

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
(ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ)
ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΟΣ**

υπό

ΑΛΕΞΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού Πανεπιστημίου Θεσσαλίας 2020

ΜΑΤΘΑΙΟΠΟΥΛΟΥ ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ

Μηχανολόγου Μηχανικού Τ.Ε. Πανεπιστημίου Θεσσαλίας 2020

Μεταπτυχιακή Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

Βόλος, 2023

© 2022 Αλεξίου Κωνσταντίνος, Ματθαίου Πουλος Απόστολος

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Ανδρίτσος Νικόλαος
(Επιβλέπων) Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
 Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Τσιακάρας Παναγιώτης
 Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
 Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Μποντόζογλου Βασίλειος
 Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
 Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ειλικρινείς ευχαριστίες μας στον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας μας, Καθηγητή κ. Νικόλαο Ανδρίτσο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μας.

Επίσης, είμαστε ευγνώμονες στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Καθηγητές κ. Τσιακάρα Παναγιώτη και κ. Μποντόζογλου Βασίλειο για όλα αυτά τα εφόδια που μας έδωσαν κατά την διάρκεια των σπουδών μας τόσο σε προπτυχιακό όσο και σε μεταπτυχιακό επίπεδο.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας υποστήριξή τους σε όλα τα στάδια των σπουδών μας.

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ)
ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΟΣ

ΑΛΕΞΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΜΑΤΘΑΙΟΠΟΥΛΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2023

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος,

Περίληψη

Η ανάγκη για αύξηση της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας και η κλιματική αλλαγή είναι οι κύριοι παράγοντες της εγκατάστασης περισσότερων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Η εγκατάσταση νέων μονάδων ΑΠΕ αυξάνεται με εκθετικό ρυθμό παγκοσμίως καθώς είναι από τις μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλού κόστους.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ δεν είναι σταθερή ημερησίως καθώς εξαρτάται από τα καιρικά φαινόμενα. Συνεπώς, η αποθήκευση ενέργειας τις ώρες παραγωγής είναι απαραίτητη προκειμένου να καλύψει την ζήτηση τις ώρες μη παραγωγής από τις μονάδες ΑΠΕ. Η λύση αυτή μπορεί να προέλθει με διάφορες μεθόδους, αλλά είναι απαραίτητο αυτή η τεχνολογία να είναι οικονομοτεχνικά εφικτή. Η αντλησιοταμίευση είναι μία ώριμη τεχνολογία και υπάρχει πληθώρα εγκαταστάσεων αυτού του τύπου σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μελέτη εγκατάστασης σε υφιστάμενες τεχνητές λίμνες, αντλησιοταμιευτικών σταθμών. Ακόμη, μελετάται και η οικονομοτεχνική βιωσιμότητα της παρούσας εγκατάστασης.

Λέξεις-κλειδιά: Ηλεκτρική Ενέργεια, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αποθήκευση Ενέργειας, Αντλησιοταμίευση

**TECHNICAL AND ECONOMICAL STUDY OF
LARGE SCALE ELECTRIC ENERGY STORAGE UNIT
(PUMPED STORAGE)**

ALEXIOU KONSTANTINOS

MATTHAIPOULOS APOSTOLOS

Department of Mechanical Engineering, University of Thessaly, 2023

Supervisor: Dr Nikolaos Andritsos

Abstract

The need to increase the production of electricity and climate change are the main reasons to install more power plants from renewable sources. The installation of new RES units is increasing at an exponential rate worldwide as it is one of the low-cost electricity generation methods.

The production of electricity from RES is not stable daily as it depends on the weather. Therefore, energy storage during production hours is necessary to cover the demand during non-production hours from the RES units. This solution can be obtained by various methods, but it is necessary to be economically feasible. Pumped storage is a mature technology and there are many installations of this type worldwide.

In this thesis, a study of the installation of pumped storage stations in existing lakes is carried out. Furthermore, the economic and technical viability of the present installation is also being studied.

Key words: Electricity, Renewable Energy Sources, Energy Storage, Pump storage

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.1 Γενικά	14
1.2 Ενεργειακό ζήτημα	15
1.3 Κλιματική Αλλαγή.....	17
1.4 Σκοπός της εργασίας και Δομή.....	20
Κεφάλαιο 2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Α.Π.Ε.....	24
2.1 Εισαγωγή.....	24
2.2 Βασικότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	28
2.3 Προτερήματα Αξιοποίησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	35
2.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα	36
Κεφάλαιο 3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	39
3.1 Η Αναγκαιότητα Αποθήκευσης Ενέργειας	39
3.2 Μορφές Αποθήκευσης Ενέργειας	46
3.2.1 Μπαταρίες Οξέος - Μολύβδου.....	48
3.2.2 Μπαταρίες Νικελίου - Καδμίου.....	49
3.2.3 Μπαταρίες Λιθίου - Ιόντος.....	49
3.2.4 Διάφορες Μπαταρίες.....	50
3.2.5 Σφόνδυλοι – Στρεφόμενες Μάζες.....	50
3.2.6 Υπεραγωγίμα Πηνία (SMES) και Υπερπυκνωτής (Super Capacitor)	51
3.2.7 Αντλησιοταμίευση	52
3.2.8 Σύστημα Συμπίεσης Αέρα (CAES)	53
Κεφάλαιο 4. ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ: ΑΝΑΛΥΣΗ, ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΣΕ ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	56
4.1 Ανάλυση της αντλησιοταμίευσης.....	56
4.2 Περιγραφή του Συστήματος της Αντλησιοταμίευσης.....	57
4.3 Υφιστάμενες υποδομές και άδειες σε εθνικό επίπεδο.....	60
4.4 Υφιστάμενες υποδομές σε παγκόσμιο επίπεδο.....	63
Κεφάλαιο 5. ΝΕΟ ΣΧΗΜΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ: ΜΕΛΕΤΗ, ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ	64
5.1 Γενική Περιγραφή του Ποταμού Αχελώου.....	64
5.2 Γενική Περιγραφή του Υδροηλεκτρικού Έργου Καστρακίου	66

5.3	Γενική Περιγραφή του Υδροηλεκτρικού Έργου Στράτος I και II	68
5.4	Σκοπιμότητα της μελέτης	69
Κεφάλαιο 6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΛΟΓΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....		74
6.1	Προεπισκόπηση του προτεινόμενος συγκροτήματος	74
6.2	Ανάλυση Παραγωγής Ενέργειας για το έτος αναφοράς (2008)	78
6.3	Ανάλυση ετήσιας αιολικής ενέργειας που απορρίπτεται από το δίκτυο	81
6.4	Σενάριο 1 ^ο : Οι υδροστρόβιλοι των αναστρέψιμων σταθμών να λειτουργούν μόνο για 8 ώρες ημερησίως (πρόκειται για τις ώρες αιχμής, δηλαδή 11:00– 15:00 και 19:00-23:00).....	84
6.5	Σενάριο 2 ^ο :Τροποποίηση της σειράς ένταξης των αναστρέψιμων μονάδων, με πρώτη την Μονάδα 8.....	94
6.6	Σενάριο 3 ^ο : Λειτουργία και ένταξη των στροβίλων των αναστρέψιμων μονάδων για διάστημα 14 ωρών καθημερινώς (9:00 -23:00)	101
6.7	Συγκεντρωτική παρουσίαση και αναλυτική τελικών αποτελεσμάτων	106
6.7.1	Σενάριο 1 ^ο : Συγκεντρωτικά Τελικά Αποτελέσματα παραγόμενης και απορριπτόμενης ενέργειας.....	106
6.7.2	Σενάριο 2 ^ο : Συγκεντρωτικά Τελικά Αποτελέσματα παραγόμενης και απορριπτόμενης ενέργειας.....	107
6.7.3	Σενάριο 3 ^ο : Συγκεντρωτικά Τελικά Αποτελέσματα παραγόμενης και απορριπτόμενης ενέργειας.....	108
6.7.4	Συγκεντρωτικά Τελικά Διαγράμματα παραγόμενης και απορριπτόμενης ενέργειας που αποθηκεύεται	109
Κεφάλαιο 7.ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ		113
7.1	Συγκεντρωτικά Τελικά Διαγράμματα παραγόμενης και απορριπτόμενης ενέργειας που αποθηκεύεται	113
7.2	Σενάριο 1ο: Οι αναστρέψιμες μονάδες να λειτουργούν καθημερινά για 4 ώρες.....	115
7.3	Σενάριο 2ο: Οι αναστρέψιμες μονάδες να λειτουργούν καθημερινά για 8 ώρες.....	117
7.3.1	Περίπτωση 1η: Κατασκευή των αναστρέψιμων μονάδων αναλόγως με το κατασκευαστικό κόστος τους.	117

7.3.2	Περίπτωση 2η: Κατασκευή των αναστρέψιμων μονάδων αναλόγως με το κατασκευαστικό κόστος τους και το ωράριο λειτουργίας τους.....	118
7.3.3	Σενάριο 3ο: Οι αναστρέψιμες μονάδες να λειτουργούν καθημερινώς για 12 ώρες.....	120
7.4.1	Περίπτωση 1η: Εγκατάσταση των αναστρέψιμων μονάδων αναλόγως με το κατασκευαστικό κόστος τους.....	120
7.4.2	Περίπτωση 2η: Εγκατάσταση των αναστρέψιμων μονάδων αναλόγως με το κατασκευαστικό κόστος το ωράριο λειτουργίας τους.....	121
7.5	Πως και πόσο επηρεάζεται το IRR από το $Rw.s$	122
Κεφάλαιο 8.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ		126
8.1	Συμπεράσματα.....	126
8.2	Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες - μελέτες.....	127
Βιβλιογραφία	128
<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</u>	131

