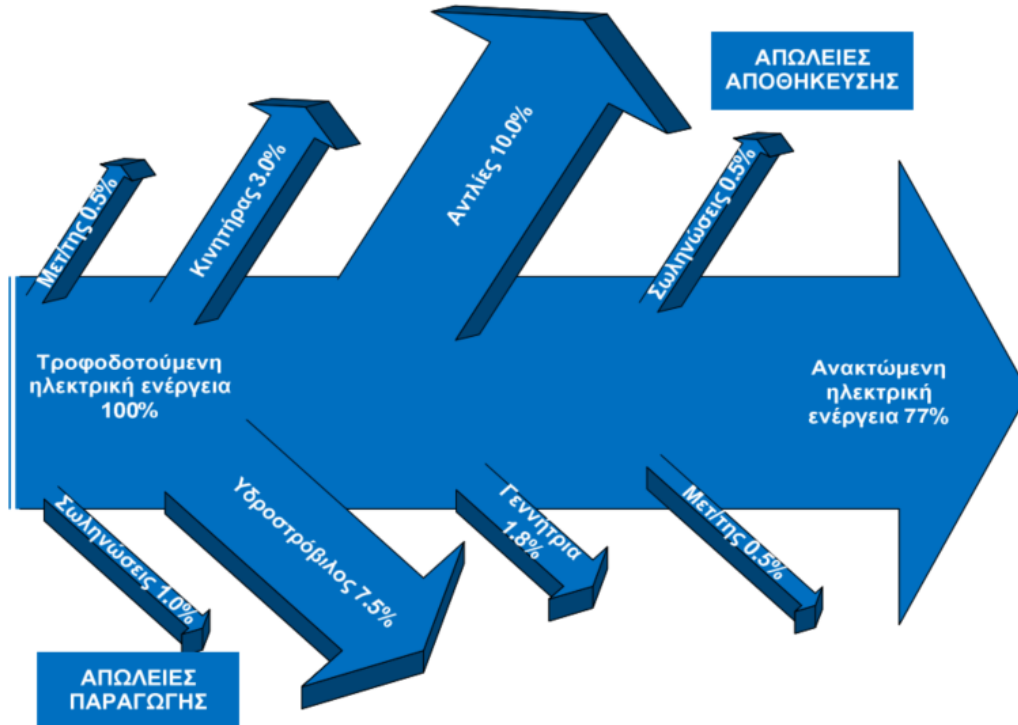
Η αντλησιοταμίευση αποτελεί την πιο ώριμη και καθιερωμένη τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας, καθώς πάνω από το 94% της συνολικής εγκατεστημένης χωρητικότητας αποθήκευσης ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα προέρχεται από αντλησιοταμιευτικά έργα. Η τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης εμφανίστηκε πρώτη φορά στην Ιταλία και την Ελβετία το 1980, ενώ για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε το 1930 στις Ηνωμένες Πολιτείες. Πλέον η αντλησιοταμίευση θεωρείται η πιο κατάλληλη τεχνολογία για αποθήκευση ενέργειας μεγάλης κλίμακας. Σύμφωνα με την Διεθνή Ένωση Υδροηλεκτρικής Ενέργειας (International Hydropower Association – IHA), εκτιμάται πως το σύνολο των εγκατεστημένων αντλησιοταμιευτικών έργων σε όλο τον κόσμο αποθηκεύουν έως και 9.000 GWh ηλεκτρικής ενέργειας [18,19].

Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης είναι μια μορφή αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, με μετατροπή της σε δυναμική ενέργεια. Η αντλησιοταμίευση χρησιμοποιεί την δύναμη της βαρύτητας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπου μέσω ικανής υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δύο ταμιευτήρων νερού, το νερό μετακινείται από την άνω δεξαμενή στην κάτω και με την πτώση του νερού δημιουργείται κινητική ενέργεια, η οποία μέσω υδροστροβίλου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή η μετατροπή ενέργειας αποτελείται από δύο στάδια: στο πρώτο γίνεται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε μηχανική, μέσω της κίνησης της περρωτής του υδροστροβίλου και στο δεύτερο στάδιο, γίνεται η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική με την χρήση γεννήτριας. Η τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης στην ουσία αφορά την ανακύκλωση του νερού, μέσω άντλησης και εκτόνωσής του, το οποίο τελικά οδηγεί στην αποθήκευση ενέργειας και στην απελευθέρωσή της στο δίκτυο όταν απαιτείται. Στο στάδιο της άντλησης, όπου το νερό οδηγείται από την χαμηλότερη σε ύψος δεξαμενή προς την υψηλότερη, το σύστημα χρειάζεται ηλεκτρική ενέργεια για να πραγματοποιηθεί η άντληση. Για τον λόγο αυτό, πολλά συστήματα αντλησιοταμίευσης χρησιμοποιούν για την τροφοδότηση ρεύματος των αντλιών την ενέργεια που παράγεται από αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα. Τα συστήματα που διασυνδέουν την αντλησιοταμίευση με συστήματα ΑΠΕ ονομάζονται υβριδικά και έχουν την ικανότητα να παρέχουν εγγυημένη ισχύ προς το δίκτυο οποιαδήποτε στιγμή απαιτείται. Ακόμα, η χρήση τέτοιων υβριδικών συστημάτων

σε μη διασυνδεδεμένα νησιά μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία των δικτύων και ταυτόχρονα χρησιμεύει στην σταθεροποίηση του δικτύου, την εξισορρόπηση του φορτίου και την ρύθμιση της συχνότητας.

Βασικά χαρακτηριστικά συστήματος αντλησιοταμίευσης:

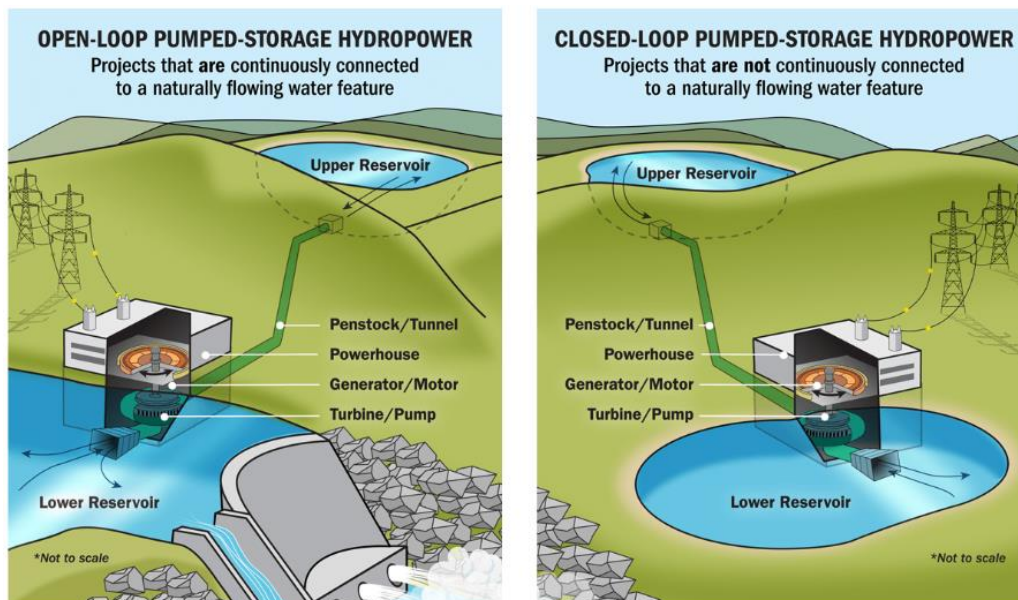
- Συνολικός βαθμός απόδοσης: 60% για παλαιότερα συστήματα και 80% για καινούργια συστήματα.
- Μέγιστο βάθος εκφόρτισης περίπου 95%.
- Απώλειες αυτοεκφόρτισης: αμελητέες
- Χρόνος εκκίνησης: Μέγιστος χρόνος έως 15 λεπτά – σπάνια σε χρόνο μικρότερο από 1 λεπτό.
- Ρυθμός ανάληψης φορτίου: 40% του φορτίου ανά λεπτό.
- Διάρκεια ζωής: 40 – 80 έτη.
- Χρόνος κατασκευής: 5 – 10 έτη [20].



Σχήμα 3: Διάγραμμα Sankey - Απώλειες Αποθήκευσης Συστήματος Αντλησιοταμίευσης [20]

Η τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης διακρίνεται σε δύο σχεδιαστικές κατηγορίες μονού ή διπλού αγωγού. Η πρώτη κατηγορία, αποτελεί την πιο οικονομική σχεδιαστική λύση, αφού έχει λιγότερα έξοδα εγκατάστασης, αλλά δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί ταυτόχρονη λειτουργία του στροβίλου και της αντλίας. Για να είναι εφικτή η ταυτόχρονη λειτουργία υδροστροβίλου και αντλίας με έναν αγωγό, απαιτείται μια αναστρέψιμη υδροδυναμική μηχανή, η οποία όταν λειτουργεί ως αντλία αποθηκεύει ενέργεια, ενώ όταν λειτουργεί ως υδροστρόβιλος παράγει ενέργεια και το σύστημα αυτό ονομάζεται αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό. Από την άλλη, στη δεύτερη κατηγορία με την χρήση διπλού αγωγού έχουμε γρηγορότερο ρυθμό ανάληψης του φορτίου στα φορτία αιχμής. Ταυτόχρονα, μπορεί να καλυφθεί η αυξημένη ζήτηση και να αξιοποιηθεί η περίσσεια ενέργεια, καθώς λειτουργούν οι αντλίες με στόχο την αποθήκευση της περίσσειας παραγόμενης ενέργειας και οι υδροστρόβιλοι παράγουν ενέργεια για την κάλυψη της ζήτησης.

Τα συστήματα αντλησιοταμίευσης έχουν δύο εκδοχές ανοιχτού και κλειστού βρόχου. Η πρώτη εκδοχή του ανοιχτού βρόχου, αφορά την συνεχή σύνδεση μίας δεξαμενής νερού με μία φυσική πηγή νερού, όπως ένα ποτάμι. Ενώ στην δεύτερη εκδοχή του κλειστού βρόχου, οι δεξαμενές νερού δεν συνδέονται με κάποια εξωτερική πηγή νερού. Από την άλλη, οι δεξαμενές μπορεί να αφορούν τόσο φυσικούς ταμιευτήρες, όπως λίμνες και ποτάμια μεγάλου βάθους, όσο και τεχνητούς όπως στην περίπτωση μίας τεχνητής λίμνης [21].



Εικόνα 4: Διάγραμμα Ανοιχτού και Κλειστού Βρόχου Συστήματος Αντλησιοταμίευσης [18]

### 2.2.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Συστήματος Αντλησιοταμίευσης

Το πρώτο πλεονέκτημα της αντλησιοταμίευσης είναι η προστασία που μπορούν να παρέχουν αυτά τα συστήματα στο δίκτυο από τις έντονες διακυμάνσεις της τάσης, καθώς και το χαμηλό κόστος αναφορικά με την άντληση του νερού αλλά και την αποθήκευσή του, έναντι των υπόλοιπων μεθόδων αποθήκευσης ενέργειας. Δεύτερον, είναι βασικό ότι υπάρχει γρήγορη απόκριση και ικανότητα παρακολούθησης των μεταβολών του φορτίου, για την γρήγορη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Αυτό λοιπόν οδηγεί σε μείωση του φορτίου του τοπικού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους αιχμής, συντελώντας στην αποφυγή λειτουργίας κοστοβόρων αιχμακών μονάδων. Τρίτον, δίνεται η δυνατότητα ρύθμισης της συχνότητας του συστήματος, έτσι ώστε να διατηρείται η τάση σταθερή, γεγονός που αποτελεί βασικό ζήτημα σε πολλά ελληνικά νησιά. Τέταρτον και τελευταίο είναι πως μέσω της αντλησιοταμίευσης, παρέχεται η δυνατότητα χρήσης του αποθηκευμένου νερού, για σκοπούς ύδρευσης και άρδευσης. Σε κάθε περίπτωση, στα αντλησιοταμιευτικά συστήματα, το νερό δεν καταναλώνεται, αλλά απλώς ανακυκλώνεται.

Αναφορικά με τα μειονεκτήματα, το πρώτο και κυριότερο της αντλησιοταμίευσης είναι η ανάγκη μεγάλων εκτάσεων και η δυσκολία εύρεσης των κατάλληλων τοποθεσιών για την δημιουργία του έργου, αφού απαιτούνται συγκεκριμένοι γεωγραφικοί, γεωλογικοί και περιβαλλοντικοί χώροι για την σχεδίαση των ταμιευτήρων. Δεύτερον, λόγω των παραπάνω υπάρχει υψηλό κόστος επένδυσης και ειδικά στις περιπτώσεις που απαιτείται η δημιουργία τεχνητού ταμιευτήρα, οδηγώντας σε μεγάλους χρόνους έως την υλοποίησή του. Τρίτον, παρόλο που το έργο κατά την λειτουργία του δεν θα παράγει ρύπους προς το περιβάλλον, αφού όπως προείπαμε θα γίνεται ανακύκλωση του νερού και μεταφορά του από τον άνω στον κάτω ταμιευτήρα, στην περίπτωση που πρέπει να κατασκευαστεί φράγμα για να δημιουργηθεί τεχνητή λίμνη, οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μεγάλες, αφού πρακτικά μιλάμε για σημαντική παρέμβαση στη φυσική γεωμορφολογία του τοπίου όπου θα τοποθετηθεί το φράγμα [22].

### 2.2.3 Υπό Λειτουργία Συστήματα Αντλησιοταμίευσης

Στην Ελλάδα, υπάρχουν δύο υφιστάμενες εγκαταστάσεις αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών σταθμών, της Σφηκιάς και του Θησαυρού. Ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός της Σφηκιάς στον ποταμό Αλιάκμονα, βρίσκεται στην Κεντρική Μακεδονία, στον Νομό Ημαθίας, και είναι έργο το οποίο ανήκει στην ΔΕΗ. Ο ταμιευτήρας της Σφηκιάς έχει ωφέλιμο όγκο 18 εκατομμύρια m<sup>3</sup>, με ανώτατη στάθμη λειτουργίας 146,0 m και ελάχιστη 141,8 m. Ο σταθμός παραγωγής είναι υπόγειος και αποτελείται από τρεις αναστρέψιμες μονάδες κατακόρυφου άξονα οι οποίες τέθηκαν σε εμπορική λειτουργία το 1985-1986, με σκοπό την υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας. Οι στρόβιλοι, οι οποίοι είναι τύπου Francis με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 315 MW (105 MW έκαστη), λειτουργούν ως αντλίες κατά τη διάρκεια της νύχτας, αντλώντας νερό από την λίμνη Ασωμάτων και ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο, την οποία εν συνεχεία επαναφέρουν σε αυτό κατά την διάρκεια της ημέρας, και πιο συγκεκριμένα σε περιόδους αιχμής ζήτησης, συνυπολογίζοντας και τις όποιες απώλειες του κύκλου φόρτισης και εκφόρτισης του συστήματος. Όταν οι μονάδες παραγωγής λειτουργούν ως αντλίες η εγκατεστημένη ισχύς τους είναι ίση με 324 MW (108 MW έκαστη). Η δε συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα νερά του ποταμού είναι 266 GWh/έτος, ενώ από την αναστρέψιμη λειτουργία του σταθμού είναι 394 GWh/έτος.



Εικόνα 5: Υδροηλεκτρικό Συγκρότημα Ποταμού Αλιάκμονα, ΥΗΣ Σφηκιάς - ΥΗΣ Ασωμάτων [24]

Στο Υδροηλεκτρικό Συγκρότημα Αλιάκμονα, κατάντη του ΥΗΣ Σφηκιάς, ανήκει ο ΥΗΣ Ασωμάτων, ο οποίος τέθηκε σε λειτουργία το 1985, με σκοπό την υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας και την άρδευση. Ο ταμιευτήρας του σταθμού Ασωμάτων έχει ωφέλιμο όγκο 10 εκατομμύρια  $m^3$  και διαθέτει δύο μονάδες τύπου Francis με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 108 MW (54 MW έκαστη) και μέση ετήσια παραγωγή ίση με 130 GWh [21,23].

Ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός Θησαυρού στον ποταμό Νέστο, βρίσκεται στην Ανατολική Μακεδονία, περίπου 60 χιλιόμετρα έξω από την πόλη της Δράμας. Και το εν λόγω έργο ανήκει στην ΔΕΗ και τέθηκε σε λειτουργία το 1998. Ο σταθμός έχει ως σκοπό την υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας, την άρδευση αλλά και την αντιπλημμυρική προστασία. Ο ταμιευτήρας του Θησαυρού έχει ωφέλιμο όγκο 565 εκατομμύρια  $m^3$  με το φράγμα του Θησαυρού να αποτελεί το υψηλότερο φράγμα στην Ελλάδα με ύψος 172 μέτρα. Αντίστοιχα με τον ΥΗΣ Σφηκιάς και ο ΥΗΣ Θησαυρού είναι αναστρέψιμος σταθμός και απαρτίζεται από τρεις αναστρέψιμες μονάδες, τύπου Francis, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 384 MW (128 MW έκαστη). Όταν οι στρόβιλοι λειτουργούν σαν αντλίες αντλούν νερό από τον ταμιευτήρα της Πλατανόβρυσης και το αποθηκεύουν στον ταμιευτήρα του Θησαυρού. Τέλος, υπολογίζεται πως η μέση ετήσια παραγωγή κινείται στα επίπεδα των 440 GWh.



Εικόνα 6: Υδροηλεκτρικό Συγκρότημα Ποταμού Νέστου ΥΗΣ Θησαυρού - ΥΗΣ Πλατανόβρυσης [24]



Στο Υδροηλεκτρικό Συγκρότημα του ποταμού Νέστου ανήκει και ο ΥΗΣ Πλατανόβρυσης, ο οποίος βρίσκεται κατάντη του ΥΗΣ Θησαυρού και τέθηκε σε λειτουργία το 1999 με σκοπό την υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας και την άρδευση. Απαρτίζεται από δύο στροβίλους τύπου Francis με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 116 MW (58 MW έκαστη) και μέση ετήσια παραγωγή ίση με 240 GWh.

Τα υδροηλεκτρικά έργα στην χώρα μας, τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρούμε πως έχουν μια αυξανόμενη πορεία, καθώς η χώρα μας αποτελείται από 16 Μεγάλα Υδροηλεκτρικά Έργα και 250 Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα. Γενικότερα, γνωρίζουμε πως οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί, αποτελούν ευέλικτες μηχανές, οι οποίες έχουν άμεση εκκίνηση και γι' αυτό μπορούν να χαρακτηριστούν και ως μηχανές αιχμής. Ακόμα, είναι γνωστό πως η λειτουργία των ΥΗΣ αποτελεί βασικό μέρος ενός διασυνδεδεμένου συστήματος, αυξάνοντας την ελαστικότητα της παραγωγής καθώς και την αξιοπιστία του συστήματος. Επίσης, από γεωγραφικής άποψης η χώρα μας αποτελείται από μέρη τα οποία μπορούν να πλαισιώσουν ένα ΥΗΕ και να το εντάξουν στο περιβάλλον τους [21,24].

### **2.3 Wind – PHS ανά τον Κόσμο (Το Παράδειγμα του El Hierro)**

Το El Hierro, είναι το δεύτερο μικρότερο και μακρύτερο νησί νότιο – δυτικά των Καναρίων Νήσων, στον Ατλαντικό Ωκεανό, με έκταση ίση με 268,51 km<sup>2</sup>. Αποτελεί αυτόνομη κοινότητα της Ισπανίας και έχει πρωτεύουσα το Valverde. Ο πληθυσμός του είναι ίσος με 11.659 κατοίκους (σύμφωνα με απογραφή του 2023). Έχει τέτοιες γεωγραφικές ιδιαιτερότητες, όπου σε μερικά χιλιόμετρα απόσταση από το επίπεδο της ακτής, βρίσκονται υψόμετρα των 1.500 m, προσδίδοντας έτσι στο νησί, πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό και ταυτόχρονα πολλές δυνατότητες για αξιοποίηση υδροηλεκτρικής ενέργειας [25].

Το νησί αποτελείται από το πρώτο υβριδικό ενεργειακό έργο στην Ευρώπη, και για αυτό με βάση την UNESCO, έχει καταταχθεί ως Biosphere Reserve από το 2000. Το νησί της Ισπανίας έχει υιοθετήσει ένα σχέδιο βιώσιμης ανάπτυξης για την προστασία του περιβάλλοντος και τον πολιτιστικό πλούτο της περιοχής, με στόχο την πλήρη ενεργειακή αυτονομία με χρήση ΑΠΕ 100%. Το σύστημα Gorona del Viento, αξιοποιεί την ενέργεια που παράγει ο άνεμος μέσω ενός

Α/Π συνολικής ισχύος ίση με 11,5 MW και την ενέργεια που μπορεί να παραχθεί μέσω του νερού, με την χρήση αντίστροφου αντλιοστασίου, για την αποθήκευση της ενέργειας και την εξισορρόπηση του ηλεκτρικού δικτύου του νησιού. Πιο συγκεκριμένα το Α/Π είναι ικανό να καλύψει την ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού, ενώ η περίσσεια ενέργεια του Α/Π αξιοποιείται για την λειτουργία του αντλιοστασίου. Ο ηλεκτροκινητήρας diesel, ο οποίος προϋπήρχε του Έργου, παραμένει ως εφεδρικός και τίθεται σε λειτουργία σε εξαιρετικές και μόνο περιπτώσεις.



Εικόνα 7: Gorona del Viento [26]

Αναλυτικότερα το σύστημα Gorona del Viento αποτελείται από τα εξής:

1. Την Άνω Δεξαμενή νερού με χωρητικότητα  $380.000 \text{ m}^3$ , τοποθετημένη σε έναν φυσικό κρατήρα, ο οποίος ονομάζεται La Caldera. Η δεξαμενή είναι τοποθετημένη σε υψόμετρο 700 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.
2. Την Κάτω Δεξαμενή νερού με χωρητικότητα  $150.000 \text{ m}^3$ , τοποθετημένη 50 μέτρα πάνω από το ύψος της θάλασσας.
3. Το Αντλιοστάσιο αποτελείται από έξι αντλίες σταθερών στροφών των 1.500 kW (500 kW έκαστη) και 2 αντλίες μεταβλητών στροφών των 3.000 kW (1.500 kW έκαστη). Συνολική

ισχύς αντλιοστασίου ίση με 6.000 kW. Η ενέργεια η οποία απαιτείται για την λειτουργία του αντλιοστασίου, παράγεται από το Α/Π.