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1-1 :	Τα αέρια τα οποία έχουν ενεργό ρόλο στην κλιματική αλλαγή.....	19
Πίνακας 3-1 :	Αξιοποίηση του κύκλου λειτουργίας των αποθηκευτικών μονάδων ως βάσεις για τις τυπικές εφαρμογές τους.....	44
Πίνακας 3-2 :	Οι διάφορες ομάδες εφαρμογών για την αποθήκευση ενέργειας, η ισχύς και η χρονική περίοδος που απαιτούνται.....	45
Πίνακας 3-3 :	Χαρακτηριστικά Αποθηκευτικών Μονάδων.....	48
Πίνακας 3-4 :	Χαρακτηριστικά Ταμιευτήρων και Αντλιών.....	53
Πίνακας 5-1 :	Παρουσίαση δεδομένων των 8 πιθανών αναστρέψιμων μονάδων.....	71
Πίνακας 6-1 :	Ενεργειακός στόχος ανά έτος και εκτίμηση τιμής του Rws.....	82
Πίνακας 6-2 :	Ανάλυση των πιθανών αναστρέψιμων σταθμών.....	84
Πίνακας 6-3 :	Κάτω και άνω δεξαμενές συστήματος.....	94
Πίνακας 6-4 :	Αποθηκευόμενη απορριπτόμενη ενέργεια στον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό.....	106
Πίνακας 6-5 :	Υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό.....	106
Πίνακας 6-6 :	Αποθηκευόμενη απορριπτόμενη ενέργεια στον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό.....	107
Πίνακας 6-7 :	Υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό.....	107
Πίνακας 6-8 :	Αποθηκευόμενη απορριπτόμενη ενέργεια στον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό.....	108
Πίνακας 6-9 :	Υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό.....	108
Πίνακας 7-1 :	Καθημερινή Παραγόμενη Ενέργεια από κάθε μονάδα.....	114
Πίνακας 7-2 :	Καθημερινή Παραγόμενη Ενέργεια από κάθε μονάδα.....	114
Πίνακας 7-3 :	Καθημερινή Παραγόμενη Ενέργεια από κάθε μονάδα.....	115
Πίνακας 7-4 :	Σενάριο 1 ^ο : Οικονομικά Στοιχεία.....	116
Πίνακας 7-5 :	Σενάριο 2 ^ο , Περίπτωση 1 ^η : Οικονομικά Στοιχεία.....	118
Πίνακας 7-6 :	Σενάριο 2 ^ο , Περίπτωση 2 ^η , Σειρά κατασκευής μονάδων.....	119
Πίνακας 7-7 :	Σενάριο 2 ^ο , Περίπτωση 2 ^η : Οικονομικά Στοιχεία.....	119
Πίνακας 7-8 :	Σενάριο 3 ^ο , Περίπτωση 1 ^η : Οικονομικά Στοιχεία.....	121
Πίνακας 7-9 :	Σενάριο 3 ^ο , Περίπτωση 2 ^η : Οικονομικά Στοιχεία.....	122
Πίνακας 7-10 :	Επίδραση R _{w-s} στο IRR.....	123
Πίνακας 7-11 :	Επίδραση R _{w-s} στο IRR.....	123
Πίνακας 7-12 :	Επίδραση R _{w-s} στο IRR.....	124

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1-1 :	Ακαθάριστη διαθέσιμη ενέργεια ανά πηγή στην Ελλάδα το 2018.....	16
Σχήμα 2-1 :	Η εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ΑΠΕ για την περίοδο Μάιος 2020 έως Μάιος 2022	29
Σχήμα 2-2 :	Η εγκατεστημένη ισχύς της αιολικής ενέργειας παγκοσμίως, σε MW	30
Σχήμα 3-1 :	Εκκίνηση αποθήκευσης ενέργειας	42
Σχήμα 3-2 :	Η τεχνολογική ωριμότητα, οι εφαρμογές και το μέγεθος των διαφορετικών αποθηκευτικών διατάξεων.....	47
Σχήμα 3-3 :	Πλεονεκτήματα ενεργειακής αποθήκευσης	47
Σχήμα 3-4 :	Μονάδα στρεφόμενης μάζας.....	51
Σχήμα 3-5 :	Σύστημα αντλιοσταμίου.....	52
Σχήμα 3-6 :	Διάγραμμα λειτουργίας μονάδων CAES.....	54
Σχήμα 4-1 :	Τομή υδραυλικής αντλίας	58
Σχήμα 4-2 :	Υδροστρόβιλος τύπου Kaplan	59
Σχήμα 4-3 :	Υδροστρόβιλος τύπου Francis.....	59
Σχήμα 4-4 :	Υδροστρόβιλος τύπου Pelton	60
Σχήμα 4-5 :	Άποψη από το Αναστρέψιμο Υδροηλεκτρικό Έργο Σφηκιάς	61
Σχήμα 4-6 :	Άποψη από το αντλιοσταμιοειδικό σύστημα Grand Maison	63
Σχήμα 5-1 :	Ποταμός Αχελώος	65
Σχήμα 5-2 :	Άποψη από το Υδροηλεκτρικό Έργο Καστρακίου-Στράτου	67
Σχήμα 5-3 :	Άποψη από το Υδροηλεκτρικό Έργο Καστρακίου-Στράτου	67
Σχήμα 5-4 :	Άποψη από το Υδροηλεκτρικό Έργο Καστρακίου-Στράτου	68
Σχήμα 5-5 :	Προεπισκόπηση του Υδροηλεκτρικού Έργου Στράτου	69
Σχήμα 5-6 :	Δορυφορική Εικόνα της Λίμνης Καστρακίου	70
Σχήμα 5-7 :	Οι οκτώ πιθανές αναστρέψιμες μονάδες στον χάρτη.....	72
Σχήμα 5-8 :	Κάτοψη του υδροηλεκτρικού σχεδίου στο οποίο αποτυπώνεται το ζεύγος Καστράκι-Στράτος	73
Σχήμα 5-9 :	Κάτοψη Προσθήκης αντλιοστασίου Καστράκι-Στράτος	73
Σχήμα 6-1 :	Λογικό Διάγραμμα του Δεύτερου Υπολογιστικού Αλγορίθμου.....	78
Σχήμα 6-2 :	Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που παράγεται σε ένα έτος.....	79
Σχήμα 6-3 :	Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που παράγεται σε διάστημα 10 ημερών	79
Σχήμα 6-4 :	Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που παράγεται σε διάστημα 10 ημερών (θερινή περίοδος).....	80
Σχήμα 6-5 :	Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που παράγεται σε διάστημα 24 ωρών (θερινή περίοδος).....	81
Σχήμα 6-6 :	Διάγραμμα απεικόνισης της ετήσιας απόρριψης ενέργειας από αιολικά με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά.....	81
Σχήμα 6-7 :	Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που απορρίπτεται, για ποικίλες τιμές εγκατεστημένες αιολικής ισχύος.....	82
Σχήμα 6-8 :	Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που απορρίπτεται, για ποικίλες τιμές εγκατεστημένες αιολικής ισχύος.....	83
Σχήμα 6-9 :	Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που απορρίπτεται, για ποικίλες τιμές εγκατεστημένες αιολικής ισχύος.....	83
Σχήμα 6-10 :	Ποσοστό απορριπτόμενης παραγωγής αιολικής ενέργειας, συναρτήσεως της αιολικής ισχύος που είναι εγκατεστημένη ως ποσοστό % της μέσης ετήσιας ζήτησης φορτίου του δικτύου.....	85