4. Το Αιολικό Πάρκο αποτελείται από πέντε ανεμογεννήτριες, τύπου Enercon E-70 με 2,3 MW ισχύς η κάθε μία και συνολική παραγόμενη ισχύς του πάρκου ίση με 11,5 MW.
5. Ο Υδροηλεκτρικός σταθμός αποτελείται από τέσσερις υδροστρόβιλους, τύπου Pelton, με συνολική ισχύ 11,32 MW (2,8 kW έκαστος).
6. Το σύστημα αποτελείται από δύο αγωγούς συνολικού μήκους 3 km, οι οποίοι συνδέουν τις δύο δεξαμενές άνω και κάτω από το υψόμετρο της άνω στα 700 m έως τα 50m της κάτω, από το επίπεδο της θάλασσας. Ο αγωγός προσαγωγής έχει διάμετρο 0,8 m και μήκος 3,015 m, ενώ ο αγωγός κατάθλιψης έχει διάμετρο 1 m και μήκος 2,350 m [26].

## 2.4 Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας – Ναέρας

Ο Ναέρας, αποτελεί το πρώτο υβριδικό ενεργειακό έργο Α/Π-αντλιοσταμείευσης στην Ελλάδα και το δεύτερο σε παγκόσμιο επίπεδο, με πρώτο αυτό του El Hierro. Πιο συγκεκριμένα στην Ικαρία, χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αξιοποιώντας δύο κατηγορίες ΑΠΕ, την υδραυλική και την αιολική. Με αυτόν τον τρόπο, έχουμε αύξηση της διείσδυσης ΑΠΕ, στο ηλεκτρικό δίκτυο της Ικαρίας και αντίστοιχα μείωση της χρήσης του Τοπικού Σταθμού Παραγωγής. Στο νησί από το 1967 έως και σήμερα βρίσκεται σε ισχύ ο ΤΣΠ αποτελούμενος από 12 θερμικές μονάδες με συνολική αποδιδόμενη ισχύ 15,916 MW. Ο ΤΣΠ από την αρχή της λειτουργίας του αποτελούσε την κύρια και μοναδική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, για την τροφοδότηση όλου του νησιού της Ικαρίας. Ο παραδοσιακός τρόπος παραγωγής και κάλυψης των ηλεκτρικών αναγκών του νησιού θεωρείται πως δεν αποτελεί τον αποδοτικότερο και πιο φιλικό προς το περιβάλλον, περιορίζοντας παράλληλα σε σημαντικό βαθμό τη χρήση των ΑΠΕ..

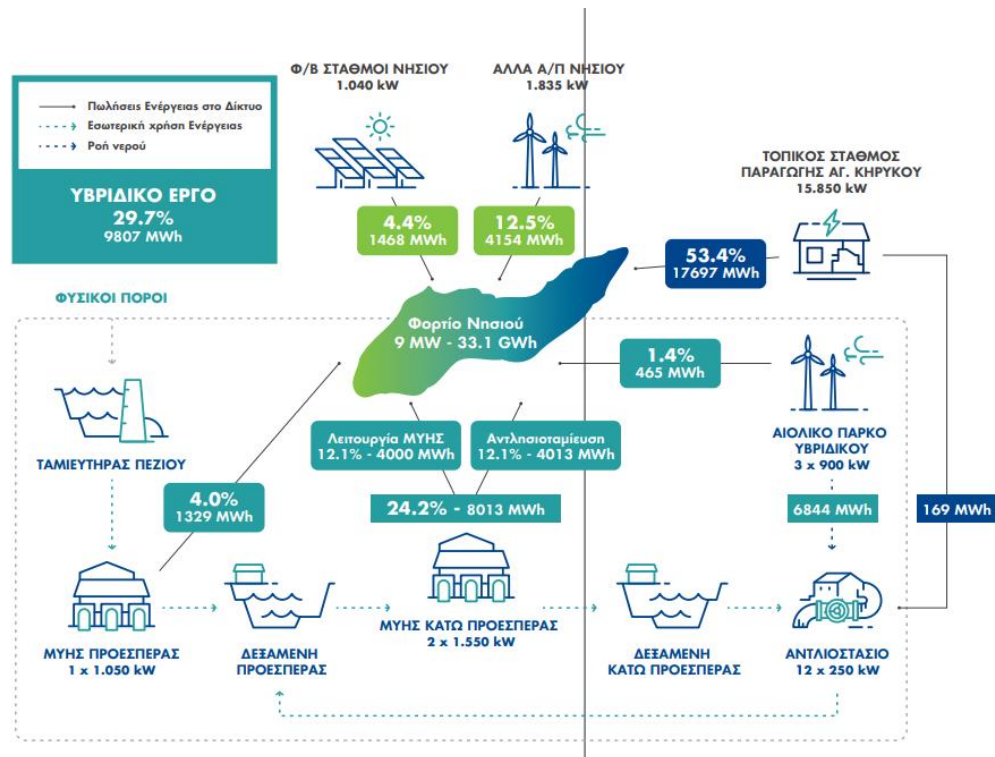
Την ίδια στιγμή, το υβριδικό έργο αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. Τον Μικρό Υδροηλεκτρικό Σταθμό (ΜΥΗΣ) Άνω Προεσπέρας, με έναν υδροστρόβιλο ισχύος 1,05 MW, ο οποίος αξιοποιεί μόνο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα του Φράγματος στο Πέζι (αφού πρώτα καλυφθούν οι υποχρεώσεις για ύδρευση, οικολογική παροχή και άρδευση).
2. Τον Μεγάλο Υδροηλεκτρικό Σταθμό (ΜΥΗΣ) Κάτω Προεσπέρας, με δύο υδροστρόβιλους ισχύος 3,1 MW συνολικά, που αξιοποιεί τόσο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα όσο και τα νερά που προέρχονται από αντλησιοταμίευση (υβριδική ενέργεια).
3. Δύο δεξαμενές νερού χωρητικότητας 80.000 m<sup>3</sup> έκαστη στις περιοχές Άνω και Κάτω Προεσπέρας, που εξυπηρετούν τις ανάγκες της αντλησιοταμίευσης για την απορρόφηση της αιολικής ενέργειας και έναν ταμιευτήρα νερού συνολικού όγκου περίπου 910.000 m<sup>3</sup> στο Πέζι.
4. Το Αντλιοστάσιο Κάτω Προεσπέρας, με 12 αντλίες ονομαστικής ισχύος 250 kW έκαστη, εκ των οποίων οι 4 είναι μεταβλητών στροφών.
5. Το Αιολικό Πάρκο (Α/Π) στην περιοχή του λόφου Στραβοκουντούρα, με τρεις ανεμογεννήτριες των 900 kW η καθεμία.

Τα Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας και Κατανομής Φορτίου του Ναέρα και της Ικαρίας, βρίσκονται σε χώρο εντός του ΤΣΠ στον Άγιο Κήρυκο, εξασφαλίζοντας τόσο την επικοινωνία μεταξύ των επιμέρους τμημάτων του Έργου όσο και την ενεργειακή ασφάλεια του νησιού και την αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος.

Αναφορικά με την υβριδική ενέργεια, ο ΜΥΗΣ Άνω Προεσπέρας, παράγει ενέργεια από την υπερχείλιση του Φράγματος στο Πέζι, λειτουργώντας μόνο κατά τη μη αρδευτική περίοδο (Οκτώβριος – Απρίλιος). Μέσα στη διάρκεια του έτους, το νερό κυκλοφορεί από την Άνω στην Κάτω Δεξαμενή, μέσω των 12 αντλιών και των 2 αγωγών και έτσι παράγεται ενέργεια από το ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, η οποία στη συνέχεια αξιοποιείται από το δίκτυο του νησιού. Για τη λειτουργία του αντλιοστασίου και την άντληση νερού μέσω αυτού, αξιοποιείται η αιολική ενέργεια που παράγεται από το Α/Π της Στραβοκουντούρας. Έτσι, στην πραγματικότητα η αιολική ενέργεια που παράγεται, δεν απορροφάται από το έργο, αλλά αξιοποιείται από τις δύο

δεξαμενές και στο τέλος αποδίδεται στο ηλεκτρικό δίκτυο της Ικαρίας. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται πως ο Ναέρας, θα παράγει συνολική καθαρή ενέργεια της τάξεως των 9,8 GWh/ έτος [27].

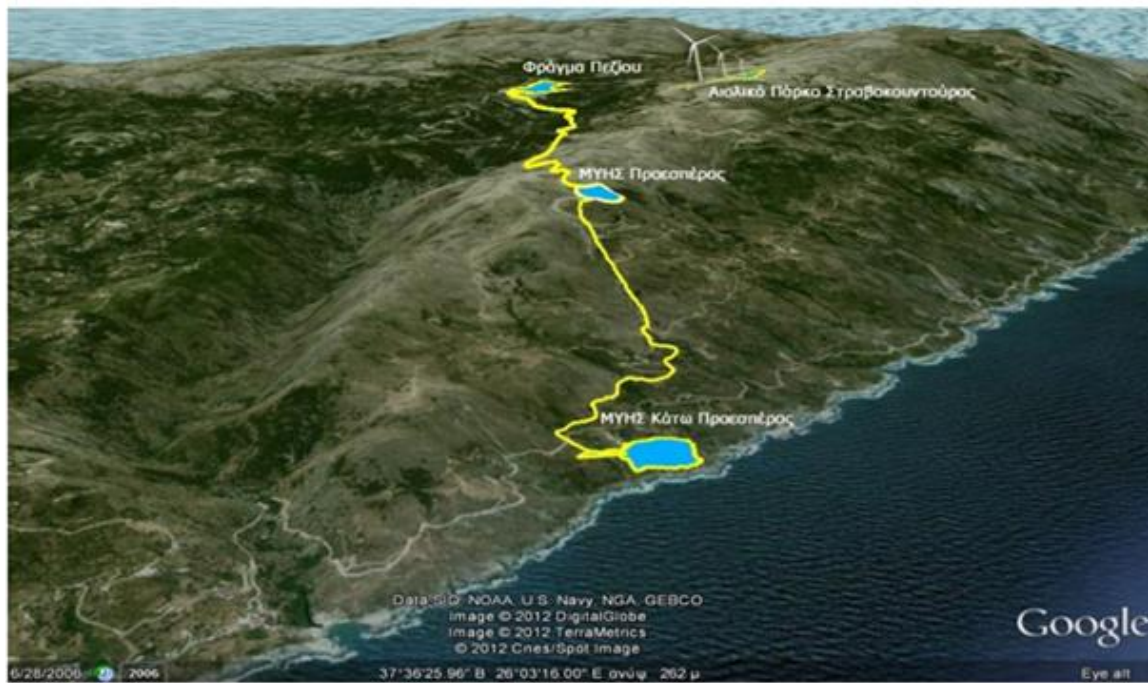


Εικόνα 8: Υπό Διερεύνηση Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας [27]

Τα οφέλη από την κατασκευή και την λειτουργία του Υβριδικού Ενεργειακού Έργου Ικαρίας – Ναέρας, είναι πολλαπλά, τόσο για την οικονομία και την κοινωνία του νησιού, όσο και για το περιβάλλον και αφορούν τα εξής:

- Ενίσχυση της ενεργειακής επάρκειας και αυτονομίας του νησιού και ταυτόχρονα μείωση της χρήσης του ΤΣΠ Ικαρίας και άρα της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα, το οποίο οδηγεί σε μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων CO<sub>2</sub>, έως και 13.800 τόνους κάθε έτος.
- Κατασκευή διπλής ενισχυμένης γραμμής Μ.Τ. 20 kV, μέσω της οποίας ενώνεται η Ανατολική με τη Δυτική μεριά του νησιού, αυξάνοντας την σταθερότητα και την αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου, αφού στο σύνολο το δίκτυο του νησιού αποτελείται από πέντε γραμμές δικτύου και ταυτόχρονα μειώνοντας τις συχνές διακοπές ρεύματος, λόγω βλαβών.

- Οικονομική ενίσχυση της κοινωνίας του νησιού με διπλό τρόπο, πρώτον, από τα έσοδα που προέρχονται από την λειτουργία του Υβριδικού Ενεργειακού Έργου και δεύτερον, από την αναβάθμιση του τουριστικού προφίλ, αφού το έργο αποτελεί πόλο έλξης για πολλούς ενδιαφερόμενους.
- Δημιουργία μέτρων αποκατάστασης, όπως δενδροφυτεύσεις κλπ, λόγω των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, από την κατασκευή των ταμιευτήρων Άνω και Κάτω Προεσπέρας[27].



Εικόνα 9: Γεωγραφική Αναπαράσταση Υβριδικού Ενεργειακού Έργου Ικαρίας - Ναέρας [28]

## **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Μελέτη Περίπτωσης**

## 3.1 Ενεργειακή Κατάσταση Ικαρίας

### 3.1.1 Γεωγραφικός Προσδιορισμός

Η Ικαρία αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα νησιά του ανατολικού Αιγαίου, το οποίο βρίσκεται μεταξύ της Μυκόνου και της Σάμου. Ο Δήμος Ικαρίας, με πρωτεύουσα τον Άγιο Κήρυκο, αποτελείται από την Ικαρία και τις ευρύτερες νησίδες γύρω από το νησί και δημιουργήθηκε το 2011, με βάση το Πρόγραμμα Καλλικράτης, έπειτα από την συνένωση των τριών προ υπάρχοντων δήμων του νησιού (Άγιος Κήρυκος, Εύδηλος, Ράχες). Πιο συγκεκριμένα η Ικαρία, η Σάμος, οι Φούρνοι και κάποια μικρότερα νησιά στην ευρύτερη περιοχή εντάσσονται στον νομό Σάμου, ο οποίος υπάγεται στην Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου. Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), ο πληθυσμός του νησιού κατά την απογραφή του 2021, ανέρχεται στους 8.843 μόνιμους κατοίκους [29]. Η έκτασή της είναι ίση με 255 km<sup>2</sup> με ακτογραμμή 160 km, ενώ η μορφολογία του νησιού χαρακτηρίζεται από επίμηκες σχήμα μορφής “S”, με κατεύθυνση βορειοανατολική – νοτιοδυτική [30].

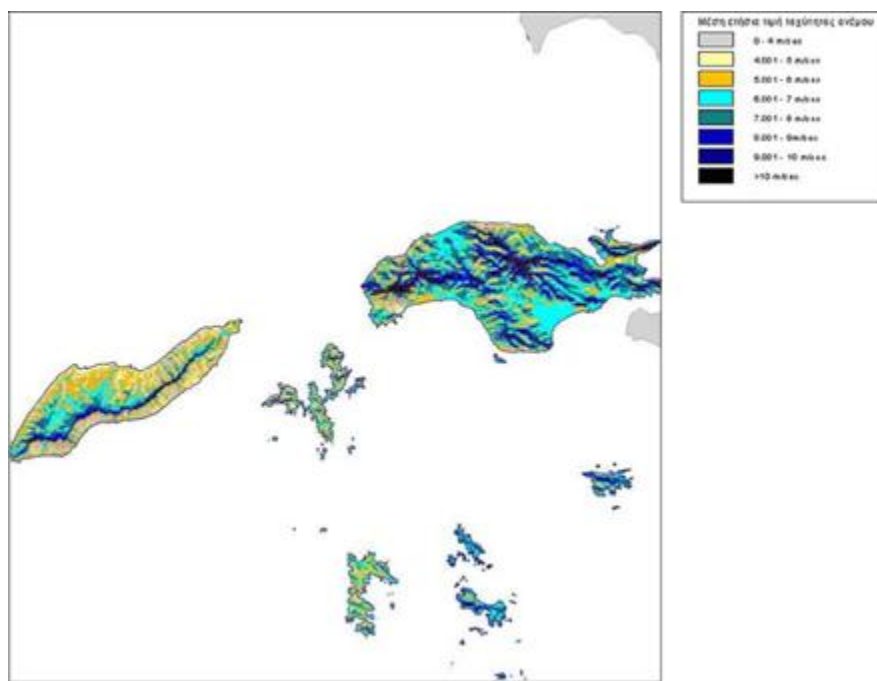


Εικόνα 10: Ικαρία [31]



### 3.1.2 Γεωμορφολογικός Προσδιορισμός – Αιολικό Δυναμικό

Ως προς την γεωμορφολογία του νησιού το έδαφος παρουσιάζει και πεδινό και ορεινό χαρακτήρα, καθώς είναι αρκετά ανομοιόμορφο, κάτι το οποίο χωρίζει το νησί μορφολογικά στα δύο, αφού το βόρειο μέρος του αποτελείται από ομαλό ανάγλυφο με δασικές εκτάσεις, σε αντίθεση με το νότιο τμήμα, το οποίο έχει απότομο ανάγλυφο και μεγάλες κλίσεις. Πιο συγκεκριμένα το νότιο τμήμα του νησιού έχει κλίσεις 80%, ενώ στο βόρειο τμήμα οι κλίσεις είναι μεταξύ του 30 – 50% οροσειρά του Αθέρα διασχίζει κατά μήκος όλο το νησί, διαιρώντας το και πάλι στα δύο τμήματα, βόρειο και νότιο. Τα ύψη των κορυφών κυμαίνονται κατά αύξουσα σειρά από τον Ψωνά στα 697 m, την Ερυφή στα 1.026 m, την Μέλισσα στα 1.031 m και τέλος την υψηλότερη κορυφή της οροσειράς Αθέρα, τη Φάρδη, στα 1.042 m<sup>3</sup> [32]. Το κλίμα της Ικαρίας επηρεάζεται άμεσα από την γεωγραφική θέση του νησιού και για αυτό χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό παράκτιο (Csa και Csb κατά Κέππεν ταξινόμηση). Αποτελείται κυρίως από δροσερούς και υγρούς χειμώνες και ζεστά και ξηρά καλοκαίρια. Η Ικαρία, αποτελεί ένα από τα νησιά του Αιγαίου με το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό, με μέση ετήσια ταχύτητα 7 m/s [33].



Σχήμα 4: Χάρτης Αιολικού Δυναμικού Ικαρίας [34]

### 3.1.4 Ενεργειακός Προσδιορισμός

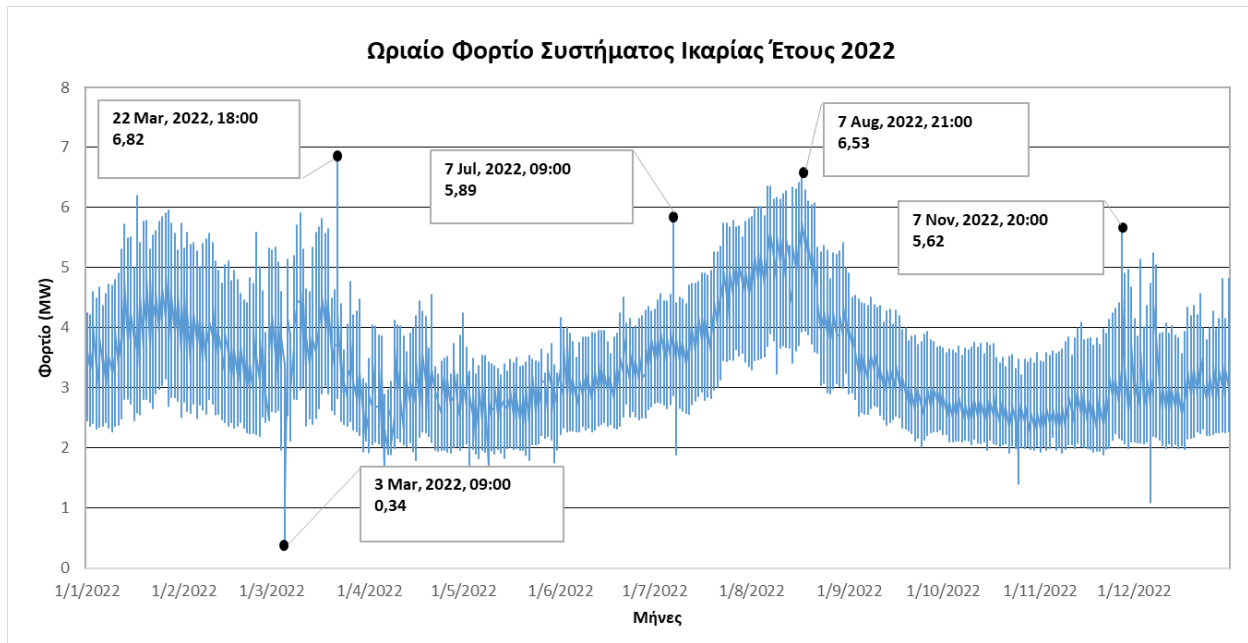
Το νησί της Ικαρίας αποτελεί αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς βρίσκεται εγκατεστημένος ένας Τοπικός Σταθμός Παραγωγής Ενέργειας, γνωστός ως ΤΠΣ Ικαρίας. Ο ΤΠΣ Ικαρίας είναι τοποθετημένος 1 χλμ. δυτικά της πρωτεύουσας του νησιού Αγίου Κήρυκου και αποτελείται από δώδεκα (12) θερμικές μονάδες, συνολικής αποδιδόμενης ισχύος 15,916 MW. Πιο συγκεκριμένα, οι έξι (6) συμβατικές μονάδες χρησιμοποιούν καύσιμο μαζούτ, με συνολική ισχύ 9,716 MW και λειτουργούν ως μονάδες βάσης, προσαρμόζοντας την λειτουργία τους με βάση τη διαθεσιμότητα και την οικονομικότητα τους. Ενώ οι υπόλοιπες έξι (6) MITSUBISHI χρησιμοποιούν καύσιμο diesel, με συνολική ισχύ 6,2 MW και λειτουργούν ως μονάδες αιχμής, δηλαδή αξιοποιούνται κατά τις περιόδους αυξημένης ζήτησης ενέργειας, με δύο από τις παραπάνω να ανήκουν στην «Τράπεζα Φορητών Η/Ζ». Στον **Πίνακα 2**, παρατίθενται τα στοιχεία των συμβατικών μονάδων του σταθμού Ικαρίας. Η σειρά ένταξης των υφιστάμενων μονάδων του συστήματος δεν είναι συγκεκριμένη, αλλά διαμορφώνεται κάθε φορά με βάση την κατάσταση των μονάδων αλλά και το πρόγραμμα συντήρησης.

Η πολιτική στρεφόμενης εφεδρείας του αυτόνομου ηλεκτρικού συστήματος της Ικαρίας, εφαρμόζεται προκειμένου να καλυφθεί κάθε ενδεχόμενο απώλειας της μεγαλύτερης συμβατικής μονάδας του συστήματος κατά την λειτουργία της, το οποίο θα οδηγήσει σε αστάθεια κάλυψης του φορτίου ζήτησης, καθώς και για περιπτώσεις μη εγγυημένης παραγωγής ΑΠΕ αλλά και μη βέβαιης πρόβλεψης παραγωγής από ΑΠΕ και ζήτησης φορτίου. Η συνολική στρεφόμενη εφεδρεία του σταθμού, δεν είναι απαραίτητο να ακολουθεί το άθροισμα των παραπάνω εφεδρειών, καθώς η πιθανότητα ταυτόχρονης απώλειας της μεγαλύτερης συμβατικής μονάδας παραγωγής και της αιολικής παραγωγής, είναι αρκετά μικρή. Έτσι, μία ικανοποιητική αναλογία τήρησης στρεφόμενης εφεδρείας είναι για την κάλυψη του συνόλου της αιολικής παραγωγής, το οποίο συνεπάγεται ότι οι εν λειτουργία μονάδες παραγωγής θα πρέπει να μπορούν να καλύψουν το ζητούμενο φορτίο, ακόμα και σε περίπτωση πλήρους απώλειας της αιολικής ισχύος. Τέλος σε αυτό προστίθεται ακόμα ένα ποσοστό εφεδρείας 10-15% περίπου, ως ποσοστό επί της ισχύος του φορτίου [35].