Σχήμα 6-11 :	Ποσοστό απορριπτόμενης παραγωγής αιολικής ενέργειας, η οποία αποθηκεύεται από κάθε αναστρέψιμη μονάδα, συναρτήσει της αιολικής ισχύος που έχει εγκατασταθεί.....	85
Σχήμα 6-12 :	Ποσοστό της απορριπτόμενης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία αποθηκεύεται από την κάθε αναστρέψιμη μονάδα προς το σύνολο της αποθηκευμένης ενέργειας, συναρτήσει της αιολικής ισχύος που έχει εγκατασταθεί.....	86
Σχήμα 6-13 :	Βαθμός Αξιοποίησης (CF-Capacity Factor) των αντλιών από τις αναστρέψιμες μονάδες του Καστρακίου συναρτήσει με την αιολική ισχύ που είναι εγκατεστημένη.....	86
Σχήμα 6-14 :	Απορριπτόμενη ενέργεια η οποία αποθηκεύεται στην εκάστοτε μονάδα σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ.....	89
Σχήμα 6-15 :	Συνολική απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται από υδροηλεκτρικό σύστημα σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ.....	89
Σχήμα 6-16 :	Υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την εκάστοτε μονάδα σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ.....	90
Σχήμα 6-17 :	Η συνολική υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ.....	91
Σχήμα 6-18 :	Ωριαία χρονοσειρά παραγωγής ενέργειας από υδροηλεκτρικό σύστημα 2 αναστρέψιμων μονάδων ($Rw-s=1$)	92
Σχήμα 6-19 :	Ωριαία χρονοσειρά της ενέργειας που αποθηκεύεται και παράγεται σε διάστημα 10 ημερών ($Rw-s=1$)	93
Σχήμα 6-20 :	Ωριαία χρονοσειρά της ενέργειας που παράγεται και αυτής που αποθηκεύεται σε βάθος 24ώρου για $Rw-s = 1$	93
Σχήμα 6-21 :	Διάγραμμα απεικόνισης του ποσοστού της απορριπτόμενης παραγωγής ενέργειας από αιολικά σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ, ως ποσοστό (%) της μέσης ετήσιας ζήτησης φορτίου του δικτύου.....	95
Σχήμα 6-22 :	Διάγραμμα απεικόνισης της απορριπτόμενης παραγωγής ενέργειας από αιολικά που αποθηκεύεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ.....	95
Σχήμα 6-23 :	Διάγραμμα απεικόνισης της απορριπτόμενης παραγωγής ενέργειας από αιολικά που αποθηκεύεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό προς το σύνολο της αποθηκευμένης ενέργειας, σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ.....	96
Σχήμα 6-24 :	Διάγραμμα απεικόνισης του Βαθμού Αξιοποίησης (CF) των αντλιών των αναστρέψιμων σταθμών του Καστρακίου σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ.....	96
Σχήμα 6-25 :	Διάγραμμα απεικόνισης των απορρίψεων της ενέργειας που αποθηκεύονται σε κάθε αναστρέψιμο σταθμό σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ.....	97
Σχήμα 6-26 :	Διάγραμμα απεικόνισης των συνολικών απορρίψεων της ενέργειας που αποθηκεύονται από το σύστημα σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ.....	98
Σχήμα 6-27 :	Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς παραγωγής ενέργειας από 2 αναστρέψιμους υδροηλεκτρικούς σταθμούς (Αλευράδα, Μονάδα 8). Ισχύει $Rw-s = 1$	100
Σχήμα 6-28 :	Διάγραμμα απεικόνισης των απορρίψεων ενέργειας από αιολική παραγωγή, σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ, ως ποσοστό της μέσης ετήσιας ζήτησης φορτίου του δικτύου.....	101
Σχήμα 6-29 :	Διάγραμμα απεικόνισης των απορρίψεων της ενέργειας από την αιολική παραγωγή που αποθηκεύεται σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά.....	101
Σχήμα 6-30 :	Διάγραμμα απεικόνισης του ποσοστού των απορρίψεων της παραγωγής από αιολικά η οποία αποθηκεύεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό προς το σύνολο της αποθηκευμένης ενέργειας, σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ αιολικών.....	102
Σχήμα 6-31 :	Διάγραμμα απεικόνισης του Βαθμού Αξιοποίησης (CF) των αντλιών των αναστρέψιμων σταθμών του Καστρακίου, σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά.....	102

Σχήμα 6-32 :	Διάγραμμα απεικόνισης απορρίψεων ενέργειας που αποθηκεύεται στον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό σε συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά.....	103
Σχήμα 6-33 :	Διάγραμμα απεικόνισης των συνολικών απορρίψεων ενέργειας που αποθηκεύονται από το σύστημα σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ αιολικών.....	103
Σχήμα 6-34 :	Διάγραμμα απεικόνισης υδροηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά.....	104
Σχήμα 6-35 :	Διάγραμμα απεικόνισης του συνόλου της υδροηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος που παράγεται σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά.....	104
Σχήμα 6-36 :	Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς αποθηκευόμενης και παραγόμενης ενέργειας σε διάστημα 10 ημερών για $Rw-s=1$	105
Σχήμα 6-37 :	Διάγραμμα απεικόνισης ωριαίας χρονοσειράς αποθηκευόμενης και παραγόμενης ενέργειας σε διάστημα 24 ωρών για $Rw-s=1$	105
Σχήμα 6-38 :	Διάγραμμα το οποίο αναπαριστά το ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής που αποθηκεύεται συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά.....	109
Σχήμα 6-39 :	Διάγραμμα που αναπαριστά την απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται, σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά.....	109
Σχήμα 6-40 :	Διάγραμμα βαθμού αξιοποίησης (CF) των αντλιών, σε συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά.....	110
Σχήμα 6-41 :	Διάγραμμα υδροηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά.....	110
Σχήμα 6-42 :	Διάγραμμα το οποίο αναπαριστά το ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής που αποθηκεύεται συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά.....	111
Σχήμα 6-43 :	Διάγραμμα που αναπαριστά την απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται, σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά.....	111
Σχήμα 6-44 :	Διάγραμμα βαθμού αξιοποίησης (CF) των αντλιών, σε συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά.....	112
Σχήμα 6-45 :	Διάγραμμα υδροηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά.....	112
Σχήμα 7-10 :	Υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό.....	124

Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) καθώς και ο βαθμός διείσδυσης τους, στα ηλεκτρικά συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως, είναι υψηλός και συνεχώς αυξάνεται. Τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) έρχονται αντιμέτωπα με το παράγοντα της αξιοπιστίας και της σταθερότητας τους [1]. Τα παραπάνω λειτουργούν ως τροχοπέδη στην συνολική αποδοτικότητα των ηλεκτρικών συστημάτων καθώς χαρακτηρίζονται από ασυνέπεια ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κυρίως λόγω προβλημάτων τεχνικής φύσεως και δυσλειτουργιών [2].

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έρχεται συχνά αντιμέτωπη με το πρόβλημα της μη κατανάλωσης της. Αυτό το πρόβλημα πηγάζει από το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωση και το αντίθετο καθώς τα συστήματα παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι προβλέψιμα αλλά όχι ελεγχόμενα. Η πλεονάζουσα ενεργειακή παραγωγή είναι αναγκαίο να αποθηκευτεί σε συσσωρευτές ή άλλα συστήματα αποθήκευσης, ανάλογα με το μέγεθος της ενέργειας, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν απαιτηθεί [3]. Η αντλησιοταμίευσης αποτελεί μια εξαιρετικά αποδοτική και οικονομικά προσιτή μέθοδο μαζικής αποθήκευσης της παραγόμενης πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας [4].

Η προτεινόμενη μελέτη αποσκοπεί στην διερεύνηση των επιδόσεων ενός συστήματος αποθήκευσης πλεονάζουσας παραγόμενης ενέργειας, το οποίο προσαρμόζεται για την ενσωμάτωση στη λειτουργία του, συμβατικών σταθμών ΥΗΣ που υφίστανται στην Ελλάδα. Αρχικά, προτείνεται η διενέργεια υπολογισμών σχετικά με τον βαθμό απόρριψης της παραγόμενης ενέργειας μέσω Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) με τη χρήση κώδικα της υπολογιστικής γλώσσας MATLAB [5]. Ο βαθμός απόρριψης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας θα υπολογιστεί σε σχέση με την εγκατεστημένη ισχύ των υπάρχοντων σταθμών με

βάση τα στοιχεία τα οποία θα παραχωρηθούν από την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού για ένα έτος (έτος αναφοράς). Στην συνέχεια, προτείνεται η διερεύνηση της αποθήκευσης της πλεονάζουσας υδραυλικής ενέργειας, η οποία αποθηκεύεται στα πλαίσια λειτουργίας ενός συγκροτήματος αντλιοστασίων. Η πλεονάζουσα υδραυλική ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται στο συγκεκριμένο σύστημα, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί εκ νέου για την εξασφάλιση ελεγχόμενης και σταθερής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο τις ώρες που απαιτείται [6] λαμβάνοντας υπόψη και τα οικονομικά στοιχεία λειτουργίας αυτής.

Στόχος της παρούσας μελέτης, είναι η οικονομική μελέτη κατασκευής και λειτουργίας μίας εγκατάστασης αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας δια της αντλησιοταμίευσης μέσω της τροποποίησης και διαφοροποίησης της λειτουργίας ενός υφιστάμενου υδροηλεκτρικού συστήματος.

1.2 Ενεργειακό Ζήτημα

Η ραγδαία ανάπτυξη, σε πολλούς τομείς, αποτέλεσε πρωτοφανή χαρακτηριστικό της ανθρωπότητας τα τελευταία χρόνια. Το μοντέλο βιώσιμης ανάπτυξης κατείχε ανέκαθεν ως κύριο χαρακτηριστικό, την διαχείριση και την παραγωγή της ενέργειας, κάτι που θα εξακολουθεί να ισχύει και στο μέλλον. Σκοπός των κρατών είναι η ευημερία του κοινωνικού συνόλου και η οικονομική ανάπτυξη τους. Είναι φυσικό, λοιπόν, να αυξάνεται συνεχώς η ανάγκη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κυρίως από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), τόσο σε εθνικό, ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο. Η ανάγκη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο παρελθόν βασιζόταν κυρίως σε ορυκτά καύσιμα, κάτι το οποίο έχει αλλάξει ριζικά τα τελευταία χρόνια. Σύμφωνα με τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ), ο οποίος είναι ο διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ), η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια θα είναι 22.8% αυξημένη σε σχέση με το 2020 [8], κάτι που επιβεβαιώνεται παράλληλα και από το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα όπως αυτό δημοσιεύθηκε και προβλέπει αντίστοιχα αύξηση 14.2%. Έτσι, η ανάγκη για την περαιτέρω διεύθυνση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι αναγκαία.

Το ζήτημα της ενέργειας αποτελεί σημαντικό θέμα της επικαιρότητας, τις τελευταίες δεκαετίες, ενώ έχει υπάρξει η αιτία για τεράστιες οικονομικές, πολιτικές και στρατιωτικές ανακατατάξεις στον χάρτη (ως πηγή ισχύος ή ως διεκδικούμενος φυσικός πόρος). Βέβαια, τον τελευταίο καιρό, η κατάληξη ορισμένων φυσικών πόρων (φυσικό αέριο, πετρέλαιο, άνθρακας) σε πεπερασμένους, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του ανταγωνισμού σχετικά με τον έλεγχο της ενεργειακής αγοράς σε παγκόσμιο επίπεδο [5].