Πίνακας 2: Στοιχεία Συμβατικών Μονάδων ΤΣΠ Ικαρίας

ΤΠΣ ΙΚΑΡΙΑΣ											
Α/Α	Τύπος Μονάδας	Μέγιστη Δυναμικότητα / Ισχύς (MW)	Τεχνικό Ελάχιστο / Ισχύς (MW)	Καύσιμο	Σειρά Ένταξης	Ειδική Κατανάλωση (kg/MWh)			Κατανάλωση εκκίνησης (kg)		
						50%	75%	100%	Ψυχ.	Ενδ.	Θερ.
1	CEGIELSKI SULZER 16ATV 25H	2,1	1,25	ΜΑΖΟΥΤ	1	266	254	263	150	50	50
2	GDF 6G32	2,516	1,258	ΜΑΖΟΥΤ	2Γ	216	206	210	-	-	-
3	CEGIELSKI SULZER 12ATV 25H	1,8	1,13	ΜΑΖΟΥΤ	2Α	266	254	263	150	50	50
4	FIAT B308ESS	0,6	0,487	ΜΑΖΟΥΤ	3Α	301	285	289	50	25	20
5	FIAT B308ESS	0,6	0,487	ΜΑΖΟΥΤ	3Β	301	285	289	50	25	20
6	MITSUBISHI S16R - PTA	1,0	0,637	DIESEL	4Α	233	223	219	5	5	5
7	MITSUBISHI S16R - PTA	1,0	0,637	DIESEL	4Β	233	223	219	5	5	5
8	CEGIELSKI SULZER 16ATV 25H	2,1	1,552	ΜΑΖΟΥΤ	2Β	266	254	263	150	50	50
9	MITSUBISHI S16R - PTA	1,0	0,637	DIESEL	4Γ	233	223	219	5	5	5
10	MITSUBISHI S16R - PTA	1,0	0,637	DIESEL	4Δ	233	223	219	5	5	5
11	MITSUBISHI S16R - PTA	1,0	0,637	DIESEL	4Ε	233	223	219	5	5	5
12	MITSUBISHI S16R - PTA	1,0	0,637	DIESEL	4Ζ	233	223	219	5	5	5
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>15,7</b>									

Σύμφωνα με τις μετρήσεις του ΔΕΔΔΗΕ για το έτος 2022, στο αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα της Ικαρίας η συνολική ετήσια ζήτηση ήταν 29.363,92 MWh, ενώ η μέση μηνιαία ζήτηση ήταν 3,35 MW, με την μέση μέγιστη ζήτηση να καταγράφεται τον μήνα Αύγουστο (4,68 MW) και την μέση ελάχιστη τον Μάιο (2,60 MW), όπως απεικονίζεται στο **Γράφημα 1** στην κατανομή του ωριαίου φορτίου, για το έτος αυτό. Με βάση τα παραπάνω στοιχεία παρατηρούμε πως υπάρχει έντονη εποχικότητα στην κατανομή του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας μέσα στο έτος, με την αιχμή να εντοπίζεται τους καλοκαιρινούς μήνες, κάτι το οποίο οφείλεται στις αυξημένες τουριστικές αφίξεις, και ταυτόχρονα στην ανάγκη ψύξης. Παρόλα αυτά, η υψηλότερη τιμή φορτίου (6,82 MW) εντοπίζεται τον μήνα Μάρτιο και οφείλεται στις ιδιαίτερα ψυχρές θερμοκρασιακά συνθήκες που επικράτησαν την συγκεκριμένη περίοδο, με πολλές βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις. Ακόμα, εκτός της θερινής τουριστικής περιόδου, σημαντικά φορτία υπάρχουν σε όλη τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ τα χαμηλότερα φορτία παρατηρούνται κατά τους μήνες Απρίλιο – Μάιο και Οκτώβριο – Νοέμβριο [35].



Γράφημα 1: Ωριαίο Φορτίο Ηλεκτρικού Συστήματος Ικαρίας για το έτος 2022

Αναφορικά με τις ώρες αιχμής φορτίου διαμορφώνονται ξεχωριστά για τη χειμερινή περίοδο και τη θερινή περίοδο. Έτσι προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Για τη χειμερινή περίοδο, ημερήσια αιχμή φορτίου με διάρκεια περίπου τριών ωρών το μεσημέρι και τριών ωρών το βράδυ (11:00 – 14:00 & 18:00 – 21:00).
- Για τη θερινή περίοδο, ημερήσια αιχμή φορτίου με διάρκεια περίπου τεσσάρων ωρών το μεσημέρι (10:00 – 14:00) και πέντε ωρών το βράδυ (18:00 – 23:00) .

Ακόμα, στο νησί βρίσκονται σε λειτουργία δύο Α/Π, συνολικής ισχύος 3,085 MW, το πρώτο Α/Π βρίσκεται εγκατεστημένο στο Περδίκι και αποτελείται από μία ανεμογεννήτρια με συνολική ισχύ 0,385 MW, ενώ το δεύτερο Α/Π βρίσκεται εγκατεστημένο στο λόφο Σταβοκουντούρα και αποτελείται από τρεις ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 2,7MW (900kW η κάθε μία), όπως παρουσιάζονται στην **Εικόνα 12**. Ακόμα εγκατεστημένοι υπάρχουν τρεις Φωτοβολταϊκοί Σταθμοί (Φ/Β), συνολικής ισχύος 0,399 MW (σε αυτά δεν συμπεριλαμβάνονται τα Φ/Β στέγης), όπως εμφανίζονται στην **Εικόνα 13**. Τέλος, τον Νοέμβριο του 2018 τέθηκε σε δοκιμαστική λειτουργία ο Υβριδικός Σταθμός Ικαρίας Ναέρας με εγγυημένη ισχύ 2,55 MW [35].



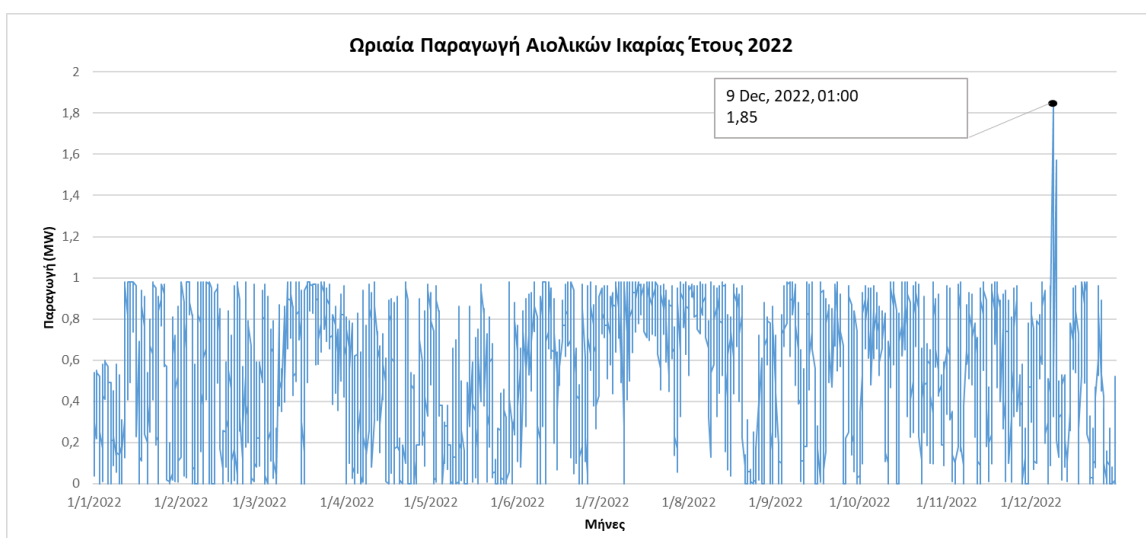
*Εικόνα 11: Τοποθεσίες Α/Π Πάρκων και ΥΒΣ Ικαρίας [36]*



*Εικόνα 12: Τοποθεσίες Φ/Β Πάρκων Ικαρίας [36]*

Σύμφωνα με τις μετρήσεις του ΔΕΔΔΗΕ, η μέση μηνιαία απόδοση ισχύος των αιολικών της Ικαρίας για το 2022, ήταν 0,53 MW, με την μέση μέγιστη τιμή να καταγράφεται τον μήνα Ιούλιο (0,82 MW) και την μέση ελάχιστη τον μήνα Μάιο (0,30 MW). Σε ότι αφορά την μέγιστη παραγωγή, αναμένουμε να εμφανίζεται κατά την περίοδο Ιουλίου – Αυγούστου, καθώς σε αυτό το διάστημα το Αιγαίο και τα Ελληνικά νησιά ευνοούνται από τα μελτέμια (το μελτέμι είναι ισχυρός βόρειος άνεμος που πνέει προς το Αιγαίο) [37]. Παράλληλα, για την ίδια περίοδο καθώς και για τους χειμερινούς μήνες θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τον μεγάλο αριθμό αιολικών απορρίψεων, οι οποίες κατά την χειμερινή περίοδο εντοπίζονται κυρίως τις βραδινές ώρες, ενώ για την θερινή περίοδο εντοπίζονται τόσο τις πρωινές, όσο και τις βραδινές ώρες, όπου εκεί οι άνεμοι εμφανίζονται με μεγαλύτερη ένταση και συχνότητα και σε αυτές τις περιπτώσεις οι ανεμογεννήτριες τίθενται συνήθως εκτός λειτουργίας, τα παραπάνω παρουσιάζονται στο **Γράφημα 2**.

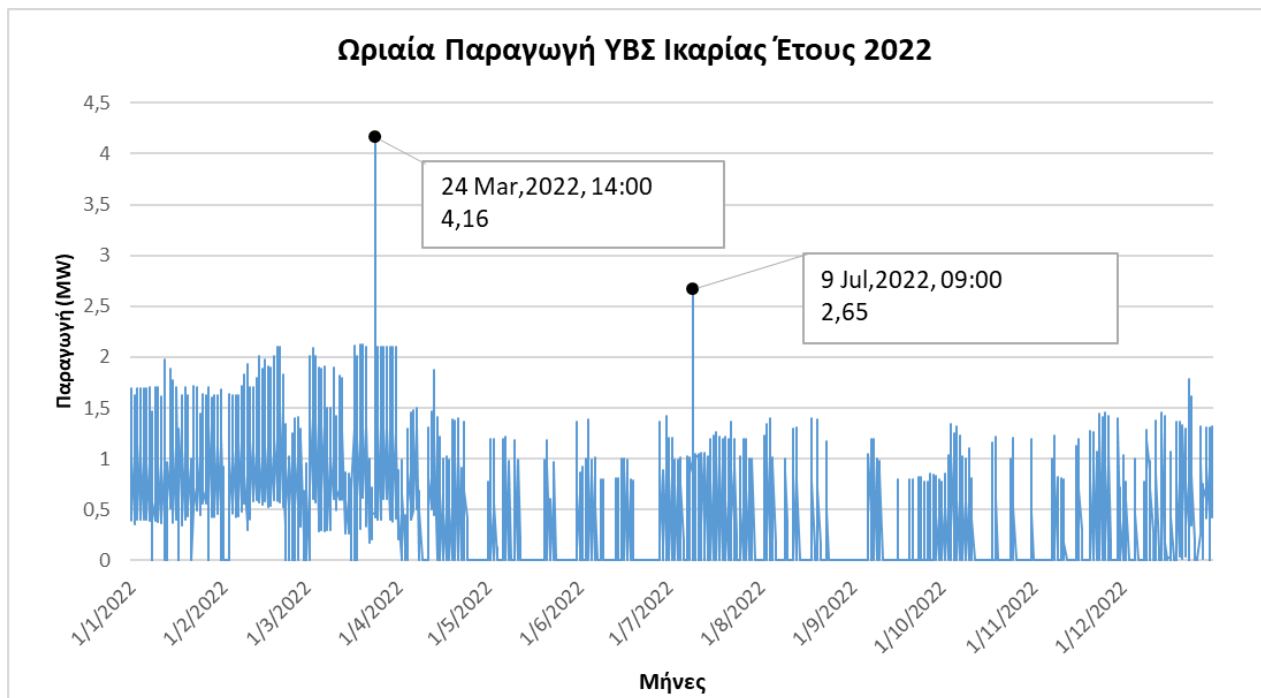
Ακόμα, τα Α/Π δέχονται περιορισμό ισχύος (set-point). Η τιμή αυτή καθορίζεται με βάση το κριτήριο μη παραβίασης των τεχνικών ελάχιστων των συμβατικών μονάδων που υπάρχουν στο ηλεκτρικό σύστημα (τεχνικός περιορισμός). Την ίδια στιγμή, ως άνω όριο διείσδυσης της ισχύος κατά κανόνα ορίζεται το 30% του φορτίου του συστήματος (δυναμικός περιορισμός). Από την άλλη, τα Φ/Β δε δέχονται περιορισμό ισχύος (set-point) και κατά συνέπεια έχουμε ολική απορρόφηση της παραγωγής τους από το ηλεκτρικό σύστημα, με αποτέλεσμα επίσης την έμμεση επιβάρυνση των αιολικών [35].



Γράφημα 2: Ωριαία Παραγωγή Αιολικών Ικαρίας για το έτος 2022

Σε ότι αφορά την παραγωγή ενέργειας από τον Υβριδικό Σταθμό της Ικαρίας (ΥΒΣ), όπως καταγράφηκε από τον ΔΕΔΔΗΕ για το έτος 2022, η ετήσια παραγωγή του ήταν 3.472,64 MW, καλύπτοντας το 11,80% της ετήσιας ζήτησης του νησιού. Η μέση μηνιαία παραγωγή του σταθμού, με όρους ισχύος, ήταν 0,40 MW, με την μέση μέγιστη παραγωγή τον μήνα Ιανουάριο (0,89 MW) και την μέση ελάχιστη τον μήνα Αύγουστο (0,10 MW). Με βάση το **Γράφημα 3**, παρατηρείται χαμηλή παραγωγή ενέργειας του Υβριδικού Σταθμού κατά την περίοδο Μαΐου έως και τα τέλη Αυγούστου, το οποίο οφείλεται στην διακοπή λειτουργίας του ΜΥΗΣ Προεσπέρας, προκειμένου να καλυφθούν οι ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης. Πιο συγκεκριμένα ο ΜΥΗΣ Προεσπέρας λειτουργεί μόνο κατά την μη αρδευτική περίοδο (Οκτωβρίου-Απριλίου), και σε όλη την υπόλοιπη διάρκεια του έτους το νερό κυκλοφορεί μεταξύ των δύο ταμιευτήρων της Άνω και Κάτω Προεσπέρας.

Επιπλέον, όπως συμβαίνει και στις συμβατικές μονάδες παραγωγής του ΤΣΠ, έτσι και οι μονάδες ελεγχόμενης παραγωγής του ΥΒΣ, πρέπει να συμμετέχουν στην ρύθμιση της συχνότητας και της τάσης του ηλεκτρικού συστήματος του νησιού [35].

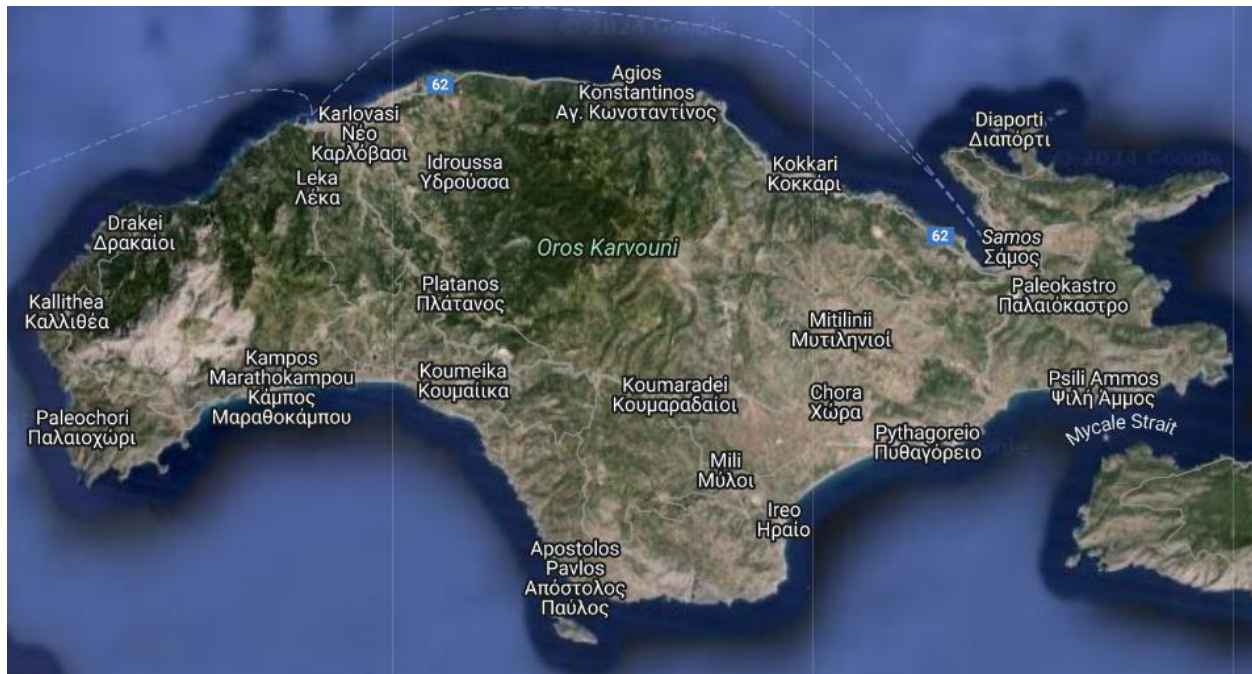


Γράφημα 3: Ωριαία Παραγωγή Υβριδικού Σταθμού Ικαρίας για το έτος 2022

## 3.2 Ενεργειακή Κατάσταση Σάμου

### 3.2.1 Γεωγραφικός Προσδιορισμός

Η Σάμος είναι νησί του ανατολικού Αιγαίου και βρίσκεται ανατολικά του Ικάριου πελάγους. Από όλα τα νησιά της Ελλάδας αποτελεί το νησί που βρίσκεται κοντινότερα στην Τουρκία, με το Στενό της Μυκάλης. Πρωτεύουσα του νησιού είναι το Κάτω Βαθύ και ανήκει στον νομό Σάμου. Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), ο πληθυσμός του νησιού κατά την απογραφή του 2021 ανέρχεται στους 32.642 κατοίκους [31]. Η έκτασή της είναι ίση με 480 km<sup>2</sup>, με επίμηκες σχήμα. Ακόμα, στα δυτικά του νησιού βρίσκεται το νησιωτικό σύμπλεγμα των Κορσεών (Φούρνων), το οποίο εντάσσεται στο νομό Σάμου, ενώ απέχει από την Ικαρία 10 μίλια και χωρίζεται από την Μικρασιατική ακτή με διάυλο πλάτους 1.300 m. [38]



Εικόνα 13: Σάμος [31]



### 3.2.2 Γεωμορφολογικός Προσδιορισμός

Ως προς την γεωμορφολογία του, το νησί της Σάμου έχει μεγάλο μήκος ακτών, που περιλαμβάνουν πολλούς κόλπους και όρμους, ενώ συνδυάζει πεδινό και ορεινό χαρακτήρα. Στη Σάμο διακρίνονται δύο σημαντικοί ορεινοί όγκοι. Στο δυτικό τμήμα του νησιού βρίσκεται ο Κέρκης με υψόμετρο 1.443 m και στο κεντρικό τμήμα, ο Καρβούνης με υψόμετρο 1.160 m, ενώ τα πεδινά σημεία είναι λίγα, με την μεγαλύτερη πεδιάδα, να εκτείνεται σε μήκος 5 km και πλάτος 2 km, να βρίσκεται στο νότιο μέρος του νησιού και να περικλείεται από τα χωριά: Χώρα, Μύλοι, Πυθαγόρειο και Παγώνδας. Ακόμα, αν και στο νησί δεν υπάρχουν μεγάλοι ποταμοί, υπάρχει έντονη παρουσία από χειμάρρους και ρυάκια τα οποία ρέουν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους [39].

### 3.2.3 Ενεργειακός Προσδιορισμός

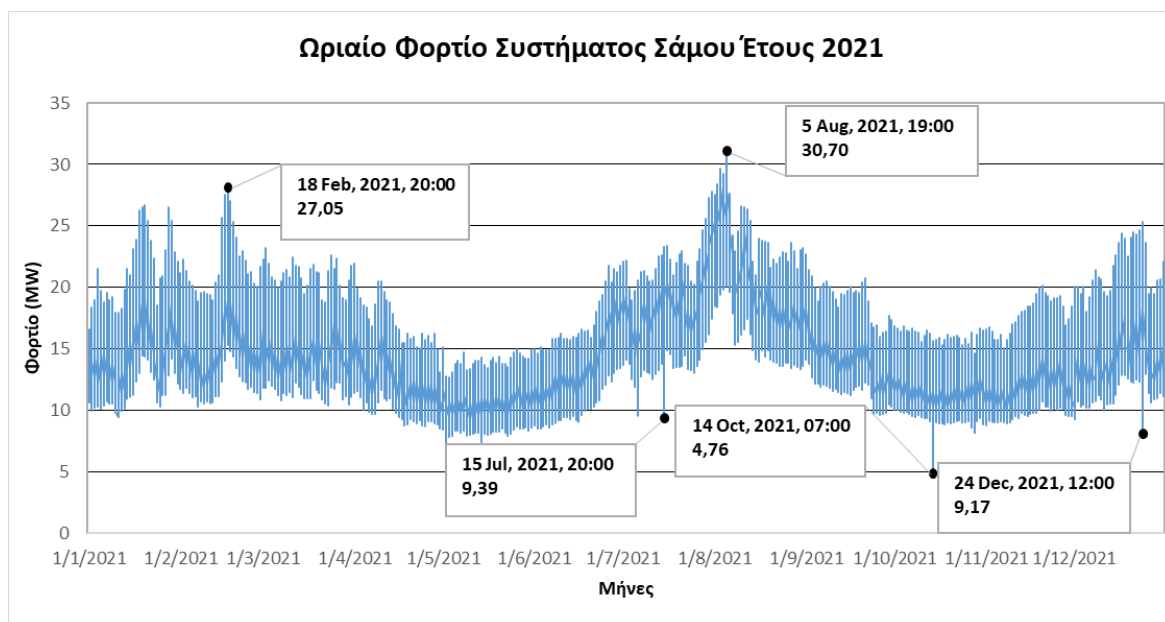
Το νησί της Σάμου, ανήκει στο αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα των διασυνδεδεμένων νησιών Σάμου, Φούρνων και Θύμαινας, στο οποίο λειτουργεί ο ΑΣΠ Σάμου, ένας Αυτόνομος Συμβατικός Θερμικός Σταθμός Παραγωγής. Σύμφωνα με τις μετρήσεις του ΔΕΔΔΗΕ για το έτος 2021, η ετήσια κατανάλωση ενέργειας ήταν 129.827,80 MWh και η μέση μηνιαία κατανάλωση ήταν 14,82 MW, με μέγιστη κατανάλωση τον μήνα Αύγουστο (20,15 MW) και ελάχιστη τον μήνα Μάιο (10,46 MW), όπως παρουσιάζεται και στο **Γράφημα 4**. Αντίστοιχα και με τις μετρήσεις ζήτησης για το νησί της Ικαρίας, το φορτίο παρουσιάζει έντονη εποχικότητα, το οποίο οφείλεται στον αυξημένο τουρισμό του νησιού κατά την θερινή περίοδο. Στον **Πίνακα 3**, παρατίθενται τα στοιχεία που αφορούν στις υφιστάμενες μονάδες του ΑΣΠ, καθώς και στη σειρά ένταξής τους στο σύστημα, η οποία δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται κάθε φορά, ανάλογα με την κατάσταση των μονάδων και το πρόγραμμα συντήρησής τους [40].