Με την αύξηση του πληθυσμού σε 7.88 δισεκατομμύρια, η ανάγκη ενέργειας με σκοπό την βελτίωση της διαβίωσής τους, έχει γίνει εντονότερη. Μάλιστα, η συσχέτιση της κατανάλωσης ενέργειας με την ποιότητα διαβίωσης, έχει γίνει από πολλούς μελετητές.

Εξαιτίας του συνεχώς αυξανόμενου βιοτικού επιπέδου, πολλές αναπτυσσόμενες χώρες υιοθετούν την ραγδαία αύξηση της εγκατεστημένης ισχύς τους. Το 1997, ξεκίνησε η σύνθεση μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στην Δημοκρατία της Κίνας, με ρυθμό 300MW την βδομάδα. Η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται ραγδαία, σε παγκόσμιο επίπεδο. Στην Ελλάδα, η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το 2019 αυξήθηκε κατά 12 GW, σε 20.5 GW, σε σχέση με τα 8.5 GW του 1990 [9].

Η ακαθάριστη πηγή ενέργειας στην Ελλάδα [9] βασιζόταν στα ορυκτά καύσιμα σε ποσοστό 83.13% (φυσικό αέριο: 17.04%, γαιάνθρακες: 19.03%, πετρέλαιο: 47.60%) όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.1 ανά πηγή το 2018.



Σχήμα 1.1: Ακαθάριστη διαθέσιμη ενέργεια ανά πηγή στην Ελλάδα το 2018 [9]

Ωστόσο, η παραγωγή ενέργειας μέσω της αποκλειστικής αξιοποίησης των συμβατικών καυσίμων, έχει δύο κάποια σημαντικά μειονεκτήματα, εκ των οποίων τα βασικά είναι:

- Η διαθεσιμότητα των ορυκτών καυσίμων συνεχώς μειώνεται και η συνεχής ανάγκη για παραγωγή περισσότερης ενέργειας επιταχύνει αυτή την μείωση της υφιστάμενης διαθεσιμότητας.
- Η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα της απότομης αύξησης των ενεργειακών αναγκών, συμβάλλει στην ρύπανση του περιβάλλοντος. Φυσικά, αυτή η αύξηση είναι άμεσα συνδεδεμένη με την κλιματική αλλαγή. Αναλυτικότερα, το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα μεγαλώνει με ρυθμό 0.6% κάθε χρόνο και ο προαναφερόμενος ρυθμός πιθανότατα να αυξηθεί περαιτέρω. Κατ' ακολουθίαν, υπολογίζεται πως, στα μέσα του 21ου αιώνα, το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα θα διπλασιαστεί σε σύγκριση με εκείνο της προ-βιομηχανικής εποχής [10].

1.3 Κλιματική Αλλαγή

Η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει ως επακόλουθο την σταδιακή αλλαγή του κλίματος της γης, το οποίο πηγάζει από την συγκέντρωση περισσότερων ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με εκείνες που υπάρχουν στην ατμόσφαιρά υπό κανονικές συνθήκες (χωρίς την συμβολή από τις δραστηριότητες του ανθρώπου). Πηγή των παραπάνω αερίων προέρχονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας καθώς και από άλλες δραστηριότητες κυρίως του πρωτογενούς και του δευτερογενούς τομέα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα από τα αέρια τα οποία παράγονται από τις διάφορες δραστηριότητες του ανθρώπινου είδους. Αυτά τα επιπλέον αέρια που παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, ενισχύουν το φαινόμενο που ονομάζεται «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου» στην ατμόσφαιρα της Γης και έχει ως συνεπακόλουθο της αύξησης της θερμοκρασίας της Γης. Η παραπάνω αύξηση θα επιφέρει αλλαγές στο κλίμα του πλανήτη και στα είδη που τον κατοικούν.

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι ήδη αισθητές και προβλέπεται ότι θα γίνουν εντονότερες τα επόμενα χρόνια αν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα τόσο σε ατομικό όσο και

σε κοινωνικό επίπεδο. Χωρίς την αντιμετώπιση του φαινομένου, υπολογίζεται ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση πως θα υπάρχουν ετησίως 90.000 θάνατοι λόγω καύσωνα καθώς και 2,2 εκατομμύρια άνθρωποι θα κινδυνεύουν από πλημμύρες. Το διαθέσιμο νερό θα μειωθεί κατά 40% στις νότιες περιοχές της και είναι ιδιαίτερα σημαντικό να αναφερθεί πως η Ελλάδα είναι μία από τις χώρες του Νότου της Ένωσης. Σε οικονομικό επίπεδο, περισσότερα από 190 δις ευρώ εκτιμάται πως θα είναι οι ετήσιες ζημιές στις οικονομίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Αυτές οι αλλαγές στο κλίμα έχουν τη δύναμη να μεταμορφώσουν τον πλανήτη μας, επηρεάζοντας τα αποθέματα τροφίμων και νερού καθώς και την υγεία μας. Παρότι οι κίνδυνοι αφορούν τους πάντες, οι επιπτώσεις αυτές πλήττουν εντονότερα τους φτωχούς και τους ευάλωτους.

Όσο μεγαλύτερα τα προβλήματα, τόσο πιο δύσκολη και δαπανηρή θα είναι η λύση τους· επομένως η καλύτερη επιλογή είναι η άμεση ανάληψη δράσης για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Το σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα, της σημερινής εποχής, είναι η κλιματική αλλαγή που οφείλεται κυρίως στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Εάν δεν ελαττωθούν οι παρούσες εκπομπές αερίων CO₂, τότε υπολογίζεται πως η θερμοκρασία θα αυξηθεί έως και 4 βαθμούς Κελσίου παγκοσμίως, μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, προκαλεί προβλήματα σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς.

Στον παρακάτω πίνακα είναι συγκεντρωμένα τα αέρια, τα οποία επί το πλείστον πηγάζουν από την καύση συμβατικών καυσίμων, τα οποία έχουν ενεργό ρόλο στην μόλυνση του περιβάλλοντος και οι συγκεντρώσεις τους στην ατμόσφαιρα σε μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb) ή μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) σήμερα και κατά το έτος 1975, αλλά και η προέλευσή τους, είτε ανθρωπογενής είτε φυσική, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1.

ΑΕΡΙΑ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΟ ΕΤΟΣ 1975	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΣΗΜΕΡΑ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ
Διοξείδιο του άνθρακα	280 ppm	360 ppm	29%	Οργανική αποσύνθεση, Πυρκαγιές δασών, Ηφαίστεια, Καύσιμα, Αποδασώσεις κ.λ.π.
Μεθάνιο	0.70 ppm	1.70 ppm	143%	Υγρότοποι, Οργανική αποσύνθεση, Τερμίτες, Φυσικό αέριο, Πετρελαιοπηγές, Καύση βιομάζας, Ρυζοκαλλιέργειες, Σκουπιδότοποι
Οξειδία του αζώτου	280 ppb	310 ppb	11%	Δάση, Λιβάδια, Ωκεανοί, Απορρίμματα, Καλλιέργειες, Λιπάσματα, Καύση Βιομάζας, Καύσιμα
Χλωροφθοράνθρακες	0	900 ppt	-	Ψυγεία, Ψεκασμοί
Οζόν	Άγνωστο	Ποικίλει	-	Δράση ηλιακής ακτινοβολίας επί μορίων οξυγόνου και τεχνητή παραγωγή διά μέσου της φωτοχημικής αιθαλομίχλης

Πίνακας 1.1: Τα αέρια τα οποία έχουν ενεργό ρόλο στην κλιματική αλλαγή

Οι πιο γνωστές επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής είναι η ερημοποίηση τεράστιων εδαφών της εύκρατης ζώνης εξαιτίας της μετάβασης των ζωνών βροχόπτωσης στον βορρά, από τον ισημερινό και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας επειδή λιώνουν οι πάγοι των πόλων. Είναι αυτονόητο πως, η ραγδαία άνοδος της στάθμης της θάλασσας (ορισμένα μοντέλα υπολογίζουν πως, μέχρι το τέλος του αιώνα, θα έχει φτάσει τα 65 εκατοστά), θα έχει ως αποτέλεσμα την καταβύθιση ολόκληρων πόλεων και παράκτιων περιοχών. Όπως είναι φυσικό, η φοβερή λειψυδρία που θα προκαλέσει η ερημοποίηση θα κάνει ακατοίκητες τις περιοχές αυτές. Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα της παγκόσμιας θέρμανσης πιθανότατα να είναι απρόβλεπτες τόσο στην ανακατανομή της ποιότητας των εδαφών όσο και σε κλιματικό επίπεδο. Επίσης, ο βαθμός και ο τρόπος προσαρμογής ή μη του φυτικού και ζωικού βασιλείου

στις καινούργιες συνθήκες είναι απρόβλεπτος. Καθώς, λοιπόν, το περιβάλλον είναι συνυφασμένο με όλες τις πτυχές της ζωής και προβλέπεται πως, όχι μόνο θα αλλάξει, αλλά αυτή η αλλαγή θα έχει ως αποτέλεσμα αλυσιδωτά προβλήματα που θα επηρεάζουν το σύνολο της ανθρώπινης δραστηριότητας. Οι Ήπιες Μορφές Ενέργειας (ΗΠΕ), όπως η χρήση της γεωθερμικής, της ηλιακής, της αιολικής, της πυρηνικής ενέργειας αλλά και της βιομάζας, ίσως είναι ο τρόπος αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων. Σήμερα, με την ανάπτυξη της απαραίτητης τεχνολογίας και τεχνολογίας, η υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι εφικτή και η απόσυρση των συμβατικών καυσίμων.

1.4 Σκοπός της Εργασίας και Δομή

Η παρούσα εργασία στοχεύει στην συμβολή στον ενεργειακό μετασχηματισμό της χώρας στο άμεσο μέλλον, με την προσθήκη αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών έργων - αντλητικών συγκροτημάτων σε ταμιευτήρες που ήδη υπάρχουν - πιο συγκεκριμένα στον ποταμό Αχελώο, στους ταμιευτήρες του υδροηλεκτρικού συγκροτήματός του. Τα προβλήματα που προκαλεί στο δίκτυο, η διείσδυση της αιολικής ενέργειας μπορούν να αντιμετωπιστούν με την συμβολή ενός τέτοιου έργου. Ένα μεγάλο κομμάτι αυτής της μελέτης έχει ήδη ολοκληρωθεί στο ερευνητικό έργο «Διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής έργων αποταμίευσης ενέργειας μέσω άντλησης σε περιοχές του Ελληνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος Ηλεκτρικής ενέργειας» που πραγματοποιήθηκε, για την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Είναι γενικώς αποδεκτό πως, η καλύτερη αξιοποίηση των γραμμών μεταφοράς και όλου του πάρκου μονάδων παραγωγής, προκύπτει από τα υδροηλεκτρικά έργα (κυρίως εξαιτίας των πρόσθετων χαρακτηριστικών της και όχι αποκλειστικά από ενεργειακή άποψη), δίνουν τη δυνατότητα καλύτερης εκμετάλλευσης όλου του πάρκου μονάδων παραγωγής και των γραμμών μεταφοράς ενώ, συγχρόνως αυξάνουν την αξιοπιστία του δικτύου και την ελαστικότητα της παραγωγής. Με τα ενεργειακά αποτελέσματα να συμβάλλουν στην δημιουργία μιας εικόνας σχετικά με το ποσοστό της αιολικής ενέργειας που απορρίφθηκε, η οποία δεν θα μένει αχρησιμοποίητη αλλά αντιθέτως, θα επαναποδίδεται στο δίκτυο μέσω της

μεταβολής των υδροηλεκτρικών σταθμών σε αναστρέψιμους, η βιωσιμότητα της επένδυσης θα εξαρτάται από την πραγματοποίηση μιας οικονομοτεχνικής διερεύνησης της μεταβολής του υδροηλεκτρικού αυτού συστήματος. Ειδικότερα, καθώς από τις οκτώ πιθανές αναστρέψιμες μονάδες, από τις οποίες αποτελείται το συγκρότημα και οι επτά απαιτούν υψηλό κατασκευαστικό κόστος, είναι απαραίτητο να υπολογιστούν τόσο οι ώρες λειτουργίας τους όσο και οι η σειρά κατασκευής των μονάδων, προκειμένου να επιτευχθεί υψηλή επενδυτική απόδοση.

Παρόλα ταύτα, τα παραπάνω δεν απεικονίζουν όλες τις απαραίτητες βασικές παραμέτρους, οι οποίες οφείλουν να παρθούν ώστε να γίνει το έργο πραγματικότητα. Είναι επίσης αναγκαία και η επιπλέον έρευνα, προκειμένου να εντοπιστεί η βέλτιστη λύση τόσο από οικονομικής άποψης, όσο και ενεργειακής. Κατ' ακολουθίαν, η υιοθέτηση ενός κώδικα βελτιστοποίησης, που θα εντοπίζει την «χρυσή τομή» ανάμεσα στην μέγιστη δυνατή απόδοση της επένδυσης και στην μέγιστη δυνατή αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας που απορρίπτεται, είναι αναγκαία.

Σχετικά με την δομή της παρούσας εργασίας, σε πρώτο στάδιο, γίνεται αναφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο γίνεται πιο έντονο με την πάροδο του χρόνου και το ενεργειακό πρόβλημα το οποίο ταλανίζει τη διεθνή κοινότητα. Κατ' ακολουθίαν, η μεγαλύτερη αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) για την παραγωγή ενέργειας, θεωρείται ζωτικής σημασίας. Τα διαφορετικά είδη Α.Π.Ε., τα οφέλη και η σημασία τους, στον εγχώριο και παγκόσμιο ενεργειακό χάρτη, περιγράφονται στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

Έπειτα, στο κεφάλαιο 3, η ανάγκη αποθήκευσης της ενέργειας γίνεται σαφής με την αναφορά σε θέματα διείσδυσης της αιολικής ενέργειας στο δίκτυο. Επίσης, περιγράφονται οι τρόποι αποθήκευσης της ενέργειας ενώ υποστηρίζεται πως, η αντλησιοταμίευση, ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να αποθηκευτούν μεγάλες ποσότητες απορριφθείσας ενέργειας, από το δίκτυο.

Στο κεφάλαιο 4, αναλύονται λεπτομερώς τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα. Στην χώρα μας βρίσκονται σε λειτουργία δύο αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά έργα, του Πουρναριού

και της Σφηκιάς, ώστε να αξιοποιηθεί η περίσσεια ενέργεια η οποία προέρχεται από τα τεχνικά ελάχιστα, κατά την λειτουργία των σταθμών θερμοηλεκτρισμού. Στη συνέχεια, περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν. Ένας ικανοποιητικός αριθμός υδροηλεκτρικών σταθμών βρίσκεται ήδη στην Ελλάδα και των οποίων η μετατροπή σε αναστρέψιμους ενδεχομένως να συνέφερε τόσο οικονομικά όσο και ενεργειακά. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί του Στράτου, του Καστρακίου και των Κρεμαστών ήδη λειτουργούν στον ποταμό Αχελώο.

Στο κεφάλαιο 5, παρουσιάζεται έρευνα σχετικά με την δυνατότητα δημιουργίας αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών έργων, στον ταμιευτήρα Καστρακίου.

Στο κεφάλαιο 6 και 7, πραγματοποιείται μια προσομοίωση για την τροποποίηση του υδροηλεκτρικού συγκροτήματος σε αναστρέψιμο, διερευνάται ως επί το πλείστο σε ενεργειακό επίπεδο. Η προσομοίωση είναι δυνατή εξαιτίας της χρήσης δύο υπολογιστικών προγραμμάτων γλώσσας Matlab. Η πρώτη εκτιμά, σε πρώτο στάδιο, την χρήση διάφορων πηγών για την παραγωγή ενέργειας και στη συνέχεια, υπολογίζει, για ένα έτος αναφοράς θεωρητικό ,τις απορρίψεις της αιολικής ενέργειας από το δίκτυο. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση του ποσοστού των προαναφερόμενων απορρίψεων, οι οποίες ενδεχομένως να κατέχουν την δυνατότητα αποθήκευσης στο ανατρέψιμο έργο και επαναπόδοσης στο δίκτυο. Η δεύτερη είναι υπεύθυνη για την παραγωγή της υδροηλεκτρικής ενέργειας, που ακολουθεί, με την χρήση των υδροστροβίλων των σταθμών αλλά και τον υπολογισμό των ποσοστών της αποθηκευμένης αιολικής ενέργειας, με την χρήση των αντλητικών μονάδων των ταμιευτήρων. Επιπροσθέτως, φαίνονται οι ώρες λειτουργίας των μονάδων μέσα στον χρόνο, ο βαθμός αξιοποίησής τους και οι ώρες παραγωγής και άντλησης ενέργειας, τα οποία αναφύονται από διαφορετικές τιμές της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος και ορισμένων περιορισμών. Η υπόθεση τριών σεναρίων χρησιμοποιείται για την έκβαση όλων των αποτελεσμάτων. Έπειτα, καθώς ένα τέτοιο έργο ενδεχομένως να ωφελήσει αλλά η επένδυση σε αυτό να μην είναι βιώσιμη εξαιτίας του μεγάλου κόστους κατασκευής, πραγματοποιείται μια οικονομοτεχνική διερεύνηση. Η οικονομοτεχνική διερεύνηση παρουσιάζεται λεπτομερώς στο τελευταίο κεφάλαιο, μέσω της χρήσης της δεύτερης γλώσσας,

έχοντας πάντα υπόψη παραμέτρους υψίστης σημασίας, όπως η σειρά κατασκευής των μονάδων, με βάση το κόστος και οι ώρες λειτουργίας τους. Τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας αναλύονται και στο τέλος, συμπεραίνεται πως είναι δυνατή η υλοποίηση ορισμένων κατασκευάσιμων λύσεων.

Κεφάλαιο 2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Α.Π.Ε.

2.1 Εισαγωγή

«Βιώσιμη είναι η ανάπτυξη η οποία ικανοποιεί τις ανάγκες της σημερινής γενιάς χωρίς να χειροτερεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες». Αυτός είναι ο ορισμός που διατυπώθηκε από την παγκόσμια επιτροπή για την ανάπτυξη και το περιβάλλον. Η ύπαρξη ανανεώσιμων πόρων (όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας), οι οποίοι χρησιμοποιούνται στον μέγιστο βαθμό, είναι παράλληλη με εκείνη της βιώσιμης ανάπτυξης. Οποιαδήποτε πηγή είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια και ανανεώνεται εξαιτίας φαινομένων της φύσης μόνιμου κύκλου, θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με βάση τον παραπάνω ορισμό. Αντίθετα με τις συμβατικές πηγές ενέργειας, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε παγκόσμια κλίμακα και αποδεσμεύουν ραδιενεργά και τοξικά απόβλητα, διοξείδιο του άνθρακα ή και υδρογονάνθρακες, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αναφέρονται σε "καθαρές" μορφές ενέργειας, φιλικές στο περιβάλλον. Συγχρόνως, δεν είναι απαραίτητη κάποια παρέμβαση ενεργητικού χαρακτήρα για την εκμετάλλευσή τους (για παράδειγμα άντληση, εξόρυξη, καύση) παρά μόνο η εκμετάλλευσή της παρούσας φυσικής ροής ενέργειας. Επομένως, γίνεται αναφορά σε ένα είδος πηγών ενέργειας που δεν είναι δυνατόν να εξαντληθούν καθώς προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες (για παράδειγμα: ο άνεμος, ο ήλιος, οι υδατοπτώσεις, η ενέργεια των ρευμάτων, των κυμάτων, των ωκεανών, η γεωθερμία, η βιομάζα).