Πίνακας 3: Στοιχεία Συμβατικών Μονάδων ΑΣΠ Σάμου

ΑΣΠ ΣΑΜΟΥ											
Α/Α	Τύπος Μονάδας	Μέγιστη Δυναμικότητα / Ισχύς (MW)	Τεχνικό Ελάχιστο / Ισχύς (MW)	Καύσιμο	Σειρά Ένταξης	Ειδική Κατανάλωση (kg/MWh)			Κατανάλωση εκκίνησης (kg)		
						50%	75%	100%	Ψυχ.	Ενδ.	Θερ.
1	WARTSILA W32 - 18V	8,000	4,125	ΜΑΖΟΥΤ	3Α	231	219	219	350	200	50
2	WARTSILA W32 - 18V	8,000	4,125	ΜΑΖΟΥΤ	3Β	231	219	219	350	200	50
3	WARTSILA W32 - 18V	8,000	4,125	ΜΑΖΟΥΤ	3Γ	231	219	219	350	200	50
4	CEGIELSKI 6RTAF-58	6,000	3,15	ΜΑΖΟΥΤ	2Α	213	206	207	350	200	50
5	CEGIELSKI 6RTAF-58	6,000	3,155	ΜΑΖΟΥΤ	2Β	213	206	207	350	200	50
6	CEGIELSKI 9RTA-F58	11,000	6,14	ΜΑΖΟΥΤ	1	210	202	207	350	200	50
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>47,000</b>									

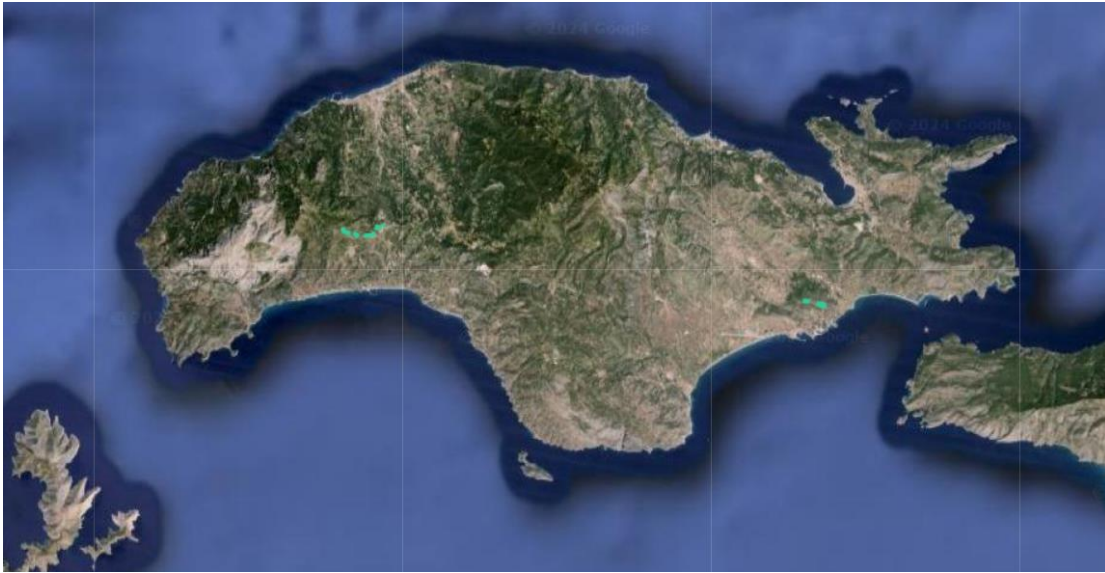
Αναφορικά με τις ώρες αιχμής φορτίου διαμορφώνονται ξεχωριστά για τη χειμερινή περίοδο και τη θερινή περίοδο και είναι αντίστοιχες με αυτές που προκύπτουν για το ηλεκτρικό σύστημα της Ικαρίας:

- Για τη χειμερινή περίοδο, ημερήσια αιχμή φορτίου με διάρκεια περίπου τριών ωρών το μεσημέρι και τριών ωρών το βράδυ (11:00 – 14:00 & 18:00 – 21:00).
- Για τη θερινή περίοδο, ημερήσια αιχμή φορτίου με διάρκεια περίπου τεσσάρων ωρών το μεσημέρι (10:00 – 14:00) και πέντε ωρών το βράδυ (18:00 – 23:00).

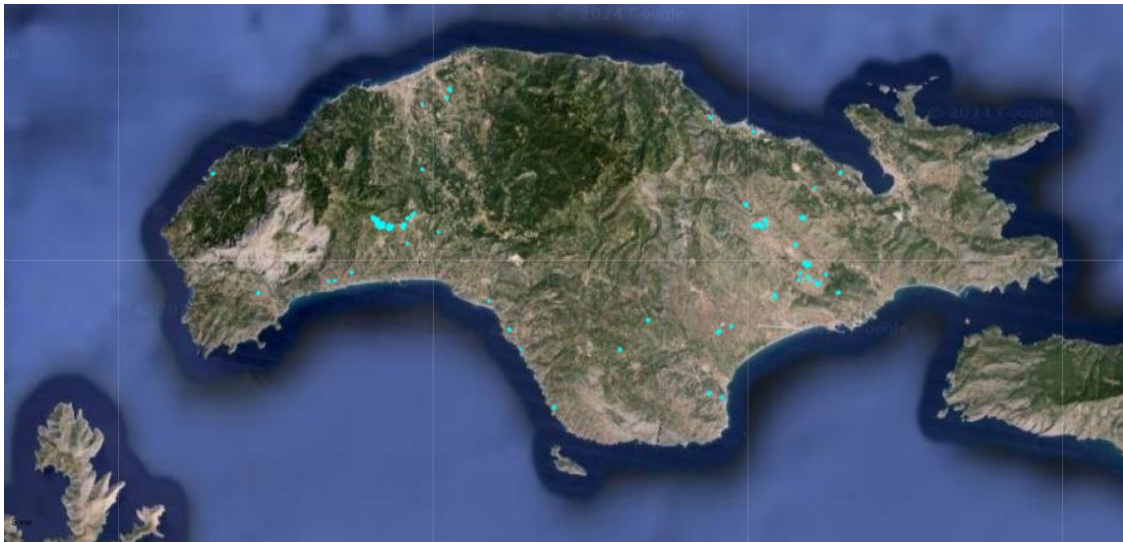


Γράφημα 4: Ωριαίο Φορτίο Ηλεκτρικού Συστήματος Σάμου για το έτος 2021

Ακόμα, στο νησί της Σάμου βρίσκονται σε λειτουργία επτά Α/Π, συνολικής ισχύος 8,75 MW, το πρώτο Α/Π βρίσκεται εγκατεστημένο στο Πυθαγόρειο και αποτελείται από τρεις ανεμογεννήτριες με συνολική ισχύ 2,7 MW (0,9 MWέκαστη), το δεύτερο Α/Π βρίσκεται εγκατεστημένο στον Όρο Κέρκης και αποτελείται από τρεις ανεμογεννήτριες, ενώ τα υπόλοιπα πέντε Α/Π βρίσκονται εγκατεστημένα στο Μαραθόκαμπο, όπως παρουσιάζονται στην **Εικόνα 15**. Ακόμα εγκατεστημένοι υπάρχουν εξήντα τρεις Φ/Β, συνολικής ισχύος 4,373 MW (σε αυτά δεν συμπεριλαμβάνονται τα Φ/Β στέγης), όπως εμφανίζονται στην **Εικόνα 16** [40].

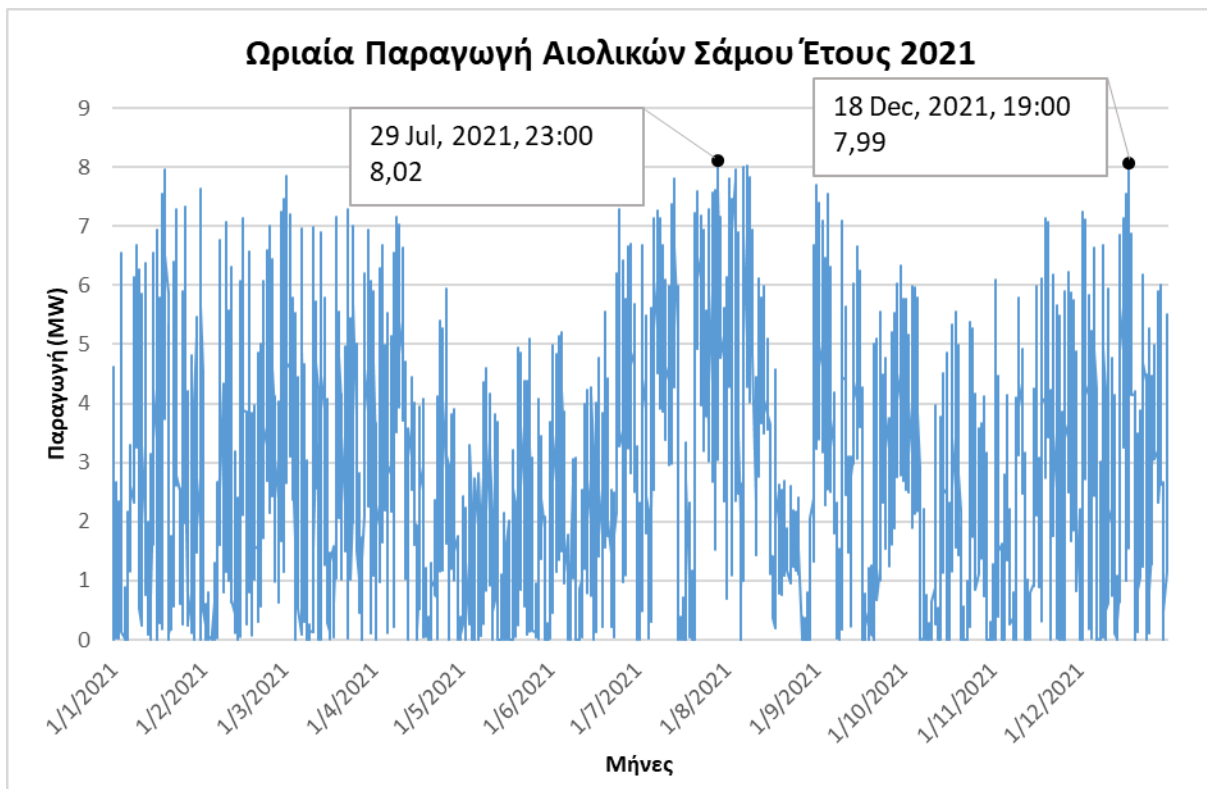


*Εικόνα 14: Τοποθεσίες Α/Π Πάρκων Σάμου [36]*



*Εικόνα 15: Τοποθεσίες Φ/Β Πάρκων Σάμου [36]*

Σύμφωνα με τις μετρήσεις του ΔΕΔΔΗΕ, η μέση μηνιαία απόδοση ισχύος των αιολικών της Σάμου για το 2021, ήταν 2,63 MW, με την μέση μέγιστη τιμή να καταγράφεται τον μήνα Ιούλιο (3,82 MW) και την μέση ελάχιστη τον μήνα Μάιο (1,28 MW). Αντίστοιχα με τα δεδομένα της Ικαρίας η μέγιστη παραγωγή, εμφανίζεται κατά την περίοδο Ιουλίου – Αυγούστου και πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο **Γράφημα 5**, η μέγιστη αιολική παραγωγή είναι τον μήνα Ιούλιο (8,02 MW), καθώς σε αυτό το διάστημα το Αιγαίο κατακλύζεται από τα μελέμια. Ακόμα, παρατηρούμε πως και για τον μήνα Δεκέμβριο εμφανίζεται υψηλή αιολική παραγωγή (7,99 MW). Τέλος, συγκριτικά με την μέση μηνιαία αιολική παραγωγή της Ικαρίας, η αντίστοιχη της Σάμου είναι τετραπλάσια, το οποίο οφείλεται στα περισσότερα εγκατεστημένα Α/Π που έχει η Σάμος.



Γράφημα 5: Ωριαία Παραγωγή Αιολικών Σάμου για το έτος 2021

## **Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Παρουσίαση Υβριδικού Ενεργειακού Έργου Ικαρίας - Ναέρας**

## 4.1 ΜΥΗΣ (Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός) Κάτω Προεσπέρας Ικαρίας

Ο ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας αποτελείται από δύο υδροστροβίλους οριζοντίου άξονα, τύπου Pelton (Υδροστρόβιλος Δράσης), συνολικής ισχύος 3,1 MW (1,55 ο κάθε ένας), και χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της περίσσειας του νερού του Φράγματος στο Πέζι. Πιο συγκεκριμένα, ο τρόπος λειτουργίας του ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας, είναι ο εξής:

Αρχικά το νερό ξεκινάει από το Φράγμα στο Πέζι, από όπου μέσα από τους υπερχειλιστές του Φράγματος η περίσσεια νερού οδηγείται μέσω του αγωγού προσαγωγής (διαμέτρου Φ600 και μήκους 3,5km) στον άνω ταμιευτήρα στην Άνω Προεσπέρα. Στην συνέχεια, το νερό με πίεση 50 bar οδηγείται στον κάτω ταμιευτήρα της Κάτω Προεσπέρας και εκεί με την χρήση δύο εγχυτήρων (μπεκ) ψεκάζεται νερό στην πτερωτή του υδροστροβίλου, με κατεύθυνση αντίθετη από αυτή της λειτουργίας, με στόχο να ασκηθεί πίεση στον υδροστρόβιλο και μέσω αυτού να γίνει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έπειτα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στο κέντρο ελέγχου μέσης τάσης του Ναέρα. Συνολικά το νησί αποτελείται από πέντε γραμμές δικτύου, από τις οποίες οι δύο προϋπήρχαν του έργου και διένεμαν την ηλεκτρική ενέργεια από τον Τοπικό Σταθμό Παραγωγής στον Άγιο Κήρυκο προς όλο το νησί, ενώ οι άλλες τρεις γραμμές προστέθηκαν με την δημιουργία του έργου. Έτσι, η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια από το έργο, οδηγείται στο κέντρο υποβιβασμού Μέσης Τάσης, αφού η τάση της είναι στα 20kV και εκεί μετασχηματίζεται στα 15kV και στην συνέχεια μεταφέρεται προς το κέντρο ελέγχου και κατανομής φορτίου στον Άγιο Κήρυκο από όπου και διανέμεται προς το δίκτυο.



Εικόνα 16: ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας Ικαρίας

Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά του ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας αναφέρονται στα ακόλουθα:

- Ρυθμός ανάληψης φορτίου ίσος με 5 λεπτά
- Συντελεστής ισχύος  $PF = 0,95$
- Σύστημα ψύξης των υδροστροβίλων και υδρόψυξης των γεννητριών

## 4.2 ΜΥΗΣ (Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός) Άνω Προεσπέρας Ικαρίας

Ο ΜΥΗΣ Άνω Προεσπέρας αποτελείται από έναν υδροστρόβιλο κάθετου άξονα, τύπου Pelton (Υδροστρόβιλος Δράσης), συνολικής ισχύος 1,05 MW, ο οποίος χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της περίσσειας του νερού του Φράγματος στο Πέζι. Πιο συγκεκριμένα, ο ΜΥΗΣ Άνω Προεσπέρας αξιοποιεί την περίσσεια νερού που υπερχειλίζει από το φράγμα στο Πέζι Ικαρίας, από όπου το νερό μέσω των υπερχειλιστών του φράγματος, με πίεση νερού 15bar, μεταφέρεται μέσω του χαλύβδινου αγωγού προσαγωγής (διαμέτρου Φ600 και μήκους 3,5km), στον άνω ταμιευτήρα, εκεί με την χρήση τεσσάρων εγχυτήρων (μπεκ), όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 18**, ψεκάζεται νερό στην περωτή του υδροστροβίλου, με κατεύθυνση αντίθετη από αυτή όπως λειτουργίας, με στόχο να ασκηθεί πίεση στον υδροστρόβιλο και μέσω αυτού να γίνει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω, στην συνέχεια το νερό μεταπίπτει μέσω και πάλι του αγωγού προσαγωγής στον κάτω ταμιευτήρα. Ακόμα, στο ΜΥΗΣ Άνω Προεσπέρας, ο υδροστρόβιλος λειτουργεί μόνο κατά τη μη αρδευτική περίοδο (Οκτωβρίου – Απριλίου), για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ την υπόλοιπη περίοδο (Μαΐου – Σεπτεμβρίου) λειτουργούν μόνο οι δύο υδροστρόβιλοι του ΜΥΗΣ Κάτω Προεσπέρας.



*Εικόνα 17: Υδροστρόβιλος Κάθετου Άξονα ΜΥΗΣ Άνω Προεσπέρας Ικαρίας*

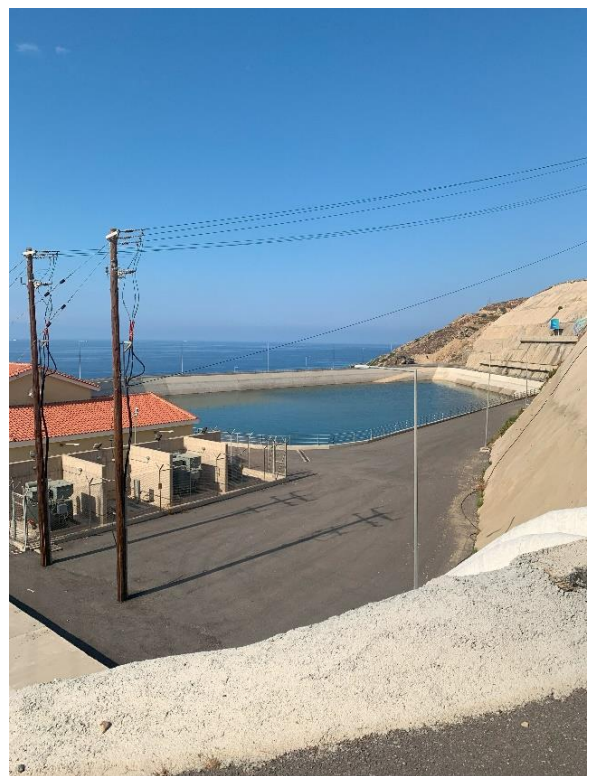


### 4.3 Αντλιοστάσιο Κάτω Προεσπέρας Ικαρίας

Το αντλιοστάσιο αποτελείται από δώδεκα αντλίες των 250 kW η κάθε μία και άρα συνολικά 3000 kW. Από τις δώδεκα, οι τέσσερις είναι μεταβλητών στροφών inverter (δηλαδή η αντλία ρυθμίζει την ισχύ της με βάση την παραγωγή των Α/Γ), οι οποίες ξεκινούν πρώτες να δουλεύουν διότι δεν υπάρχει σταθερή ισχύς κατά την εκκίνηση των Α/Γ, ενώ οι υπόλοιπες οκτώ αντλίες είναι σταθερών στροφών. Παρόλα αυτά οι αντλίες μεταβλητών στροφών μπορούν να δεχθούν ισχύ μικρότερη των 250 kW, π.χ. ισχύ των 100 kW. Στο κτίριο του αντλιοστασίου υπάρχει συστοιχία αντιστάθμισης της αέργου ισχύος, η οποία γίνεται μέσω συστοιχίας πυκνωτών ονομαστικής ισχύος 325 KVAR, και η οποία είναι απαραίτητη διότι οι αντλίες αποτελούν μεγάλο επαγωγικό φορτίο, το οποίο αποσταθεροποιεί την παραγόμενη ισχύ. Ακόμα το κτίριο διαθέτει αεροφυλάκιο, το οποίο βρίσκεται στην έξοδο του αντλιοστασίου και είναι συνδεδεμένο με τον αγωγό προσαγωγής (διαμέτρου Φ600) και αξιοποιείται για την προστασία των αγωγών από το υδραυλικό πλήγμα, το οποίο σημαίνει καταστροφή των αγωγών, των αντλιών καθώς και ολόκληρου του κτιρίου λόγω ισχυρών δονήσεων. Όσο αναφορά την λειτουργία του αντλιοστασίου, είναι υπεύθυνο για την μεταφορά του νερού από την κάτω δεξαμενή στην άνω δεξαμενή. Ο κινητήρας κινεί τα πτερύγια της αντλίας και το νερό εισέρχεται με πίεση ίση με 1 bar και εξέρχεται με πίεση 50 bar έτσι ώστε να μπορέσει το νερό να οδηγηθεί στην άνω δεξαμενή, μέσω του αγωγού κατάθλιψης (διαμέτρου Φ500 και μήκους 3,6km).

#### 4.4 Ταμιευτήρες - Δεξαμενές Νερού

Ο Σταθμός αποτελείται από δύο δεξαμενές νερού, όπου η πρώτη βρίσκεται τοποθετημένη στην Άνω Προεσπέρα, ενώ η δεύτερη στην Κάτω Προεσπέρα Ικαρίας. Και οι δύο έχουν χωρητικότητα 80.000 m<sup>3</sup> έκαστη. Κάθε δεξαμενή φέρει δικό της υπερχειλιστή, για διασφάλιση από τυχόν συμβάντα υπερχείλισης. Πιο συγκεκριμένα ο κάτω ταμιευτήρας χρησιμοποιείται για την αποθήκευση ενέργειας, μέσω της αποθήκευσης του νερού.