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούν να είναι είτε μετατρέπομενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως μηχανική ενέργεια ή ηλεκτρισμό), είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση). Το εκμεταλλεύσιμο, τεχνικά, ενεργειακό δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εκτιμάται πως είναι πολλαπλάσιο της συνολικής = κατανάλωσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Ωστόσο, η εκμετάλλευσή αυτού του δυναμικού (ή έστω η εκμετάλλευσή ενός κομμάτι του) εμποδίστηκαν από τις οικονομικές και πολιτικές σκοπιμότητες οι οποίες

είναι άμεσα συνδεδεμένες με τη διατήρηση του παρόντος επιπέδου ανάπτυξης στον ενεργειακό τομέα, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής, την υψηλή τιμή των καινούργιων ενεργειακών εφαρμογών.

Μετά την πρώτη πετρελαϊκή χρήση (1979), εκδηλώθηκε, για πρώτη φορά, ενδιαφέρον σχετικά με την ευρύτερη χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και για την ανάπτυξη οικονομικά αποδοτικών και αξιόπιστων τεχνολογιών, οι οποίες θα δεσμεύουν το δυναμικό τους. Αυτό ήταν αποτέλεσμα, ως επί το πλείστο, των συχνών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, το οποίο σταθεροποιήθηκε πρόσφατα, μετά την ανακάλυψη των επιπτώσεων της χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας στο περιβάλλον, παγκοσμίως [12].

Αρχικά, αξιοποιήθηκαν ως πειραματικές εφαρμογές καθώς ήταν ιδιαίτερα ακριβές. Στην σημερινή εποχή, όμως, με την συμβολή της τεχνολογικής εξέλιξης και την συνακόλουθη ανάπτυξη της τεχνολογικής παραγωγικής βάσης, συμπεριλαμβάνονται, από τα ανεπτυγμένα κράτη, στους επίσημους σχεδιασμούς τους σχετικά με την ενέργεια. Επίσης, τα κράτη θεωρούν την επιλογή αξιοποίησης των Α.Π.Ε. ως στρατηγική καθώς είναι πιο ασφαλείς, έχουν ωριμάσει, είναι ελκυστικές σε επενδυτές και ιδιώτες αλλά και ανταγωνιστικές. Ταυτόχρονα, η αντικατάσταση των συμβατών πηγών ενέργειας με τις Α.Π.Ε. συμβάλλει στην απεξάρτηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο, στη μείωση των εκπομπών CO₂ και στη βελτίωση των περιβαλλοντικών δεικτών.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν την δυνατότητα να δώσουν αποτελεσματικές απαντήσεις στο τρίπτυχο των προβλημάτων που ταλανίζουν τον ενεργειακό τομέα:

- A) Προστασία του περιβάλλοντος.
- B) Επάρκεια αποθεμάτων.
- Γ) Ασφάλεια ανεφοδιασμού.

Επιπρόσθετα, η δυνατότητα συμβολής των Α.Π.Ε. στην αυτάρκεια των αναπτυσσόμενων ή και μικρών κρατών, στον τομέα ενέργειας, αποτέλεσε μια εναλλακτική πρόταση στο πετρέλαιο και επομένως, προώθησε περαιτέρω της Α.Ε.Π. στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά. Εξάλλου, δεν είναι κρυφό το γεγονός ότι, τα κράτη που έχουν υπό την κατοχή τους τις πρωταρχικές μορφές ενέργειας, τείνουν να της χρησιμοποιούν για τον

ευκολότερο οικονομικό και πολιτικό έλεγχο των υπολοίπων (όπως η οικονομική και πολιτική κατάσταση στη Μέση Ανατολή). Εφόσον, όμως, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι σε θέση να παράγουν την απαραίτητη ενέργεια για την ικανοποίηση των αναγκών του πληθυσμού, παύει να υπάρχει η ανάγκη η μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις και η ύπαρξη μεγάλων μονάδων παραγωγής ενέργειας. Συγχρόνως, συμβάλλει στην ανάπτυξη και την αποκέντρωση της τοπικής οικονομίας, σε περιοχές όπου δημιουργούνται τέτοιες μονάδες.

Επίσης, μπορούν να συμβάλλουν περαιτέρω στην οικονομία με την βελτίωση της απασχόλησης. Η δυναμική των Α.Ε.Π. είναι εξαιρετικά σημαντική στον τομέα της διατήρησης και δημιουργίας θέσεων εργασίας. Με βάση μια έρευνα του Παγκόσμιου Ταμείου για την Φύση σχετικά τη βιομάζα («Biomass Study») καταγράφει πως, στα κράτη – μέλη του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης κατέχουν 170.000-290.000 θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης αποκλειστικά για την προαναφερόμενη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Αυτές οι θέσεις εργασίας εκτιμάται πως θα έχουν δημιουργηθεί σε περιοχές αδύναμες από υποδομές και αγροτικές, γεγονός που τις καθιστά εξαιρετικά σημαντικές.

Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα, είναι ο εξοπλισμός ο οποίος είναι απλός στην συντήρηση και την κατασκευή. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με τις ελάχιστες ή μικρές απαιτήσεις συντήρησης και το μηδενικό κόστος πρώτης ύλης, σημαίνει πως το κόστος λειτουργίας θα είναι περιορισμένο. Με αυτόν τον τρόπο, το υψηλό κόστος της εγκατάστασης των μονάδων εκμετάλλευσής τους αντισταθμίζεται. Επιπλέον, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συμπεριλαμβάνουν τα εξής τεχνικά πλεονεκτήματα: Δυνατότητα παραλλαγής υποδομών παραγωγής θερμότητας, τεχνολογιών και ενεργειακών φορέων, ηλεκτρισμού και καυσίμων, η επίτευξη ευελιξίας στα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής, προκειμένου να ανταπεξέλθουν στη εναλλασσόμενη ζήτηση ηλεκτρικής Ενέργειας.

Οι φυσικοί περιορισμοί του εκάστοτε ενεργειακού πόρου παίζει σημαντικό ρόλο στην επιλογή μιας χώρα μεταξύ των διαθέσιμων πόρων (μεγίστη μέση ηλιακή έκθεση ανά μονάδα επιφάνειας, αιολικό δυναμικό ανά περιοχή, υδατικό δυναμικό, κ.λπ.). Επομένως, κάθε πόρος κατέχει ένα κατώφλι αναφορικά με την βέλτιστη απόδοση.

Είναι προφανές πως, η Ευρωπαϊκή Ένωση, η οποία στοχεύει στον περιορισμό των ρύπων του διοξειδίου του άνθρακα, μπορεί να καταφύγει μόνο στην αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το Πρωτόκολλο το Κιότο (1997) αποτέλεσε την εκκίνηση των επενδύσεων σε ανανεώσιμες πηγές, οι οποίες αυξάνονται κάθε χρόνο. Η εγκατεστημένη ισχύς στα φωτοβολταϊκά αυξάνεται κατά 50-60% ετησίως, τις ανεμογεννήτριες κατά 25-30% ετησίως, την παραγωγή και χρήση βιοκαυσίμων κατά 15-20% ετησίως, τους ηλιακοί συλλέκτες για θέρμανση νερού κατά 15-20% ετησίως [13].

Καθώς ο αριθμός των χωρών που επιθυμούν να αυξήσουν τα ποσοστά παραγωγής ενέργειας μέσω των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, διαμορφώνουν και ανάλογα θεσμικά πλαίσια με σκοπό την προσέλκυση επενδυτών αυτού του τομέα. Μέχρι σήμερα, 58 χώρες έχουν συμπεριλάβει τους στόχους τους σχετικά με την χρησιμοποίηση των Α.Π.Ε. στο ενεργειακό τους ισοζύγιο. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται αναπτυσσόμενες χώρες αλλά και περιφέρειες/πολιτείες του Καναδά και των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (Η.Π.Α.) και περισσότερες έχουν αναπτύξει συγκεκριμένα κίνητρα και πολιτικές για την εκμετάλλευση και αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η Ευρώπη κατέχει την πρώτη θέση σε αυτόν τον κλάδο καθώς κατέχει το 35% του παγκόσμιου δυναμικού σε παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε.. Στην σημερινή εποχή, οι χώρες οι οποίες κατέχουν αιολική ενέργεια είναι πάνω από 70, ανάμεσά τους και αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Αίγυπτος, η Κίνα, το Μεξικό, η Βραζιλία, το Ιράν, κ.α. Η Κίνα και η Ινδία, ειδικά, κατέχουν την 6η και 4η θέση παγκοσμίως (2206) αναφορικά με την εγκατεστημένη ισχύ αιολικών πάρκων, επομένως η ισχύς της αιολικής ενέργειας που εκμεταλλεύονται είναι τεράστια [14].

Κάποιες χώρες, όπως η Γερμανία, αξιοποίησαν σε τέτοιο βαθμό εναλλακτικές μορφές ενέργειας που κατάφεραν να ωφεληθούν σε κατασκευαστικό επίπεδο και σε τεχνογνωσία. Η βιομηχανική παραγωγή μηχανικών εργαλείων και αυτοκινήτων σε συνδυασμό με τις κατασκευές και τον εξοπλισμό στον τομέα των Α.Ε.Π. είναι το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής της βιομηχανίας της Γερμανίας. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά, χρησιμοποιούνται ηλιακοί συλλέκτες τα οποία αποτελούνται από

φωτοβολταϊκές κυψέλες. Ο μεγαλύτερος παραγωγός των τελευταίων, η Q-CELLS, βρίσκεται στο Wolfen της Γερμανίας, αν και δεν είναι γνωστή για την ηλιοφάνειά της. Κι όμως κατέχει την πρώτη θέση σε παραγωγή ενέργειας από Α.Π.Ε., παγκοσμίως και αποτελεί την 3η μεγαλύτερη παραγωγό ηλιακών συλλεκτών, πίσω από την Ιαπωνία και την Κίνα. Στη Σκωτία, οι πιο σημαντικές οικονομικές δραστηριότητες αφορούν τις Α.Π.Ε. 1,5 εκατομμύρια Σκωτσέζικα νοικοκυριά λαμβάνουν ρεύμα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, επίτευγμα πρωτοφανές και σπουδαίο. Στην γιορτή της Πράσινης Ενέργειας, του 2007, ανακοινώθηκε πως η ικανότητα παραγωγής της πυρηνικής ενέργειας ξεπεράστηκε από εκείνη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [15],[16].

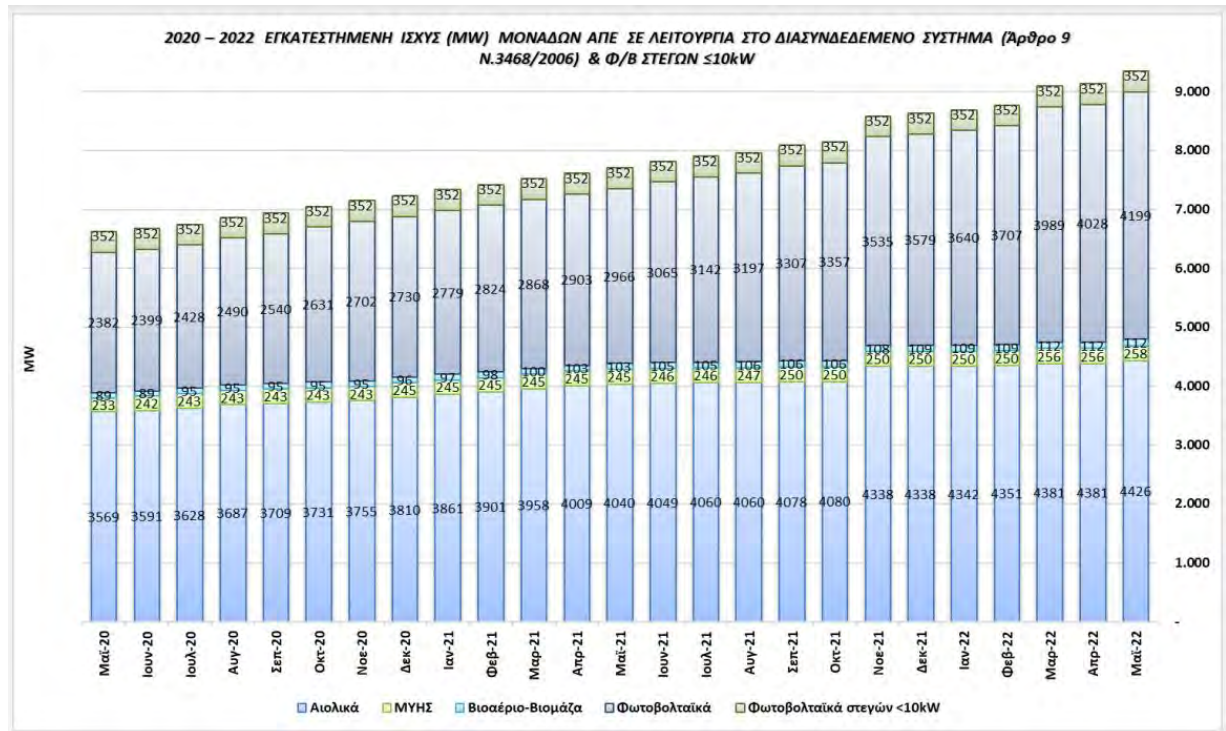
Επιπλέον, καθ' όλη την διάρκεια της οικονομικής κρίσης, η Σκωτία διέθετε υψηλούς οικονομικούς δείκτες, γεγονός που μαρτυράει τον σημαντικό ρόλο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην οικονομία της χώρας. Η Δανία κατέχει παρόμοια οικονομικά οφέλη, οι εργάτες που ζουν από την αιολική ενέργεια (κατασκευάζοντας ή σχεδιάζοντας τμήματα εξοπλισμού ή ολόκληρες ανεμογεννήτριες ή προσφέροντας υπηρεσίες σχετικά με την κατασκευή έργων ή συμβουλευτικές υπηρεσίες) ξεπερνάνε τους 15.000. Σήμερα, περισσότεροι άνθρωποι απασχολούνται στην βιομηχανία αιολικής ενέργειας της Δανίας από ότι, λόγω χάρη, στην ιχθυοβιομηχανία. Επιπλέον, η παραγωγή ανεμογεννητριών στη Δανία προσφέρει 5.000 επιπλέον θέσεις εργασίας σε τρίτα κράτη, όπου δημιουργούνται κομμάτια του εξοπλισμού των ανεμογεννητριών, όπως τα κιβώτια ταχυτήτων και οι γεννήτριες.

2.2 Βασικότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Τα βασικότερα είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

- Ηλιακή ενέργεια
- Αιολική ενέργεια
- Βιομάζα
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Κυματική ενέργεια
- Γεωθερμική ενέργεια

Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ΑΠΕ στο διασυνδεδεμένο σύστημα για την χρονική περίοδο 2 ετών, από το 2020 έως το 2022.



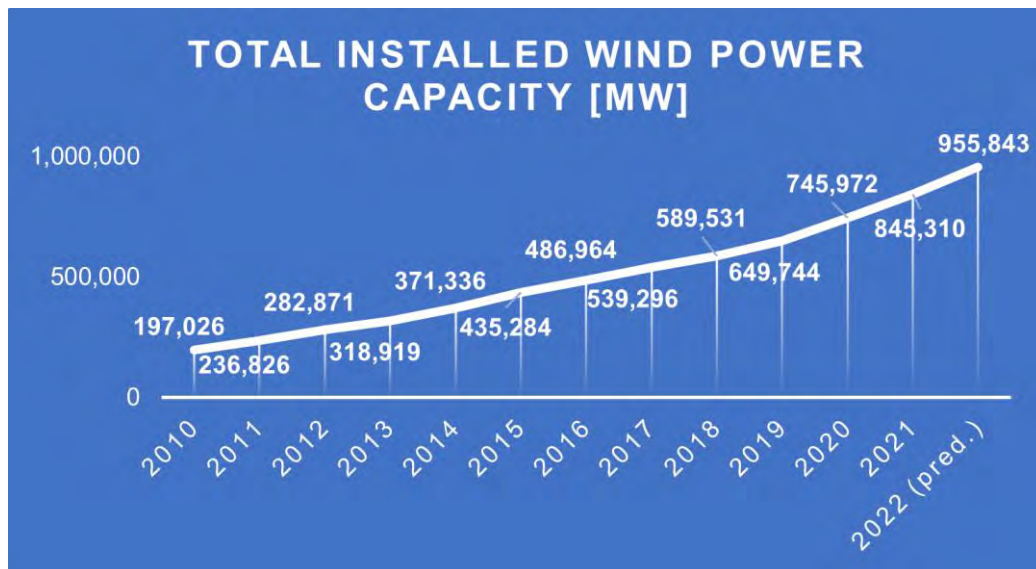
Σχήμα 2.1: Η εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ΑΠΕ για την περίοδο Μάιος 2020 έως Μάιος 2022 [17]

Αναλυτικότερα:

Α. Αιολική Ενέργεια

Η ραγδαία πτώση του κόστους παραγωγής της αιολικής ενέργειας την καθιστά ιδιαίτερα δημοφιλή με αποτέλεσμα την αύξηση της ανταγωνιστικότητας της απέναντι από την παραγωγή ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ραγδαία ανάπτυξη της βιομηχανίας της αιολικής ενέργειας και την επέκτασή της σε ανάπτυξη αιολικών πάρκων και εντός θαλασσών. Έτσι, το παγκόσμιο εγκατεστημένο δυναμικό αιολικής ενέργειας του 2005 έφτασε τα 60.000MW, από τα 10.000MW του 1998 και άγγιξε τα 840.900MW το 2022. Στην Ελλάδα, το 2022 η ισχύς των εγκατεστημένων ανεμογεννητριών ανερχόταν στα

4.534 MW [18]. Αν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν σχετικά χαμηλό κόστος, η αιολική ενέργεια έχει ακόμα πιο χαμηλό και αυτός ήταν και ο λόγος αυτής της ραγδαίας ανάπτυξης. Σε αντίθεση με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, η λειτουργία ενός αιολικού πάρκου δεν έχει ανάγκη την χρησιμοποίηση αερίων (καρκινογόνα μικροσωματίδια, διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο του άνθρακα, κ.α.), τα οποία ρυπαίνουν το περιβάλλον. Πλέον οι ανεμογεννήτριες έχουν αναβαθμιστεί και πολλαπλασιάσει την παραγωγική της ικανότητα, αν ληφθεί υπόψη πως στις χερσαίες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται γεννήτριες ισχύος 7 MW ενώ κατά το παρελθόν πολύ μικρότερες, ακόμη και μικρότερες των 2 MW.