*Εικόνα 18: Ταμιευτήρας Κάτω Προεσπέρας Ικαρίας*

## 4.5 Φράγμα

Το Φράγμα, βρίσκεται εγκατεστημένο στο Πέζι Ικαρίας από το 1995 και έχει χωρητικότητα ίση με 910.000 m<sup>3</sup>. Η χρήση του πρωτίστως είναι για άρδευση και ύδρευση, και έπειτα, κατά την μη αρδευτική περίοδο Οκτωβρίου – Απριλίου, αξιοποιείται η περίσσεια νερού από τον σταθμό. Πιο συγκεκριμένα, το φράγμα είναι χωμάτινο με αργιλικό πυρήνα, έχει ύψος αναχώματος 29m, όγκο αναχώματος 163.100m<sup>3</sup>, μήκος στέψης 235m και πλάτος στέψης 10m [41].



*Εικόνα 19: Φράγμα Ικαρίας*

## 4.6 Αιολικό Πάρκο

Το αιολικό πάρκο του έργου βρίσκεται εγκατεστημένο στον λόφο Σταβοκουντούρα και αποτελείται από τρεις ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 2,7 MW (900 kW η κάθε μία). Η χρησιμότητα της λειτουργίας του αιολικού πάρκου είναι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία όμως δεν προσφέρεται στο δίκτυο, αλλά χρησιμοποιείται από τον ίδιο τον σταθμό για την λειτουργία του αντλιοστασίου. Έτσι τα 2,7 MW που παράγονται από το Α/Π καταναλώνονται από το αντλιοστάσιο και με αυτόν τον τρόπο δεν έχουμε απορρίψεις αιολικής ενέργειας. Ακόμα, το Α/Π δεν τίθεται ποτέ εκτός λειτουργίας στο σύνολό του, λόγω της υγρασίας που μπορεί να δημιουργηθεί στα ηλεκτρονικά ισχύος, και για λόγους ασφαλείας το ελάχιστο όριο λειτουργίας τους είναι έως και 7kW.



*Εικόνα 20: Αιολικό Πάρκο Ικαρίας*

## 4.7 Γενικές Πληροφορίες για τον Σταθμό

Για την προστασία των μηχανημάτων (υδροστρόβιλοι, αντλίες), τα κτίρια στέγασης αυτών είναι από ειδική κατασκευή οπλισμένου συμπαγούς σκυροδέματος μεγάλου όγκου, καθώς όση είναι η κυβική έκταση του κτιρίου πάνω από την επιφάνεια της γης, άλλο τόσο βρίσκεται κάτω από το έδαφος, για την αποφυγή πιθανών πολύ μικρών κραδασμών και δονήσεων, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες στις συγκολλήσεις των αγωγών πρωτίστως και κατ' επέκταση στον υπόλοιπο εξοπλισμό. Επιπλέον, κάθε επιμέρους κτίριο του έργου συνολικά, διαθέτει δική του ξεχωριστή εφεδρεία, αποτελούμενη από συσσωρευτές ιόντων λιθίου, ονομαστικής τάσης 48 Volt, οι οποίες είναι διαστασιολογημένες έτσι ώστε το κτίριο να μπορεί να παραμείνει σε πλήρη λειτουργία για ένα 24ωρο. Μετά το πέρας αυτού του 24ώρου, υπάρχει δεύτερη εφεδρεία αποτελούμενη από H/Z, αντίστοιχης ισχύος. Εγκατεστημένος βρίσκεται επίσης μετεωρολογικός σταθμός για την τροφοδότηση με δεδομένα ημερήσιων μοντέλων πρόβλεψης της αναμενόμενης αιολικής παραγωγής, τα οποία και εκδίδονται ανά 24ωρο. Τέλος, οι ιδιοκαταναλώσεις του σταθμού ανέρχονται περίπου στα 1-2kW για χρήση φωτισμού, H/Y συστημάτων, ψύξης χώρου κλπ, τα οποία καταναλώνονται από την παραγωγή του ίδιου του έργου και όχι από το δίκτυο της Ικαρίας, και φυσικά είναι τόσο μικρές που θεωρούνται αμελητέες μπροστά στα ποσά της παραγόμενης ενέργειας.

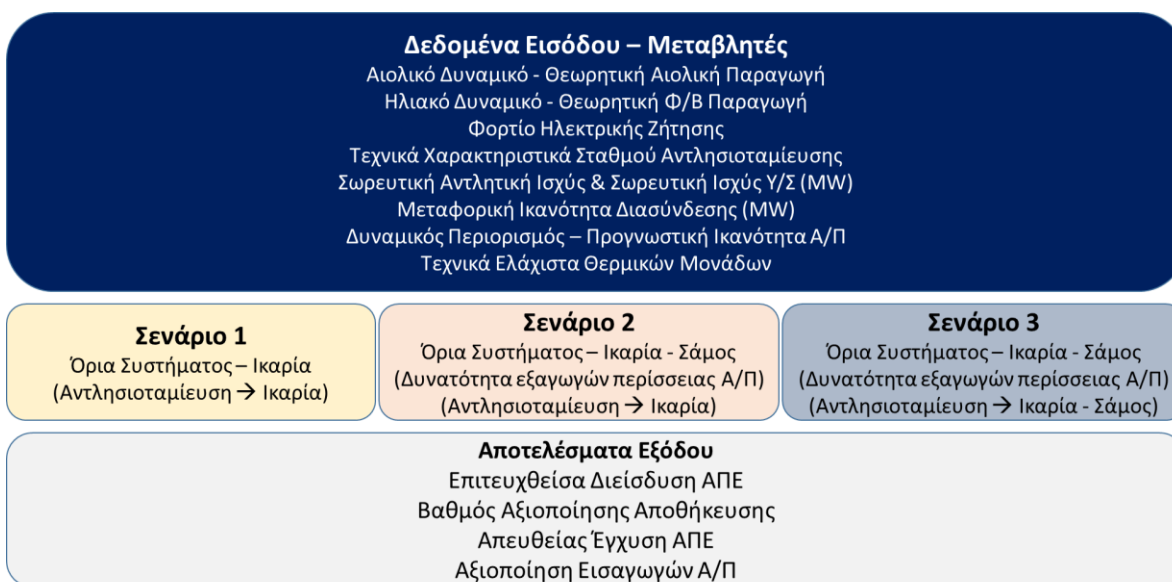


*Εικόνα 21: Παρουσίαση Τμημάτων Υβριδικού Ενεργειακού Έργου Ικαρίας - Ναέρας*

## **Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Μεθοδολογία**

## 5.1 Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Το μεθοδολογικό πλαίσιο που ακολουθήθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας συνοψίζεται στο μπλοκ διάγραμμα του **Σχήματος 5**, και συνίσταται στην εφαρμογή τριών βασικών σεναρίων – στρατηγικών διαχείρισης, ως ακολούθως:



Σχήμα 5: Μεθοδολογικό πλαίσιο της υπό μελέτη εφαρμογής

1. Σενάριο 1: Σύμφωνα με το Σενάριο 1, το ηλεκτρικό σύστημα της Ικαρίας εξετάζεται ως ανεξάρτητο, μη λαμβάνοντας δηλαδή υπόψη το ενδεχόμενο διασύνδεσης με το νησί της Σάμου. Υπό το πλαίσιο του Σεναρίου 1, όπως και στα υπόλοιπα σενάρια, ο υφιστάμενος σταθμός αντλησιοταμίευσης αντιμετωπίζεται διακριτά σε σχέση με τα Α/Π, υποδεχόμενος τις περικοπές αιολικής ενέργειας με βάση τους περιορισμούς των τεχνικών ελαχίστων<sup>1</sup> και του δυναμικού περιορισμού<sup>2</sup>, και συνεισφέροντας στην κάλυψη του φορτίου με βάση το

<sup>1</sup> Για απλοποίηση των υπολογισμών, τα ωριαία τεχνικά ελάχιστα υπολογίζονται ως ποσοστό επί της μέγιστης εμφανιζόμενης ζήτησης ανά ημέρα. Το τελευταίο, παραμετροποιείται με εύρος μεταβολής από 0%-100% ώστε να περιγράψει διαφορετικό βαθμό προσφερόμενης ευελιξίας από τις ενταγμένες θερμικές μονάδες του υπό εξέταση στόλου.

<sup>2</sup> Ο δυναμικός περιορισμός μελετάται επίσης εντός εύρους 0%-100%, επί της στιγμιαίας ζήτησης, αποδίδοντας με τον τρόπο αυτό διαφορετικό βαθμό προγνωστικής ικανότητας ως προς την αιολική παραγωγή. Πιο συγκεκριμένα, δυναμικός περιορισμός 100% θεωρείται ισοδύναμος με πρόγνωση απόλυτης ακρίβειας που επιτρέπει την απευθείας έγχυση της αιολικής παραγωγής στο τοπικό δίκτυο, υπό τον περιορισμό αποκλειστικά των τεχνικών ελαχίστων. Στον αντίποδα, μηδενισμός του δυναμικού περιορισμού ισοδυναμεί με αδυναμία πρόγνωσης της αιολικής παραγωγής, και ως εκ τούτου, η τελευταία δύναται να οδηγηθεί στην κατανάλωση αποκλειστικά και μόνο μέσω του κλάδου αποθήκευσης.



εμφανιζόμενο περιθώριο από την άθροιση της απευθείας αποδιδόμενης αιολικής ενέργειας και των τεχνικών ελαχίστων των θερμικών μονάδων. Τέλος, το όποιο δευτερογενές έλλειμμα, κατόπιν και της συνεισφοράς της αντλησιοταμιευτικής μονάδας (η οποία περιορίζεται από την εγκατεστημένη ισχύ των υδροστροβίλων και τα διαθέσιμα αποθέματα ενέργειας), θεωρείται ότι καλύπτεται από τις θερμικές μονάδες.

2. Σενάριο 2: Σύμφωνα με το Σενάριο 2, το ηλεκτρικό σύστημα της Ικαρίας εξετάζεται ως διασυνδεδεμένο με το νησί της Σάμου, με την μεταφορική ικανότητα της διασύνδεσης να αντιμετωπίζεται ως μεταβλητή του προβλήματος. Υπό το πλαίσιο του Σεναρίου 2, είναι δυνατή η εξαγωγή περίσσειας αιολικής ενέργειας (περικοπτόμενης) από την Ικαρία στη Σάμο και αντίστροφα, σεβόμενοι την μεταφορική ικανότητα της γραμμής διασύνδεσης και τη μη ταυτοχρονισμένη εξαγωγή-εισαγωγή ενέργειας μεταξύ των δύο συστημάτων. Οι εισαγωγές αιολικής ενέργειας ανά σύστημα εξετάζονται εν συνεχεία στη βάση των υφιστάμενων περιορισμών λειτουργίας, ενισχύοντας την απευθείας διείσδυση της αιολικής παραγωγής στον επιτρεπτό κάθε φορά βαθμό. Αναφορικά με την περίπτωση της Ικαρίας, οι εισαγωγές αιολικής ενέργειας από τη Σάμο, οι οποίες δεν μπορούν να αξιοποιηθούν στο πλαίσιο απευθείας κάλυψης του ηλεκτρικού φορτίου της Ικαρίας, χρησιμοποιούνται για την λειτουργία του αντλιοστασίου του σταθμού αντλησιοταμίευσης. Την ίδια στιγμή, σημειώνεται ότι ο σταθμός αντλησιοταμίευσης συνδράμει, από άποψη παραγωγής ενέργειας, αποκλειστικά στο σύστημα της Ικαρίας.
3. Σενάριο 3: Σύμφωνα με το Σενάριο 3, το ηλεκτρικό σύστημα της Ικαρίας εξετάζεται ως διασυνδεδεμένο με το νησί της Σάμου, όπως και στο Σενάριο 2. Η διαφοροποίηση που εισάγει το Σενάριο 3 αφορά στην λειτουργία του σταθμού αντλησιοταμίευσης, και πιο συγκεκριμένα τη δυνατότητα κάλυψης ηλεκτρικού φορτίου και της Σάμου (εγγυημένες εξαγωγές ενέργειας), επιπρόσθετα της Ικαρίας. Στο πλαίσιο αυτό, η κάλυψη φορτίων της Ικαρίας προτεραιοποιείται, ενώ η δυνατότητα εξαγωγής προς τη Σάμο ελέγχεται με βάση την μεταφορική ικανότητα της γραμμής και τον περιορισμό της μη ταυτόχρονης εισαγωγής αιολικής ενέργειας από τη Σάμο στην Ικαρία.

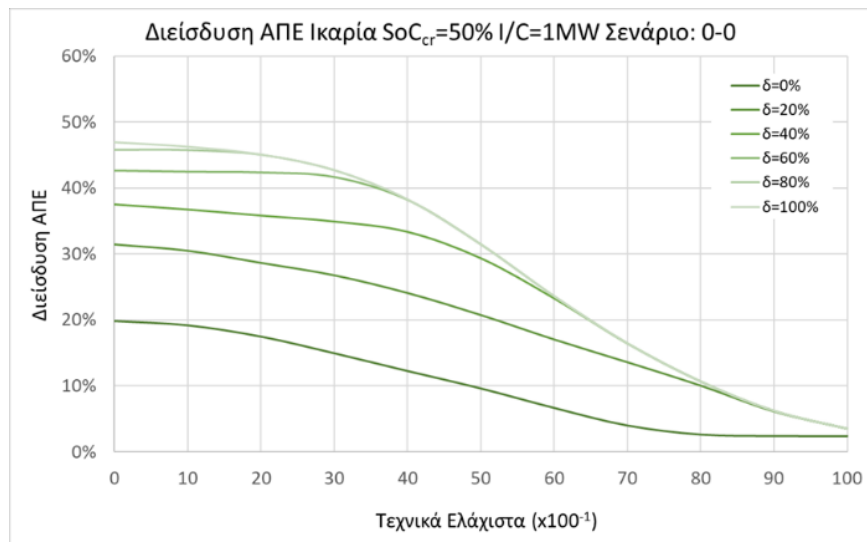
Στη συνέχεια, τα ανωτέρω σενάρια εξετάζονται στη βάση παραμετρικής ανάλυσης, με διαφοροποίηση κεντρικών παραμέτρων όπως τα τεχνικά ελάχιστα και ο δυναμικός περιορισμός, και η διερεύνηση παράλληλα της επίδρασης παραμέτρων όπως η μεταφορική ικανότητα της γραμμής διασύνδεσης μεταξύ Ικαρίας και Σάμου, καθώς και η κρίσιμη στάθμη

του σταθμού αντλησιοταμίευσης  $SOC_{cr}$ , με βάση την οποία προτεραιοποιείται η διαδικασία φόρτισης έναντι της εκφόρτισης, για τιμές στάθμης μικρότερες-ίσες αυτής. Τα δε αποτελέσματα εφαρμογής αξιολογούνται για καθένα από τα σενάρια και ηλεκτρικά συστήματα μέσω δεικτών όπως η επιτευχθείσα διείσδυση ΑΠΕ, η συνεισφορά του σταθμού αντλησιοταμίευσης, η απευθείας έγχυση αιολικών και οι αξιοποιηθείσες εισαγωγές αιολικής ενέργειας. Η ανάλυση των τελευταίων πραγματοποιείται στο ακόλουθο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο της εργασίας, με παρουσίαση κατάλληλων διαγραμμάτων παραμετρικού χαρακτήρα.

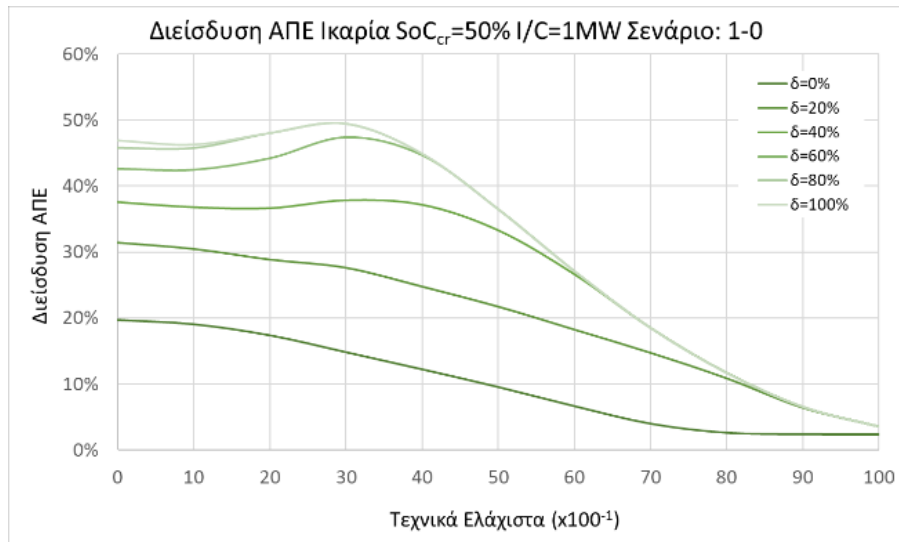
## **Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Αποτελέσματα Εφαρμογής**

Σε συνέχεια των ανωτέρω, στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής ανά ηλεκτρικό σύστημα και εξεταζόμενο σενάριο. Όπως προαναφέρθηκε, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην ενεργειακή αξιολόγηση του προβλήματος υπό την εφαρμογή ταυτόχρονα παραμετρικής ανάλυσης για βασικές συνιστώσες του προβλήματος όπως τα τεχνικά ελάχιστα και το δυναμικό περιορισμό (οι επιλεγθείσες τιμές, εφαρμόζονται και στα δύο ηλεκτρικά συστήματα ταυτόχρονα), καθώς και μέσω υπολογισμού δεικτών όπως η επιτευχθείσα διείσδυση ΑΠΕ, η συνεισφορά του σταθμού αντλησιοταμίευσης, η συνεισφορά της απευθείας έγχυσης αιολικής παραγωγής και η συνεισφορά των εισαγωγών αιολικής ενέργειας.

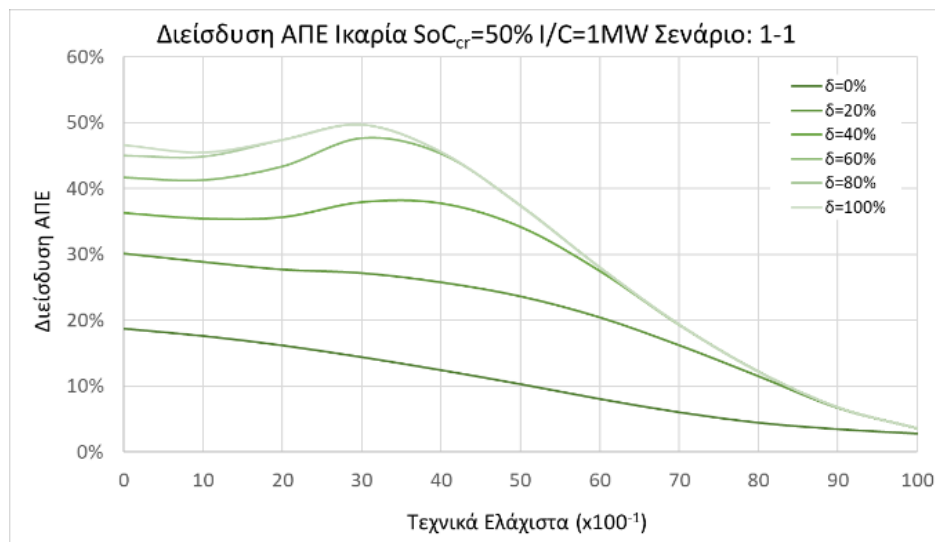
### 6.1 Διείσδυση ΑΠΕ στο νησί της Ικαρίας



Γράφημα 6: Διείσδυση ΑΠΕ Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 1



Γράφημα 7: Δεισδύση ΑΠΕ Ικαρίας συναρτήσεσι των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 2



Γράφημα 8: Δεισδύση ΑΠΕ Ικαρίας συναρτήσεσι των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3

Στα παραπάνω γραφήματα, και για τα τρία σενάρια, απεικονίζεται η διείσδυση των ΑΠΕ σε σχέση με τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μονάδων, για το νησί της Ικαρίας. Αρχικά, εξετάζουμε την διείσδυση των ΑΠΕ θεωρώντας την ελάχιστη (κρίσιμη) στάθμη φόρτισης των ταμιευτήρων ίση με 50% και την ισχύ διασύνδεσης με την Σάμο ίση με 1 MW.

Με βάση αυτά, παρατηρούμε πως και για τα τρία σενάρια ισχύει, κατά κανόνα, ότι όσο αυξάνονται τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μονάδων η διείσδυση των ΑΠΕ μειώνεται, και

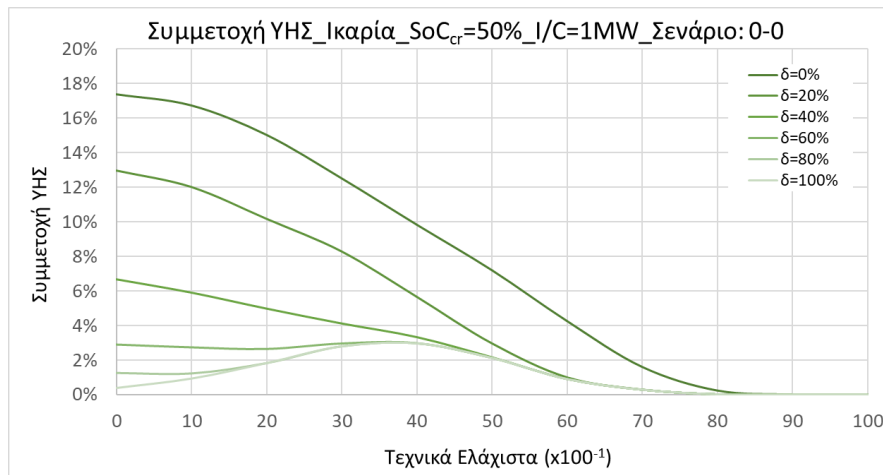
αυτό οφείλεται στο ότι όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό των τεχνικών ελαχίστων των θερμικών μονάδων, τόσο μεγαλύτερη, επιβεβλημένη κάλυψη φορτίου έχουμε από τις θερμικές μονάδες. Την ίδια στιγμή, υπό την εφαρμογή των Σεναρίων 2 και 3 παρατηρείται μεγιστοποίηση της διείσδυσης των ΑΠΕ για τεχνικά ελάχιστα στα επίπεδα του 30%-40%, στο εύρος 40% έως 100% για το δυναμικό περιορισμό, γεγονός το οποίο εξηγείται από την εμφάνιση περικοπών στο νησί της Σάμου, οι οποίες αξιοποιούνται ως εισαγωγές για το νησί της Ικαρίας. Στον αντίποδα, για μεγαλύτερες τιμές τεχνικών ελαχίστων, οι τελευταίες φαίνεται να επικρατούν έναντι της εμφάνισης εντονότερων περικοπών αιολικής ενέργειας, οδηγώντας εν τέλει σε μείωση της διείσδυσης των ΑΠΕ.

Αναφορικά με την μέγιστη τιμή επιτευχθείσας διείσδυσης ΑΠΕ, για το Σενάριο 1 είναι ίση με 46,95%, και εντοπίζεται για εύρος τεχνικών ελαχίστων 0-10% και  $\delta=100\%$ , όπου με  $\delta$  συμβολίζουμε τον δυναμικό περιορισμό. Στην ουσία ο δυναμικός περιορισμός αφορά την ικανότητα πρόγνωσης των ΑΠΕ και έτσι θεωρούμε ότι για  $\delta=0\%$  έχουμε αβέβαιη ικανότητα πρόγνωσης ΑΠΕ, ενώ για  $\delta=100\%$  έχουμε βέβαιη (κατανεμόμενη) ικανότητα πρόβλεψης των ΑΠΕ.

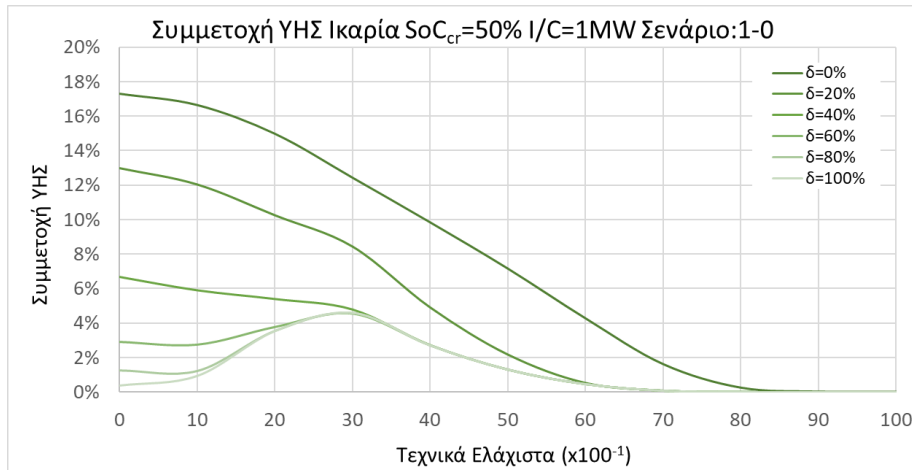
Για το Σενάριο 2, έχουμε μέγιστη διείσδυση ΑΠΕ ίση με 49,48% και για το Σενάριο 3 49,73%, για εύρος τεχνικών ελαχίστων 30-40% και  $\delta=100\%$  και πάλι. Αυτό που παρατηρείται είναι πως όταν εισάγουμε τη δυνατότητα διασύνδεσης των δύο νησιών, υπάρχει σημαντική αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ τοπικά στην Ικαρία, εξαιτίας της αξιοποίησης πλεονάσματος αιολικής παραγωγής από την πλευρά της Σάμου. Την ίδια στιγμή, μέσω της σύγκρισης των Σεναρίων 2 και 3, προκύπτει αμελητέα διαφορά ως προς την επιτευχθείσα διείσδυση ΑΠΕ, δεδομένης και της προτεραιοποίησης που επιβάλλεται στο Σενάριο 3 αναφορικά με την κάλυψη, από το σταθμό της αντλησιοταμίευσης, πρώτα της ηλεκτρικής κατανάλωσης της Ικαρίας, και δευτερευόντως της Σάμου.

## 6.2 Συμμετοχή ΥΗΣ στο νησί της Ικαρίας

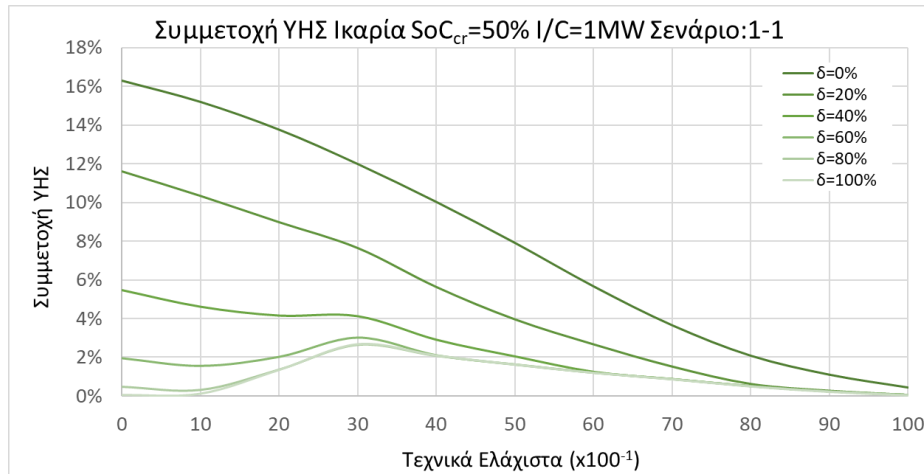
Στα παρακάτω γραφήματα, για τα τρία σενάρια, απεικονίζεται η συμμετοχή ΥΗΣ σε σχέση με τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μονάδων, για το νησί της Ικαρίας. Και για αυτήν την κατηγορία γραφημάτων θεωρούμε πως η ελάχιστη στάθμη φόρτισης των ταμιευτήρων είναι ίση με το 50% της συνολικής στάθμης και η ισχύς διασύνδεσης των δύο νησιών ίση με 1 MW.



Γράφημα 10: Συμμετοχή ΥΗΣ Ικαρίας συναρτήσεως των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 1



Γράφημα 11: Συμμετοχή ΥΗΣ Ικαρίας συναρτήσεως των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 2



Γράφημα 12: Συμμετοχή ΥΗΣ Ικαρίας συναρτήσεσι των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3

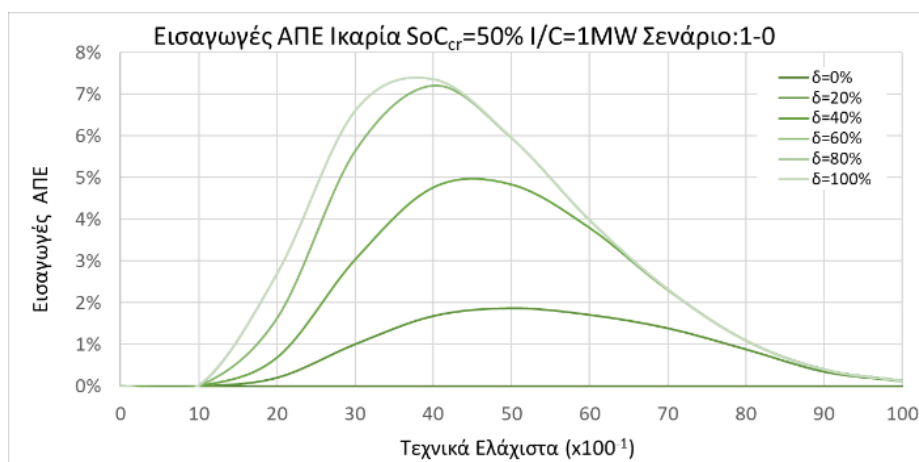
Στα συγκεκριμένα γραφήματα, βλέπουμε πως όσο πιο αβέβαιη είναι η ικανότητα πρόγνωσης της παραγωγής των ΑΠΕ και άρα όσο μειώνεται ο δυναμικός περιορισμός, το  $\delta$ , τόσο μεγαλύτερη η συμμετοχή των υδροστροβίλων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, είναι εμφανές πως όταν έχουμε χαμηλή συμμετοχή των θερμικών μονάδων με τεχνικά ελάχιστα από 0-10%, εμφανίζεται η μέγιστη συμμετοχή των υδροστροβίλων με αυτή να είναι μεταξύ του 16-18% και για τα τρία σενάρια διασύνδεσης.

Τέλος, παρατηρούμε πως για το εύρος δυναμικού περιορισμού από 0% έως 60% καθώς αυξάνονται τα τεχνικά ελάχιστα, και άρα συμμετέχουν περισσότερο οι θερμικές μονάδες στην παραγωγή, η συμμετοχή των υδροστροβίλων εμφανίζει καθοδική πορεία και στο τέλος είναι σχεδόν μηδενική. Στην περίπτωση όμως που το  $\delta$  είναι ίσο με 80% και 100%, και τα τεχνικά ελάχιστα τοποθετούνται στα επίπεδα του 30% υπάρχει μία αύξηση της συμμετοχής του ΥΗΣ. Αυτό εξηγείται αφενός από την παρουσία ικανού δυναμικού περικοπών λόγω της τιμής των τεχνικών ελαχίστων, αφετέρου από τη συγκράτηση των τεχνικών ελαχίστων σε τέτοιο βαθμό που δεν οδηγούμαστε στην μείωση του περιθωρίου συμμετοχής του ΥΗΣ, επιτρέποντας παράλληλα την απευθείας έγχυση αιολικής παραγωγής. Η εν λόγω συμπεριφορά εκλείπει στις καμπύλες για  $\delta=0\%$  και  $\delta=20\%$ , οπότε και εξαιτίας της εκ των προτέρων περικοπής της αιολικής παραγωγής ολοκληρωτικά και σε μεγάλο βαθμό αντίστοιχα, ο ΥΗΣ λειτουργεί συμπληρωματικά των θερμικών μονάδων, παρακολουθώντας τη βαθμιαία αύξηση των τεχνικών ελαχίστων.

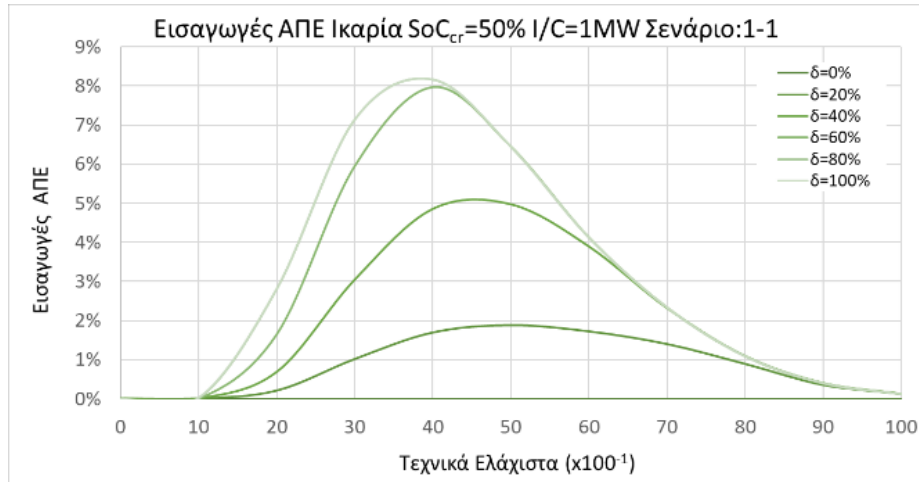


### 6.3 Εισαγωγές ΑΠΕ στο νησί της Ικαρίας

Στα παρακάτω γραφήματα, απεικονίζονται οι εισαγωγές ΑΠΕ (περίσσεια αιολικής παραγωγής) σε σχέση με τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μονάδων, για το νησί της Ικαρίας. Θεωρούμε πως η ελάχιστη στάθμη φόρτισης των ταμειωτήρων είναι ίση με το 50% της συνολικής στάθμης και η ισχύς διασύνδεσης των δύο νησιών ίση με 1 MW. Αρχικά, παρατηρούμε πως για τα Σενάρια 2 και 3, τα γραφήματα παρουσιάζουν τις ίδιες καμπύλες, με την μέγιστη εισαγωγή ΑΠΕ να εμφανίζεται για δυναμικό περιορισμό  $\delta=100\%$  και τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μονάδων στα επίπεδα του 40%. Όπως επίσης είναι όμοιο και στις δύο περιπτώσεις ότι για  $\delta=0\%$  έχουμε μηδενικές εισαγωγές ΑΠΕ σε όλο το φάσμα των τεχνικών ελαχίστων. Το εν λόγω αποτέλεσμα οφείλεται σε περιορισμό του αλγορίθμου επίλυσης, με βάση τον οποίο σε ενδεχόμενη εμφάνιση ταυτόχρονης περίσσειας αιολικής ενέργειας και στα δύο συστήματα, δεν προτεραιοποιείται η εξαγωγή ενέργειας προς ένα από τα δύο, και ως εκ τούτου, η συνολική περίσσεια παραμένει αναξιοποίητη. Τέλος, βλέπουμε πως σε όλα τα γραφήματα η καμπύλη ακολουθεί ένα σταθερό σχετικά μοτίβο, για όλες τις τιμές του δυναμικού περιορισμού. Πιο συγκεκριμένα, εκκινεί από μηδενικές εισαγωγές ΑΠΕ για χαμηλές τιμές τεχνικών ελαχίστων, παρουσιάζει μία κορυφή στην περιοχή 30-40% των τεχνικών ελαχίστων και στην συνέχεια μειώνεται ξανά, ώσπου και μηδενίζει.



Γράφημα 13: Εισαγωγές ΑΠΕ Ικαρίας συναρτήσεϊ των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 2

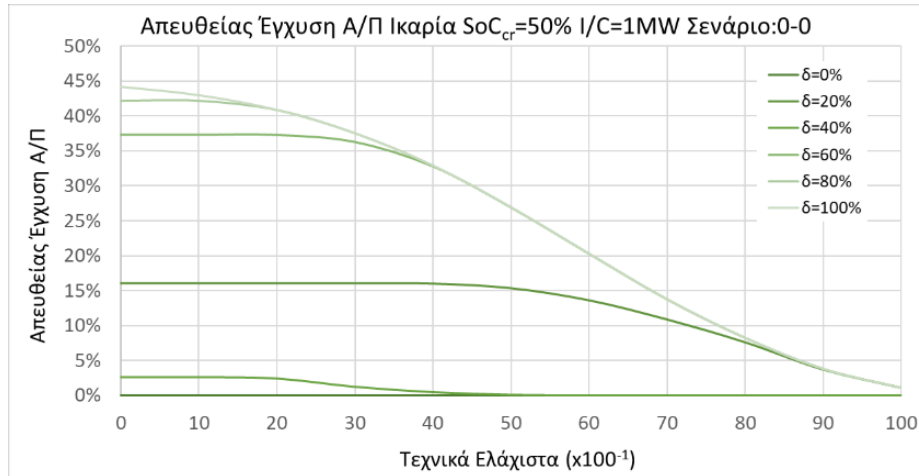


Γράφημα 14: Εισαγωγές ΑΠΕ Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3

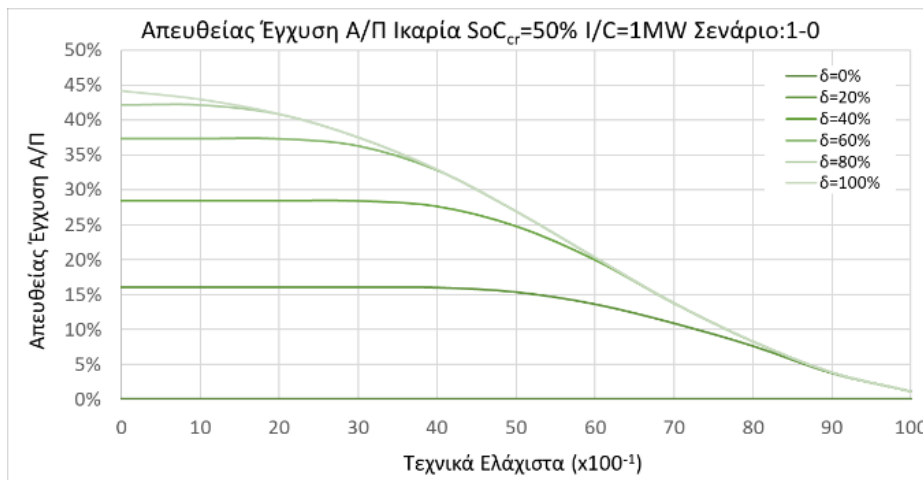
## 6.4 Απευθείας Έγχυση Α/Π στο νησί της Ικαρίας

Στα παρακάτω γραφήματα, και για τα τρία σενάρια, απεικονίζεται η απευθείας έγχυση αιολικής παραγωγής σε σχέση με τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μονάδων, για το νησί της Ικαρίας. Εξετάζουμε την απευθείας έγχυση Α/Π, λαμβάνοντας υπόψη και τις αξιοποιήσιμες εισαγωγές από το σύστημα της Σάμου, θεωρώντας την ελάχιστη στάθμη φόρτισης των ταμειυτήρων ίση με 50% και την ισχύ διασύνδεσης με την Σάμο ίση με 1MW.

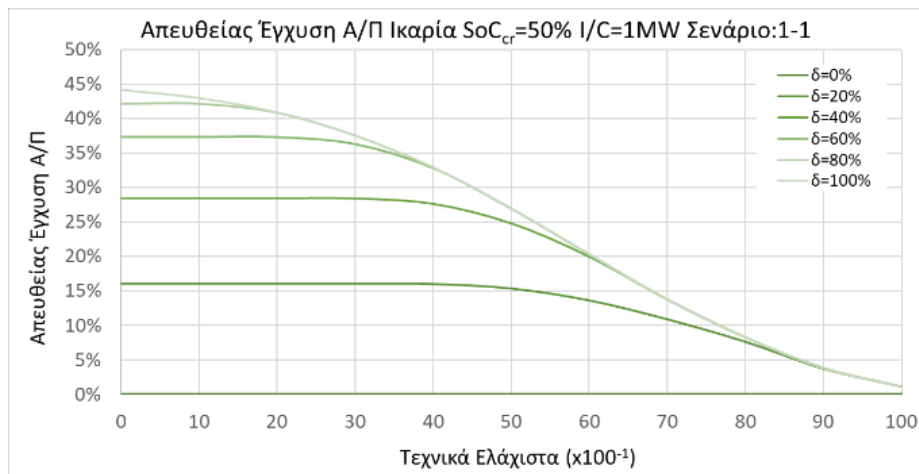
Παρατηρούμε πως και στις τρεις περιπτώσεις η έγχυση της αιολικής παραγωγής συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο, το οποίο σημαίνει πως όσο καλύτερη είναι η ικανότητα πρόγνωσης της παραγωγής των αιολικών, δηλαδή μεγαλύτερο  $\delta$ , τόσο υψηλότερο είναι και το ποσοστό της απευθείας έγχυσης της αιολικής παραγωγής ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα της Ικαρίας, για την κάλυψη του φορτίου. Με βάση τα παραπάνω, η μέγιστη έγχυση αιολικής ενέργειας στο σύστημα της Ικαρίας είναι ίση με 44%, για δυναμικό περιορισμό 100% δηλαδή πλήρως βέβαιη πρόγνωση των ΑΠΕ και για τεχνικά ελάχιστα θερμικών μονάδων 0-10%. Από την άλλη, για  $\delta=0\%$ , δηλαδή μηδενική πρόγνωση της αιολικής παραγωγής, όπως είναι αναμενόμενο έχουμε και μηδενική έγχυση Α/Π για όλο το φάσμα των τεχνικών ελαχίστων των θερμικών μονάδων. Τέλος, όσο αυξάνεται η τιμή των τεχνικών ελαχίστων η απευθείας έγχυση της αιολικής παραγωγής μειώνεται, όπου όταν η τιμή των τεχνικών ελαχίστων γίνεται 100%, η έγχυση μηδενίζεται, αφού την κάλυψη του φορτίου την αναλαμβάνουν αποκλειστικά οι θερμικές μονάδες, ενώ μεταξύ των Σεναρίων 1 και 2-3, εντοπίζονται σημαντικές διαφορές για επίπεδα  $\delta=40\%$ , οπότε και η δυνατότητα ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ Σάμου και Ικαρίας οδηγεί σε αύξηση της απευθείας έγχυσης αιολικής παραγωγής στην Ικαρία.



Γράφημα 15: Απευθείας Έγχυση Α/Π συναρτήσεσι των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 1



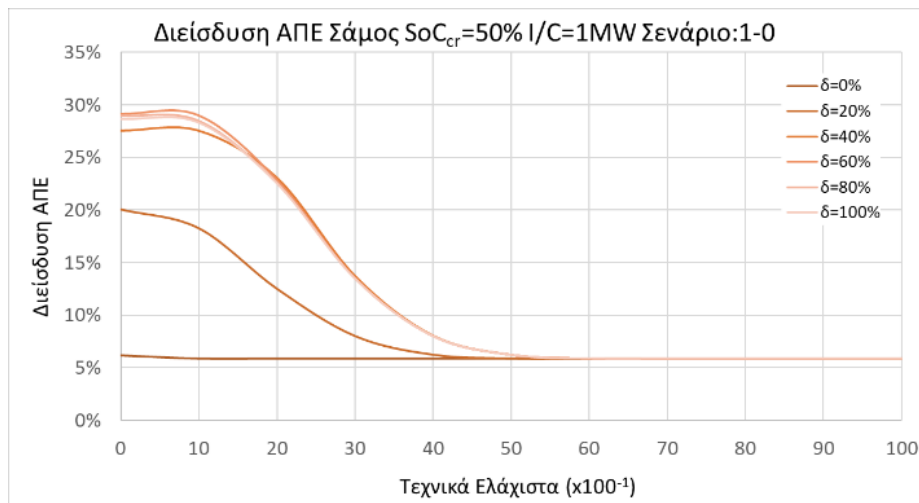
Γράφημα 16: Απευθείας Έγχυση Α/Π Ικαρίας συναρτήσεσι των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 2



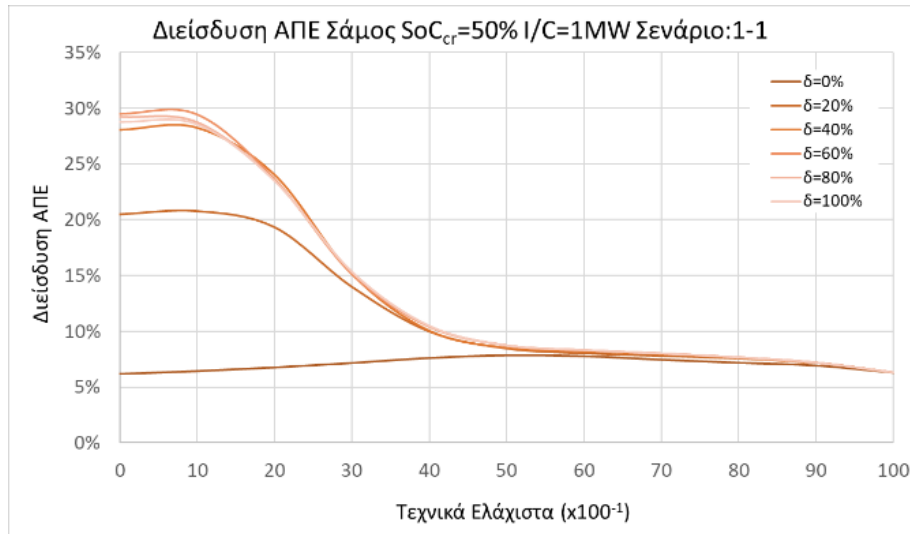
Γράφημα 17: Απευθείας Έγχυση Α/Π Ικαρίας συναρτήσεσι των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3

## 6.5 Διείσδυση ΑΠΕ στο νησί της Σάμου

Στα παρακάτω δύο γραφήματα παρουσιάζεται η διείσδυση των ΑΠΕ σε σχέση με τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μονάδων της Σάμου για τα δύο σενάρια διασύνδεσης (Σενάριο 2 και 3). Αρχικά, εξετάζουμε την διείσδυση των ΑΠΕ θεωρώντας την ελάχιστη στάθμη φόρτισης των ταμειωτήρων ίση με 50% και την ισχύ διασύνδεσης με την Ικαρία ίση με 1MW. Με βάση αυτά, παρατηρούμε πως και στα δύο σενάρια ισχύει ότι όσο αυξάνονται τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μονάδων η διείσδυση των ΑΠΕ μειώνεται, από το σημείο όμως που η τιμή των ΤΕ είναι 50% και έπειτα έως και το 100%, η διείσδυση των ΑΠΕ παραμένει σταθερή στο 5,86%.



Γράφημα 18: Διείσδυση ΑΠΕ Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το σενάριο Σενάριο 2



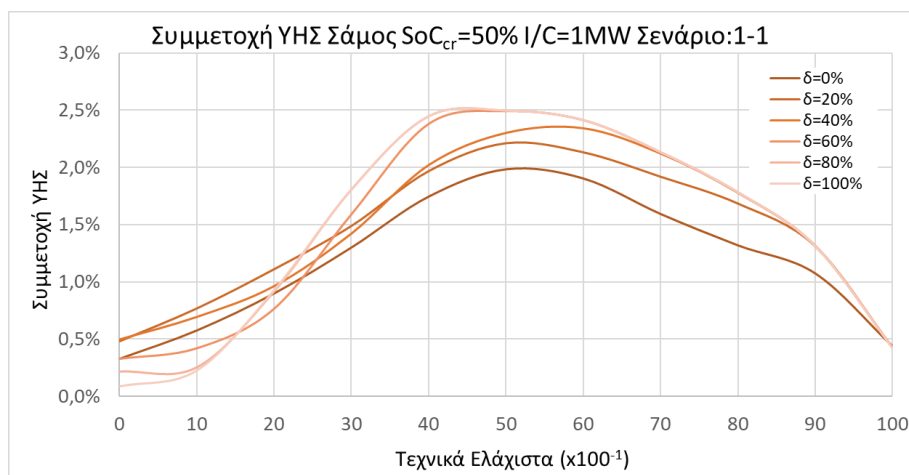
Γράφημα 19: Διείσδυση ΑΠΕ Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3

Η ελάχιστη αυτή τιμή διείσδυσης αποδίδεται στη συμμετοχή των υφιστάμενων Φ/Β μονάδων, η οποία εμφανίζεται σημαντικότερη της αντίστοιχης για την Ικαρία και η οποία δεν επιδέχεται περικοπές ενέργειας. Ακόμα, η μέγιστη διείσδυση των ΑΠΕ είναι ίση με 29,12% για το Σενάριο 2 και 29,50% για το Σενάριο 3, και εμφανίζεται για  $\delta=60\%$  και τεχνικά ελάχιστα μεταξύ 0-10%. Υπολείπεται δε σημαντικά της αντίστοιχης μέγιστης διείσδυσης ΑΠΕ που εμφανιζόταν στην Ικαρία (ίση με 49,48% για το Σενάριο 2 και 49,73% για το Σενάριο 3), αποτέλεσμα που αντανακλά στη σημασία αξιοποίησης αποθηκευτικών μέσων για την περαιτέρω ενίσχυση της τοπική παραγωγής ΑΠΕ. Την ίδια στιγμή, μεταξύ των Σεναρίων 2 και 3, παρατηρείται αύξηση της επιτευχθείσας διείσδυσης για  $\delta=20\%$ , αναδεικνύοντας τη θετική συνεισφορά του σταθμού αντλησιοταμίευσης και ως προς το σύστημα της Σάμου, αν και υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

Ακόμα, σε αντίθεση με την Ικαρία, βλέπουμε πως η μέγιστη διείσδυση ΑΠΕ της Σάμου εμφανίζεται σε χαμηλότερο ποσοστό τεχνικών ελαχίστων μεταξύ 0-10%, αντί του 30% της Ικαρίας, γεγονός που και πάλι αποδίδεται στην παρουσία αποθηκευτικού μέσου η λειτουργία του οποίου αφενός προϋποθέτει την ύπαρξη περικοπών, αφετέρου κατορθώνει και υποκαθιστά αποτελεσματικά τη θερμική παραγωγή μέχρι ενός ορίου τεχνικών ελαχίστων.

## 6.6 Συμμετοχή ΥΗΣ στο νησί της Σάμο

Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει την συμμετοχή του ΥΗΣ συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων των θερμικών μονάδων της Σάμου, για το Σενάριο 3. Αρχικά, παρατηρούμε πως σε σχέση με το αντίστοιχο της Ικαρίας, το συγκεκριμένο λειτουργεί ανάποδα. Δηλαδή, η μέγιστη συμμετοχή των υδροστροβίλων εμφανίζεται για  $\delta=100\%$  και όχι για  $\delta=0\%$ . Ακόμα, μία ειδοποιός διαφορά είναι το ποσοστό της συμμετοχής του ΥΗΣ στο σύστημα του κάθε νησιού, καθώς βλέπουμε πως για την Σάμο είναι πολύ μικρή μεταξύ του 0,5% το ελάχιστο με 2,5% το μέγιστο, ενώ της Ικαρίας φτάνει έως 17%.

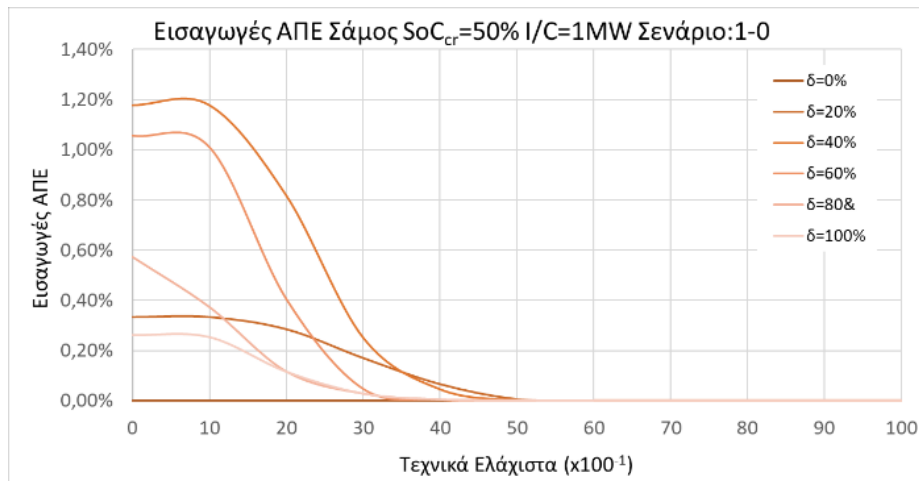


Γράφημα 20: Συμμετοχή ΥΗΣ Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3

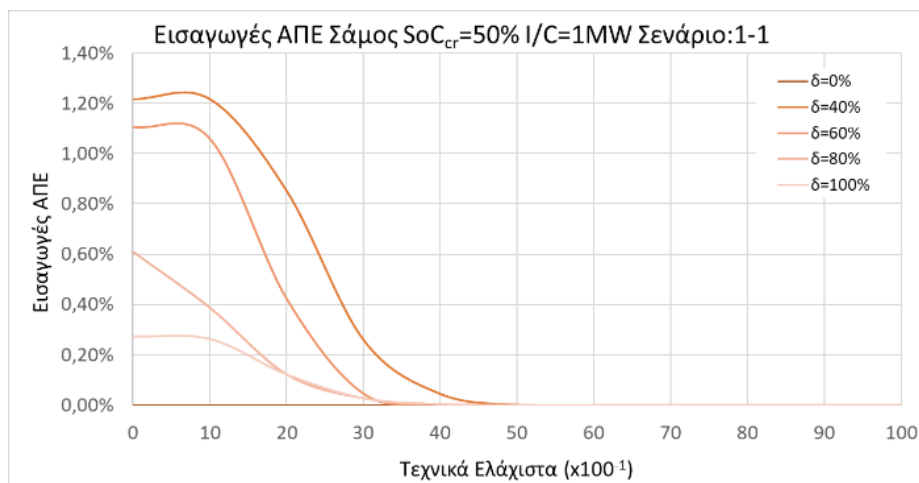
Κάτι αναμενόμενο, καθώς ως προτεραιότητα του σταθμού έχει τεθεί η κάλυψη των φορτίων της Ικαρίας, με την εξαγωγή εγγυημένης ενέργειας προς τη Σάμο να ακολουθεί στο βαθμό που αυτό είναι εφικτό, είτε λόγω διαθέσιμου περιθωρίου στιγμιαίας παραγωγής (με βάση την ισχύ των υδροστροβίλων), είτε λόγω διαθέσιμων αποθεμάτων ενέργειας στον ταμιευτήρα. Εξάλλου, υπενθυμίζεται πως το σύστημα της Σάμου εμφανίζει ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας η οποία είναι τετραπλάσια – πενταπλάσια της αντίστοιχης για το σύστημα της Ικαρίας, γεγονός που καθιστά την συνεισφορά του σταθμού αντλησιοταμίευσης σε απόλυτα μεγέθη στη Σάμο, συγκρίσιμη με αυτή της Ικαρίας.

## 6.7 Εισαγωγές ΑΠΕ στο νησί της Σάμου

Στα παρακάτω δύο γραφήματα απεικονίζονται οι εισαγωγές των ΑΠΕ σε σχέση με τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μονάδων της Σάμου για τα Σενάρια 2 και 3. Αρχικά, εξετάζουμε την διείσδυση των ΑΠΕ θεωρώντας την ελάχιστη στάθμη φόρτισης των ταμιευτήρων ίση με 50% και την ισχύ διασύνδεσης με την Ικαρία ίση με 1MW. Αυτό που διαπιστώνεται, είναι η περιορισμένη συνεισφορά των αιολικών εισαγωγών, μέχρι τα επίπεδα του 1%, και για περιορισμένο εύρος τεχνικών ελαχίστων, έως το 30%-40%, επικαλούμενοι και πάλι τη διαφορά κλίμακας μεταξύ των δύο υπό εξέταση ηλεκτρικών συστημάτων.



Γράφημα 21: Εισαγωγές ΑΠΕ Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 2

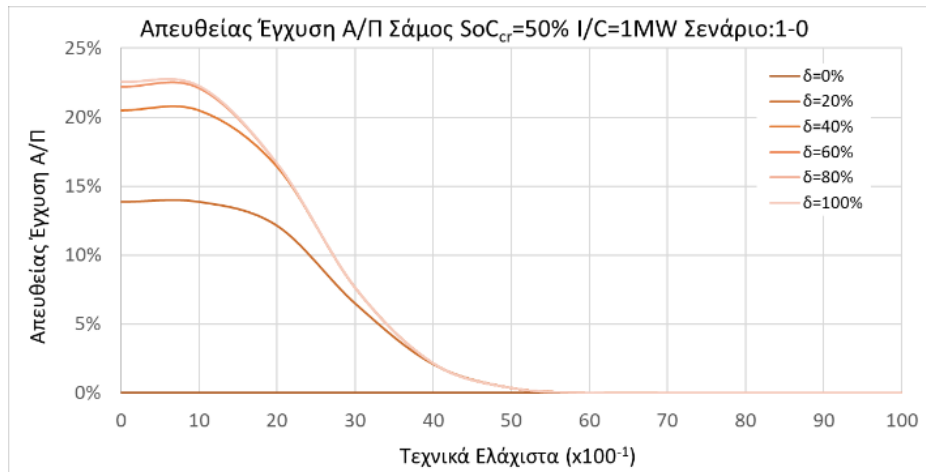


Γράφημα 22: Εισαγωγές ΑΠΕ Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3

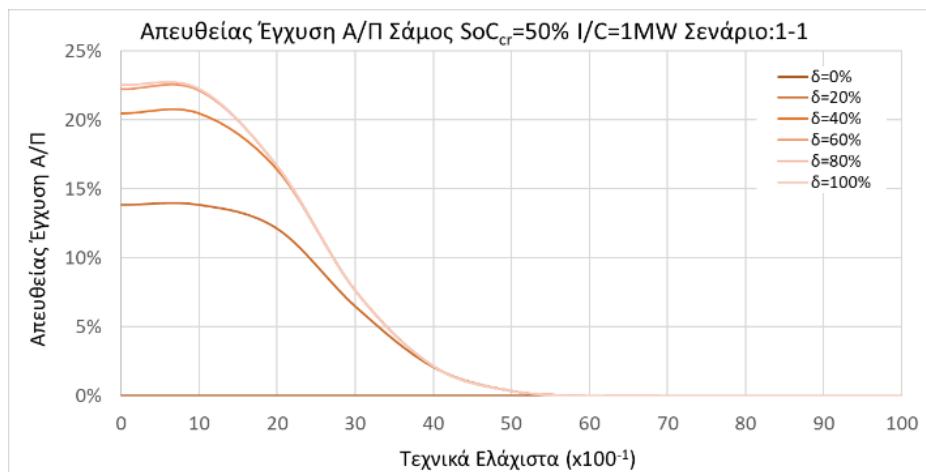


## 6.8 Απευθείας Έγχυση Α/Π στο νησί της Σάμου

Στα παρακάτω δύο γραφήματα η απευθείας έγχυση αιολικής παραγωγής σε σχέση με τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μονάδων της Σάμου για τα Σενάρια 2 και 3. Η συμπεριφορά των καμπυλών εσωτερικά των γραφημάτων είναι η αναμενόμενη, με μεγιστοποίηση της αξιοποιούμενης αιολικής παραγωγής για μικρές τιμές τεχνικών ελαχίστων και μεγάλες τιμές δυναμικού περιορισμού. Οι τελευταίες μεγιστοποιούνται στα επίπεδα του 20%-25%, με το όποιο εναπομένει ποσοστό (βλέπε και παράγραφο 6.5) να αποδίδεται στη συμμετοχή των Φ/Β, στις εισαγωγές αιολικής ενέργειας από την Ικαρία, καθώς και στη συνεισφορά του σταθμού αντλησιοταμίευσης στην περίπτωση του Σεναρίου 3.



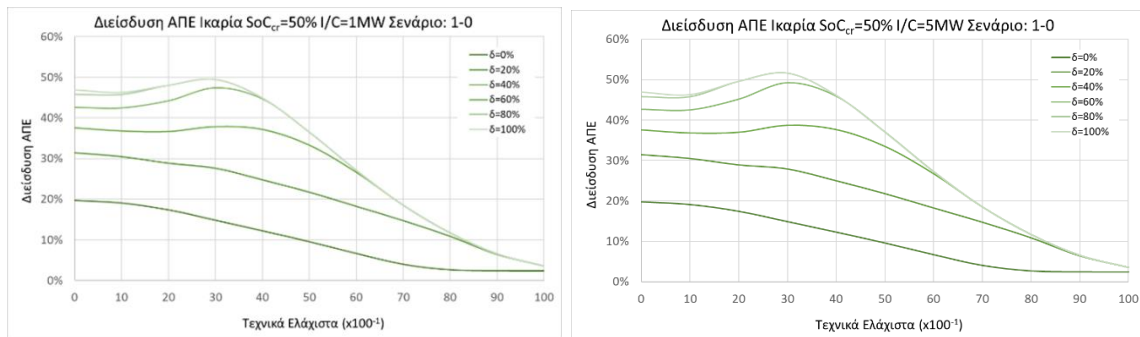
Γράφημα 23: Απευθείας Έγχυση Α/Π Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 2



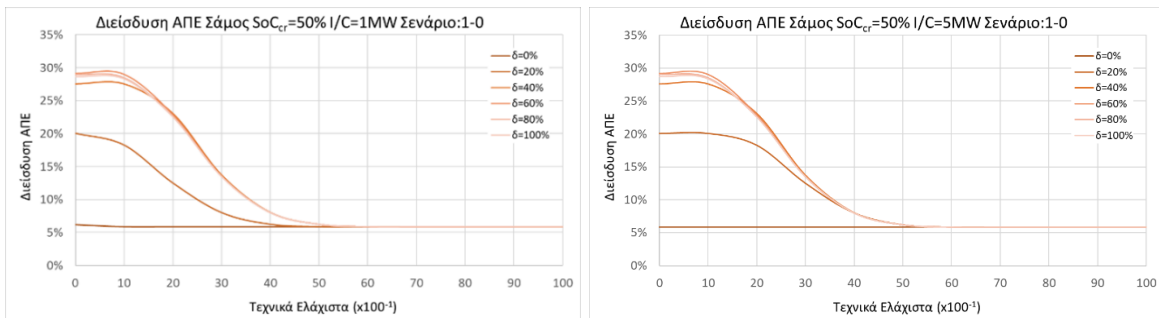
Γράφημα 24: Απευθείας Έγχυση Α/Π Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων για το Σενάριο 3

## 6.9 Επίδραση Μεταφορικής Ικανότητας Γραμμής Διασύνδεσης

Τέλος, στα ακόλουθα ζευγάρια γραφημάτων μελετάται η επίδραση της μεταφορικής ικανότητας της γραμμής διασύνδεσης, εφαρμόζοντας μεταβολή από 1 MW σε 5 MW, και λαμβάνοντας ως παράδειγμα το Σενάριο 2. Η εν λόγω αύξηση σηματοδοτεί οριακή αύξηση της διείσδυσης στο νησί της Ικαρίας, ενώ υποδηλώνει ικανή αύξηση για  $\delta=20\%$  στην περίπτωση της Σάμου. Σε κάθε περίπτωση όμως προκύπτει πως η ευαισθησία του εν λόγω δείκτη ως προς την μεταβολή της μεταφορικής ικανότητας εμφανίζει μικρή ευαισθησία, γεγονός που υποδεικνύει επίσης πως η όποια αύξηση πέραν του 1 MW για τις υπό μελέτη στρατηγικές διαχείρισης δεν επιφέρει σημαντική διαφοροποίηση.



Γράφημα 25: Διείσδυση ΑΠΕ Ικαρίας συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων διαφορετικής ισχύος γραμμής διασύνδεσης για το Σενάριο 2



Γράφημα 26: Διείσδυση ΑΠΕ Σάμου συναρτήσει των τεχνικών ελαχίστων διαφορετικής ισχύος γραμμής διασύνδεσης για το Σενάριο 2

## **Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>: Συμπεράσματα**

## 7.1 Ανακεφαλαίωση

Ανακεφαλαιώνοντας, στην παρούσα εργασία μελετήθηκε πρωτίστως η ανάγκη για υψηλότερη διείσδυση των ΑΠΕ στα ηλεκτρικά συστήματα, με στόχο την μείωση χρήσης των μέχρι τώρα συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που αφορούν στην πλειοψηφία τους κυρίως σε θερμικές μονάδες και αφετέρου ο συνδυασμός σταθμών ΑΠΕ με χρήση αποθήκευσης, προσδίδοντας σημαντική βελτίωση στο κομμάτι της διείσδυσης των ΑΠΕ και μεγαλύτερης ευελιξίας και σταθερότητας στα ηλεκτρικά συστήματα ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, τα παραπάνω, διερευνήθηκαν γύρω από την ένταξη τους στα ηλεκτρικά συστήματα των ΜΔΝ. Ακόμα, μελετήθηκαν οι υπάρχουσες διαθέσιμες τεχνολογίες αποθήκευσης, με επίκεντρο αυτή της αντλησιοταμίευσης, αποτελώντας την πιο ώριμη και καθιερωμένη τεχνολογία αποθήκευσης σε παγκόσμιο επίπεδο. Ακόμα, έγινε αναφορά στους δύο αντλησιοταμιευτικούς σταθμούς της χώρας μας, αυτούς της Σφηκιάς και του Θησαυρού, όπου η χρήση τους αφορά την εξάλειψη αιχμών. Επιπλέον, αναλύθηκε ο εν λειτουργία υβριδικός σταθμός Α/Π – αντλησιοταμίευσης, Ναέρας, της Ικαρίας, όπως επίσης και ο προκάτοχός του, αυτός του El Hierro. Αναφορικά με το υβριδικό ενεργειακό έργο Ικαρίας, το Ναέρα υπάρχει αναλυτική παρουσίαση των επιμέρους τμημάτων του, όπως αυτά παρουσιάστηκαν και σε εμένα, μετά την επίσκεψή μου σε αυτόν.

Έπειτα, ακολούθησε η συλλογή των δεδομένων που απαιτούνται για τη δημιουργία του μεθοδολογικού πλαισίου που ακολουθήθηκε στη συνέχεια και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από αυτό. Αρχικά, λάβαμε τα δεδομένα ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού, από τον διαχειριστή, για τα δύο νησιά Ικαρίας και Σάμου, σε ετήσια βάση, τα οποία αφορούν στην ανά ημέρα και ώρα καταγραφή του φορτίου ζήτησης, της αιολικής παραγωγής και της παραγωγής του υβριδικού σταθμού. Μέσω των παραπάνω δημιουργήθηκαν τα ενεργειακά προφίλ των νησιών αυτών, από τα οποία καταλάβαμε πως παρουσιάζουν έντονη εποχικότητα στα φορτία τους, λόγω του τουρισμού που υπάρχει τις θερινές περιόδους, καθώς παρουσιάζουν και σε συγκεκριμένες ώρες, ανά περίοδο (χειμερινή και θερινή) αιχμές φορτίων. Έτσι, είμαστε σε θέση να καταλάβουμε τις ενεργειακές ανάγκες τους σε επίπεδο ημέρας και ώρας, αλλά και την πλεονάζουσα ενέργεια που προκύπτει από την λειτουργία του υβριδικού σταθμού.

Στην συνέχεια, έχοντας τα ημερήσια ενεργειακά προφίλ των νησιών, προχωρήσαμε στην δημιουργία των τριών σεναρίων διασύνδεσης και στην παραμετρική ανάλυση, όπου θέσαμε

κεντρικούς παραμέτρους όπως τα τεχνικά ελάχιστα και ο δυναμικός περιορισμός, αλλά και παραμέτρους επίδρασης, όπως η κρίσιμη στάθμη του σταθμού αντλησιοταμίευσης  $SOC_{cr}$  και η μεταφορική ικανότητα της γραμμής διασύνδεσης μεταξύ Ικαρίας – Σάμου. Με βάση, τα τρία σενάρια διασύνδεσης και τις παραπάνω παραμέτρους δημιουργήθηκε το υπολογιστικό τμήμα της εργασίας και προέκυψαν τα αποτελέσματα αυτού, τα οποία διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες για κάθε σενάριο διασύνδεσης και αναλύονται στην επόμενη ενότητα.

## 7.2 Συμπεράσματα Αποτελεσμάτων Εφαρμογής

Αρχικά, η πρώτη κατηγορία αποτελεσμάτων αφορά στην διείσδυση των ΑΠΕ, ξεχωριστά για το νησί της Ικαρίας και της Σάμου και για τα τρία σενάρια διασύνδεσης. Σε ότι αφορά την διείσδυση των ΑΠΕ, λοιπόν, γενικά συμπεραίνουμε και για τις δύο περιπτώσεις νησιών, πως όσο αυξάνουμε τα τεχνικά ελάχιστα των θερμικών μονάδων, τόσο μειώνεται η διείσδυση των ΑΠΕ και αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη, επιβεβλημένη κάλυψη φορτίου που έχουμε από τις θερμικές μονάδες. Από την άλλη, παρατηρούμε πως το κομμάτι της αποθήκευσης παίζει καθοριστικό ρόλο, αφού η χρήση της αντλησιοταμίευσης της Ικαρίας αυξάνει τα ποσοστά διείσδυσης των ΑΠΕ, με μέγιστο το 50%, έναντι του 30% της Σάμου. Ακόμα, διαφορές εντοπίζονται και μεταξύ των σεναρίων διασύνδεσης για τα δύο νησιά (να σημειωθεί πως στην περίπτωση της Σάμου, δεν υπάρχει το πρώτο σενάριο διασύνδεσης, αφού σε αυτό εξετάζουμε μεμονωμένα το ηλεκτρικό σύστημα της Ικαρίας), ενώ για το Σενάριο 2 και 3 στην περίπτωση της Ικαρίας η διαφορά ως προς την επιτευχθείσα διείσδυση ΑΠΕ είναι αμελητέα, στην περίπτωση της Σάμου βλέπουμε πως αυτό διαφέρει και αυτό οφείλεται στο ότι για το Σενάριο 3 εισάγεται στο σύστημα της Σάμου και ο παράγοντας της αποθήκευσης και έτσι βλέπουμε μια αύξηση στην επιτευχθείσα διείσδυση των ΑΠΕ. Από τα παραπάνω, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, είναι άμεσα συνυφασμένη με την χρήση αποθήκευσης, αλλά και της ελαχιστοποίησης των τεχνικών ελαχίστων των θερμικών μονάδων.

Στην δεύτερη κατηγορία αποτελεσμάτων, παρουσιάζεται η συμμετοχή του υδροηλεκτρικού σταθμού, αναφορικά και πάλι με τα δύο νησιά και τα τρία σενάρια διασύνδεσης. Σημειώνεται πως σε αυτήν την κατηγορία, στην περίπτωση της Σάμου γίνεται αναφορά μόνο για το Σενάριο 3, όπου εισάγεται και η παράμετρος της αποθήκευσης. Συγκριτικά με το Σενάριο 3 για τα δύο νησιά,

έχουμε ως βασικό συμπέρασμα, πως η συμμετοχή του ΥΗΣ λειτουργεί ανάποδα, αφού στην περίπτωση της Ικαρίας η μέγιστη συμμετοχή του εμφανίζεται για μηδενικό περιορισμό, δηλαδή πλήρως αβέβαιη ικανότητα πρόγνωσης παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ (εύρημα το οποίο παρουσιάζεται και στα Σενάρια 1 και 2), ενώ στην περίπτωση της Σάμου εμφανίζεται για τον μέγιστο δυναμικό περιορισμό, το 100%.

Περνώντας, στην τρίτη κατηγορία αποτελεσμάτων, έχουμε τις εισαγωγές ΑΠΕ, σε σχέση με τα δύο νησιά, για τα δύο σενάρια διασύνδεσης, στα οποία μελετάται η εισαγωγή – εξαγωγή περίσσειας αιολικής ενέργειας. Παρατηρούμε, πως για το σύστημα της Σάμου οι εισαγωγές των ΑΠΕ είναι πολύ περιορισμένες και αγγίζουν μόλις το ποσοστό του 1%, σε σχέση με το αντίστοιχο 7-8% που εμφανίζεται για το σύστημα της Ικαρίας. Από αυτό, εύκολα καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως στην Σάμο είναι δυσκολότερο να έχουμε μεγάλες εισαγωγές αιολικής ενέργειας, πρωτίστως γιατί μιλάμε για ένα τετραπλάσιο σε ανάγκες ηλεκτρικό σύστημα, έναντι αυτού της Ικαρίας και δευτερεύοντας διότι, τα Α/Π της Σάμου είναι αρκετά περισσότερα σε αριθμό, καθώς και σε ισχύ από αυτά της Ικαρίας και άρα ικανά να καλύψουν και τις ενεργειακές ανάγκες της, όταν εμφανίζεται πλεόνασμα.

Η τέταρτη κατηγορία αποτελεσμάτων, αφορά στην απευθείας έγχυση αιολικής παραγωγής ξεχωριστά για το νησί της Ικαρίας και για τα τρία σενάρια διασύνδεσης και της Σάμου για τα δύο σενάρια διασύνδεσης. Σε αυτήν την περίπτωση συμπεραίνουμε πως τα ευρήματα είναι κοινά και για τα δύο νησιά, καθώς όσο καλύτερη είναι η ικανότητα πρόγνωσης της αιολικής παραγωγής, δηλαδή υψηλό  $\delta$ , τόσο υψηλότερο και το ποσοστό της απευθείας έγχυσης αιολικής παραγωγής στο κάθε ηλεκτρικό σύστημα. Ακόμα, διαπιστώνεται πως στην περίπτωση τους συστήματος της Ικαρίας τα ποσοστά της απευθείας έγχυσης Α/Π είναι διπλάσια, συγκριτικά με αυτά του συστήματος της Σάμου.

Τέλος, συγκρίνοντας την επίδραση της μεταφορικής ικανότητας της γραμμής διασύνδεσης μεταξύ των 1 MW και των 5 MW, αναφορικά μόνο με το Σενάριο 2 ως παράδειγμα, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως παρουσιάζεται πολύ μικρή ευαισθησία για τον συγκεκριμένο δείκτη και άρα για την ανάλυση των συγκεκριμένων υπό διερεύνηση στρατηγικών διαχείρισης δεν εμφανίζεται σημαντική διαφοροποίηση στην μεταφορική ικανότητα της γραμμής διασύνδεσης, πέραν του 1 MW.

# Βιβλιογραφικές Αναφορές:

1. Καψάλη, Μ. Σ. (2017). *Συμβολή στην Υψηλή Διείσδυση ΑΠΕ σε Νησιωτικά προς Διασύνδεση Ηλεκτρικά Δίκτυα, Διερευνώντας την Ανάπτυξη Μονάδων Αντλησιοταμίευσης*. Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
2. Hellenic Republic, *Ministry of the Environmental and Energy, National Energy and Climate Plan, 2019*. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-03/el\\_final\\_necp\\_main\\_en\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-03/el_final_necp_main_en_0.pdf)
3. Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, *Μακροχρόνια Στρατηγική για το 2050*. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2020/11/lts\\_gr\\_el.pdf](https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2020/11/lts_gr_el.pdf)
4. Βικιπαίδεια, *Κατάλογος ελληνικών νησίδων ανά νομό*. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%AC%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%BF%CF%82\\_%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD\\_%CE%BD%CE%B7%CF%83%CE%AF%CE%B4%CF%89%CE%BD\\_%CE%B1%CE%BD%CE%AC\\_%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CF%8C](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%AC%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%BF%CF%82_%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD_%CE%BD%CE%B7%CF%83%CE%AF%CE%B4%CF%89%CE%BD_%CE%B1%CE%BD%CE%AC_%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CF%8C)
5. ΡΑΕ Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, *Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, 2023*. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.rae.gr/ilektrismos/mi-diasynd-nisia/>
6. ΑΔΜΗΕ, *Δεκαετές Πρόγραμμα Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2022-2031, 2021*. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.admie.gr/sites/default/files/users/dssas/DPA%202022-2031/%CE%94%CE%A0%CE%91%202022-2031.pdf>
7. ΔΕΔΗΗΕ, *Πληροφοριακό Δελτίο Παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά για τον Δεκέμβριο 2022*. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://deddie.gr/el/themata-tou-diaxeiristimi-diasundedemenwn-nisiwn/agora-mdn/stoixeia-ekkathariseon-kai-minaion-deltion-mdn/miniaia-deltia-ape-thermikis-paragogis/miniaia-deltia-2022/>
8. Hatziargyriou, N. D., Margaritis, I. D., Stavropoulou, I., Papathanassiou, S., Dimeas, A., (2017). *Noninterconnected Island Systems: The Greek Case*. IEEE Electrification Magazine, 5, 2, 17-27. doi: 10.1109/MELE.2017.2685739
9. ΔΕΔΔΗΕ, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, 2022*. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://clean-energy-islands.ec.europa.eu/system/files/2022-03/7.%20Patsaka\\_HEDNO%20-%20Clean%20Energy%20EU%20Islands.pdf](https://clean-energy-islands.ec.europa.eu/system/files/2022-03/7.%20Patsaka_HEDNO%20-%20Clean%20Energy%20EU%20Islands.pdf)
10. Alexopoulos, D. K., Anastasiadis A. G., Vokas, G. A., Kaminaris, S. D., Psomopoulos, C. S., (2021). *A review of flexibility options for high RES penetration in power systems – Focusing the Greek case*. Energy Reports, 7, 5, 33-50. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.09.050>

11. Kaldellis, J. K., Zafirakis, D., (2020). *Prospects and challenges for clean energy in European Islands. The Tilos paradigm*. Renewable Energy, 145, 2489-2502. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.014>
12. Tzanes, G., Zafeiraki, E., Papapostolou, C., Zafirakis, D., Moustris, K. P., Kavadias, K., Chalvatzis, K., Kaldellis, J. K., (2019). *Assessing the Status of Electricity Generation in the Non – Interconnected Islands of the Aegean Sea Region*. Energy Procedia, 159, 424-429. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.12.065>
13. Kaldellis, J. K., (2008). *The wind potential impact on the maximum wind energy penetration in autonomous electrical grids*. Renewable Energy, 33, 7, 1665-1677. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.09.011>
14. Zafirakis, D., (2015). *Modern Energy Storage Applications*. <https://doi.org/10.1002/9781118991978.hces213>
15. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Εισήγηση της ΟΔΕ. *Διαμόρφωση του θεσμικού και ρυθμιστικού πλαισίου για την ανάπτυξη και συμμετοχή μονάδων αποθήκευσης στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και σε μηχανισμούς ισχύος, 2021*. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/07/Eisigisi\\_ODE\\_Apothikeysis-xwris-FEK-kai-praktika.pdf](https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/07/Eisigisi_ODE_Apothikeysis-xwris-FEK-kai-praktika.pdf)
16. European Commission, (2017). *Energy storage – the ole of electricity*. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2017-02/swd2017\\_61\\_document\\_travail\\_service\\_part1\\_v6\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2017-02/swd2017_61_document_travail_service_part1_v6_0.pdf)
17. China Energy Storage Alliance (CNESA). *CNESA Global Energy Storage Market Analysis – 2020. Q1 (Summary)*. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://en.cnesa.org/latest-news/2020/5/28/cnesa-global-energy-storage-market-analysis-2020q1-summary>
18. Energy. Gov, *Waterpower Technologies Office, Pumped Storage Hydropower*. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.energy.gov/eere/water/pumped-storage-hydropower>
19. IHA, *Pumped hydro*. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.hydropower.org/factsheets/pumped-storage>
20. Σημειώσεις Μαθήματος Αποθήκευσης & Εξοικονόμησης Ενέργειας
21. Αναστασόπουλος, Λ. (2020). *Παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας με τη μέθοδο αντλησιοταμίευσης–σύστημα αντλησιοταμίευσης αμφιλοχίας*. Βόλος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
22. Ρέζου, Ε. (2018). *Προσομείωση της λειτουργίας υβριδικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής*. Πάτρα, Πανεπιστήμιο Πατρών.
23. ΤΕΕ, *Υδροηλεκτρικά Έργα της ΔΕΗ ΑΕ στον ποταμό Αλιάκμονα*. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/5.2.pdf>



24. ΔΕΗ Α.Ε., *Εκμετάλλευση των Υδροηλεκτρικών Σταθμών ως Έργων Πολλαπλού Σκοπού*. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/yie\\_horas\\_dei.pdf](https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/yie_horas_dei.pdf)
25. Wikipedia, *El Hierro*. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/El\\_Hierro](https://en.wikipedia.org/wiki/El_Hierro)
26. Gorona del Viento, *A new energy for El Hierro*. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.goronadelviento.es/en/>
27. ΔΕΗ Ανανεώσιμες Μ.Α.Ε., *Ναέρας – Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας*. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://ppcr.gr/files/entypo\\_NAERAS.pdf](https://ppcr.gr/files/entypo_NAERAS.pdf)
28. Σχίζα, Μ. Β. (2012). *Το υβριδικό ενεργειακό έργο Ικαρίας: Η συμβολή του στη βιώσιμη τοπική ανάπτυξη*. Αθήνα, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.
29. Ελληνική Στατιστική Αρχή, *Αποτελέσματα Απογραφής Πληθυσμού – Κατοίκων 2021*. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.statistics.gr/2021-census-res-pop-results>
30. Βικιπαίδεια, *Ικαρία*. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%99%CE%BA%CE%B1%CF%81%CE%AF%CE%B1>
31. Χάρτες. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1nwFpKRizase7nEBhIF63xp8UdoE&hl=en\\_US&ll=37.70341970265463%2C26.84462872517976&z=11](https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1nwFpKRizase7nEBhIF63xp8UdoE&hl=en_US&ll=37.70341970265463%2C26.84462872517976&z=11)
32. Βικιπαίδεια, *Αθέρας (Ικαρία)*. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B8%CE%AD%CF%81%CE%B1%CF%82\\_\(%CE%99%CE%BA%CE%B1%CF%81%CE%AF%CE%B1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B8%CE%AD%CF%81%CE%B1%CF%82_(%CE%99%CE%BA%CE%B1%CF%81%CE%AF%CE%B1)
33. Βλάχος, Χ., (2016). *Αποτύπωση και αξιολόγηση του Υβριδικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής της Ικαρίας και εκτίμηση της κοινωνικής αποδοχής από τους κατοίκους της Ικαρίας*. Κρήτη, ΤΕΙ Κρήτης.
34. ΚΑΠΕ. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.cres.gr/kape/datainfo/maps.htm>
35. Τεχνικά και Οικονομικά στοιχεία του Αυτόνομου Ηλεκτρικού Συστήματος Ικαρίας, Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
36. ΡΑΕ, *Γεωπληροφοριακός Χάρτης*. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://geo.rae.gr/?lon=26.952310980630113&lat=37.70401664042974&z=17>
37. Μαζαράκης, Ν. (2020). *Το μελέμι του Αιγαίου: Ιστορική αναδρομή, αιτία δημιουργίας, ένταση και εποχή εμφάνισης του*. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://e-nautilia.gr/>
38. Βικιπαίδεια, *Σάμος*. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%AC%CE%BC%CE%BF%CF%82>
39. Σταυριανού, Κ. (2009). *Αλλαγές στις χρήσεις γης και στο φυσικό περιβάλλον στην Σάμο κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα*. Θεσσαλονίκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
40. Τεχνικά και Οικονομικά στοιχεία του Αυτόνομου Ηλεκτρικού Συστήματος Σάμου, Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
41. Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων, *Τα Φράγματα της Ελλάδας*. (2013). [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://eemf.gr/Fragmata\\_Elladas\\_201311.pdf](https://eemf.gr/Fragmata_Elladas_201311.pdf)

# **Παράρτημα**

## **Παράμετροι και Απολογιστικοί Δείκτες Προβλήματος Προσομοίωσης**

Πίνακας Π1. Παράμετροι προβλήματος προσομοίωσης και απολογιστικοί δείκτες

<b>Παράμετρος / Δείκτης</b>	<b>Επεξήγηση</b>
δ	Δυναμικός περιορισμός (%)
TM	Τεχνικά ελάχιστα θερμικών μονάδων (%)
Stor Signal	Κρίσιμη στάθμη φόρτισης (%)
I/C	Μεταφορική ικανότητα διασύνδεσης (MW)
RES % Ikaria	Επιτευχθείσα διείσδυση ΑΠΕ σε ετήσια βάση - Ικαρία
RES % Samos	Επιτευχθείσα διείσδυση ΑΠΕ σε ετήσια βάση - Σάμος
Wind D	Απορρόφηση αιολικής παραγωγής σε ετήσια βάση (MWh)
Wind L	Απορρόφηση τοπικής αιολικής παραγωγής σε ετήσια βάση (MWh)
Wind Imp	Απορρόφηση εισαγωγών αιολικής παραγωγής σε ετήσια βάση (MWh)
PV	Απορρόφηση Φ/Β παραγωγής σε ετήσια βάση (MWh)
PHS	Συνεισφορά υβριδικού σταθμού σε ετήσια βάση (MWh)
Diesel TM	Συνεισφορά θερμικών μονάδων σε ετήσια βάση – τεχν. ελάχιστα (MWh)
Diesel	Συνολική συνεισφορά θερμικών μονάδων σε ετήσια βάση (MWh)

Πίνακας Π2. Απόσπασμα πίνακα αποτελεσμάτων προσομοίωσης

δ	TM	Stor Signal	I/C	RES% Icaria	RES% Samos	Icaria							Samos						
						Wind D	Wind L	Wind Imp	PV	PHS	Diesel TM	Diesel	Wind D	Wind L	Wind Imp	PV	PHS	Diesel TM	Diesel
0	0	50	1000	18,76%	6,18%	0	0	0	704,138841	4819,400314	0	23922,22085	0	0	0	7634,07729	410,296128	0	122140,3366
0	0	50	1000	19,71%	5,86%	0	0	0	704,138841	5099,809556	0	23641,8116	0	0	0	7634,07729	0	0	122550,6327
0	10	50	1000	19,06%	5,86%	0	0	0	704,138841	4906,897562	3493,633265	20341,09033	0	0	0	7634,07729	0	15776,75241	106773,8803
0	20	50	1000	17,38%	5,86%	0	0	0	704,138841	4414,583536	6986,687518	17340,35011	0	0	0	7634,07729	0	31553,50482	90997,12789
0	30	50	1000	14,83%	5,86%	0	0	0	704,138841	3662,543818	10478,99938	14600,07796	0	0	0	7634,07729	0	47327,0481	75223,58461
0	40	50	1000	12,23%	5,86%	0	0	0	704,138841	2898,135128	13970,42247	11873,06356	0	0	0	7634,07729	0	63095,7452	59454,88751
0	50	50	1000	9,55%	5,86%	0	0	0	704,138841	2107,336868	17434,56891	9199,715386	0	0	0	7634,07729	0	78831,5104	43719,12231
0	60	50	1000	6,66%	5,86%	0	0	0	704,138841	1256,540878	20705,78476	6779,295521	0	0	0	7634,07729	0	93473,48782	29077,14489
0	70	50	1000	4,00%	5,86%	0	0	0	704,138841	473,7777283	23564,3798	4703,463627	0	0	0	7634,07729	0	104884,6756	17665,95709
0	80	50	1000	2,63%	5,86%	0	0	0	704,138841	71,3329136	25791,827	2878,461246	0	0	0	7634,07729	0	112902,6334	9647,999272
0	90	50	1000	2,41%	5,86%	0	0	0	704,138841	4,032	27431,66824	1305,920915	0	0	0	7634,07729	0	118215,8751	4334,757609
0	100	50	1000	2,40%	5,86%	0	0	0	704,138841	1,81	28366,57434	373,236821	0	0	0	7634,07729	0	121285,3978	1265,234944
20	0	50	1000	31,46%	20,05%	4734,992884	4733,794557	1,1983266	704,138841	3823,035108	0	20183,59317	18466,51082	18033,15839	433,3524336	7634,07729	0	0	104084,1219
20	10	50	1000	30,50%	20,05%	4734,939896	4733,739165	1,2007306	704,138841	3542,190155	3493,633265	16970,85784	18465,09671	18031,74428	433,3524336	7634,07729	0	15776,75241	88308,78359
20	20	50	1000	28,89%	18,26%	4795,156128	4733,422023	61,7341046	704,138841	3007,380482	6986,687518	13952,39703	16136,99388	15766,3948	370,5990836	7634,07729	0	31553,50482	74860,13401
20	30	50	1000	27,65%	12,51%	5032,125962	4733,147944	298,9780182	704,138841	2405,165164	10478,99938	10825,33065	8651,006166	8429,28963	221,7165364	7634,07729	0	47327,0481	66572,57845
20	40	50	1000	24,79%	8,01%	5213,940981	4715,817051	498,1239304	704,138841	1381,741343	13970,42247	8175,516365	2794,678279	2707,687943	86,9903364	7634,07729	0	63095,7452	56660,20924
20	50	50	1000	21,75%	6,23%	5078,904072	4525,550494	553,3535781	704,138841	621,2478346	17434,56891	5606,900347	480,32437	471,0575228	9,2668472	7634,07729	0	78831,5104	43238,79794
20	60	50	1000	18,27%	5,88%	4519,894764	4013,922948	505,971816	704,138841	156,34029	20705,78476	3359,601345	19,65	19,65	0	7634,07729	0	93473,48782	29057,49489
20	70	50	1000	14,75%	5,86%	3614,45275	3203,262687	411,1900628	704,138841	25,6761019	23564,3798	1537,112504	0	0	0	7634,07729	0	104884,6756	17665,95709
20	80	50	1000	10,89%	5,86%	2500,552844	2238,639415	261,9134288	704,138841	1,9046156	25791,827	447,3367002	0	0	0	7634,07729	0	112902,6334	9647,999272
20	90	50	1000	6,43%	5,86%	1189,602988	1086,031387	103,5716009	704,138841	0	27431,66824	120,3499273	0	0	0	7634,07729	0	118215,8751	4334,757609
20	100	50	1000	3,58%	5,86%	349,413809	313,265511	36,148298	704,138841	0	28366,57434	25,633012	0	0	0	7634,07729	0	121285,3978	1265,234944
40	0	50	1000	37,52%	27,52%	8382,186848	8381,274335	0,9125134	704,138841	1962,801412	0	18396,6329	28197,27886	26664,06895	1533,20991	7634,07729	0	0	94353,35385
40	10	50	1000	36,75%	27,52%	8382,493682	8381,116719	1,3769624	704,138841	1735,358137	3493,633265	15130,13608	28195,23444	26661,9777	1533,256743	7634,07729	0	15776,75241	78578,64586
40	20	50	1000	36,61%	23,07%	8582,253144	8380,405068	201,8480754	704,138841	1492,237284	6986,687518	11680,44321	22394,05315	21329,79279	1064,260362	7634,07729	0	31553,50482	68603,07474