Σχήμα 2.2: Η εγκατεστημένη ισχύς της αιολικής ενέργειας παγκοσμίως, σε MW [19]

B. Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι επωφελής για μία ποικιλία συστημάτων με την ενέργεια που παράγει. Η ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται μέσω των φωτοβολταϊκών σε ηλεκτρική ενέργεια, τα οποία συνήθως τοποθετούνται στις στέγες ή τις ταράτσες. Με την συμβολή των φωτοβολταϊκών, αραιοκατοικημένες περιοχές μπορούν να λάβουν ενέργεια, ακόμα και αν δεν προμηθεύονται από τα δίκτυα ηλεκτροδότησης, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη και την

βελτίωση της ποιότητας ζωής. Η θερμότητα του ήλιου αξιοποιείται από σταθμούς ηλιακής θερμικής ενέργειας, με την συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των κατόπτρων, ή άλλων μέσων, ώστε να ζεσταθεί το νερό και έπειτα, με την χρήση της γεννήτριας, την μετατροπή του ατμού σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλιακή θερμική ενέργεια αποτελεί ενδεχομένως μία λύση για τις περιοχές με μεγάλα ποσοστά ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η μεταφορά ενέργειας σε ψυχρές ανεπτυγμένες χώρες από θερμές αναπτυσσόμενες, παρουσιάζονται ως μελλοντική δυνατότητα. Η ενέργεια του ήλιου μπορεί να αξιοποιηθεί, επίσης, με απλό τρόπο, για την θέρμανση του νερού. Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται από τους ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες προκειμένου να ζεσταθεί το νερό της βρύσης. Με τον ίδιο τρόπο αξιοποιείται, σε μικρότερη έκταση, για την θέρμανση του νερού σε ολόκληρες χώρες χάρων. Την δεκαετία του 1970 η ηλιακή ενέργεια ήταν 90% πιο ακριβή από ότι σήμερα. Επιπρόσθετα, η ενέργεια που παράγεται από σπίτια με ηλιακή οροφή είναι περισσότερη από όση χρειάζεται για καθημερινή χρήση οπότε θα μπορούσε να μεταπωληθεί στις τοπικές εταιρείες ηλεκτρισμού.

Γ. Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από την αξιοποίηση του νερού ποταμών, συγκεκριμένα της μηχανικής του ενέργειας και την μετέπειτα μεταβολή της σε ηλεκτρική, μέσω ηλεκτρογεννητριών και στροβίλων. Η ίδια η φύση δημιουργεί αυτήν την μέσω ρευμάτων και δινών, εξαιτίας της κατηφορικής πορείας του νερού σε ποτάμια, χείμαρρους και ρυάκια έως ότου να φτάσει στη θάλασσα. Η ενέργεια που παράγεται είναι ανάλογη με τον όγκο και το ύψος του αποθηκευμένου νερού. Σήμερα, η πιο διαδεδομένη και δημοφιλής ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι η υδροηλεκτρική. Είναι υπεύθυνη για το 6% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας και το 19% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρισμού. Σήμερα, περίπου 45.000 υδροηλεκτρικά φράγματα, μεγάλου μεγέθους, βρίσκονται σε λειτουργία παγκοσμίως. Οι πρώτες χώρες στην παραγωγή ενέργειας μέσω υδροηλεκτρισμού είναι η Βραζιλία, οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και ο Καναδάς.

Δ. Γεωθερμική ενέργεια

Η παραγωγή ενέργειας μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας της Γης λέγεται γεωθερμική. Επιπρόσθετα, υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης αντλιών γεωθερμικής ενέργειας σχεδόν παντού. Υπάρχουν δύο είδη τεχνολογιών για να αντληθεί γεωθερμική ενέργεια. Η πρώτη είναι η βαθιά γεωθερμική, η οποία βρίσκεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες και η ρηχή γεωθερμική, η οποία βρίσκεται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Τα υπόγεια ύδατα της Γης ή τα 15 ανώτερα μέτρα της επιφάνειας κατέχουν, ως επί το πλείστο, σταθερή θερμοκρασία, η οποία ονομάζεται αβαθής γεωθερμική ενέργεια, είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί για την ψύξη ή θέρμανση κτηρίων. Η κυκλοφορία του υγρού πραγματοποιείται με την βοήθεια σωλήνων μέσα από το έδαφος, το οποίο είναι θερμό. Αυτό το υγρό απορροφά την θερμότητα του εδάφους, η οποία παραμένει, μέσω συλλεκτών ή γεωεναλλακτών θερμότητας και τον χειμώνα, που τα κτίρια στην επιφάνεια είναι πιο κρύα από το έδαφος, το θερμό υγρό μεταφέρεται στα κτίρια. Η αντίστροφη διαδικασία πραγματοποιείται το καλοκαίρι, που το έδαφος είναι πιο δροσερό, με άλλα λόγια η θερμότητα μεταφέρεται από τα κτήρια στο έδαφος, μέσω της αντλίας.

Για την άντληση της βαθιάς γεωθερμικής ενέργειας, πρέπει να ανοιχτούν πηγάδια σε μεγάλο βάθος. Επιπλέον, στην περίπτωση που υπάρχουν θερμά υπόγεια ύδατα, είναι δυνατή η χρήση σταθμών υδροθερμικής ενέργειας προκειμένου να παραχθεί θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν θερμά υπόγεια ύδατα, η άντληση του νερού μπορεί να γίνει μέσω καυτών στρωμάτων βράχου και έπειτα, με την διάνοιξη κι άλλου πηγαδιού, να επιστρέψει στην επιφάνεια σε υψηλή θερμοκρασία.

Η καύση ορυκτών καυσίμων γίνεται άχρηστη με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Μόνο ελάχιστα ίχνη αερίων και περίσσιος ατμός εκπέμπεται από τους σταθμούς παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας.

Ε. Η ενέργεια από βιομάζα

Οποιαδήποτε οργανική ύλη προκύπτει από την φωτοσύνθεση των φυτών, ονομάζεται βιομάζα. Η ενέργεια που προέρχεται από την βιομάζα προκύπτει από ζωικό και φυτικό υλικό,

όπως τα υπολείμματα από τις δασικές και γεωργικές διαδικασίες, το ξύλο από τα δάση, και τα ζωικά, ανθρώπινα ή βιομηχανικά απόβλητα. Η βιομάζα χωρίζεται σε δύο κατηγορίες :

Παραδοσιακή βιομάζα: Χρησιμοποιείται σε μικρή κλίμακα και σε αναπτυσσόμενες χώρες. Συμπεριλαμβάνει το κάρβουνο και τα καυσόξυλα για οικιακή χρήση, την κοπριά ζώων και τα φυτικά υπολείμματα, την ήρα του ρυζιού. Εξαιτίας της έλλειψης εναλλακτικών επιλογών, η παραδοσιακή βιομάζα εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε ανοιχτά τζάκια για θέρμανση και για μαγείρεμα, με αποτέλεσμα να κατέχει μεγάλη σημασία για αυτές τις περιοχές.

Σύγχρονη βιομάζα: Σκοπός της αξιοποίησής της είναι η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων ως ενεργειακές πηγές και χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα. Συμπεριλαμβάνει τα γεωργικά υπολείμματα και ξερά κλαδιά από το δάσος, τα οικιακά απόβλητα, τα βιοκαύσιμα και τα βιοαέρια από καλλιέργειες ενέργειας (για παράδειγμα φυτά που περιέχουν σάκχαρα και άμυλο ή/και έλαια από φυτά). Η σύγχρονη βιομάζα αξιοποιείται για την παραγωγή θερμότητας και ενέργειας σε μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις. Γενικά, όλες οι εφαρμογές της βιομάζας (καύσιμα, θέρμανση, παραγωγή ενέργειας) συνεισφέρουν στη διαφύλαξη των φυσικών πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος, ανεξαρτήτως της χρήσης ειδικών καλλιεργειών και αποβλήτων.

ΣΤ. Κυματική ενέργεια

Όπως όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έτσι και ο θαλάσσιος κυματισμός αποτελεί μία ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή. Επιπλέον, κατέχει την πιο μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα, μεταξύ όλων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία είναι δυνατόν να αγγίξει τα 1000 kW/m μετώπου κύματος. Έχει εκτιμηθεί πως, η εκμετάλλευση έστω και του 1% του κυματικού δυναμικού της Γης, θα παρήγαγε την τετραπλάσια ποσότητα της της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης.

Η παρουσίαση της αξιοποίησης του θαλάσσιου κυματισμού ως εναλλακτική λύση για την παραγωγή ενέργειας δεν είναι πρόσφατη. Καταγράφεται το 1799, για πρώτη φορά, με μια ευρεσιτεχνία, ενώ μια πλειάδα τεχνολογιών λειτούργησε και επινοήθηκε, σε μικρότερη

κλίμακα, έως τον περασμένο αιώνα. Ωστόσο, η απαρχές της συντονισμένης μελέτης του αυτό ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1973, με αφορμή την πετρελαϊκή κρίση, όταν διάφορες δυτικές ευρωπαϊκές χώρες, οι οποίες κατείχαν ακτές ανατολικά του Ατλαντικού, όπου υπάρχουν μεγάλα επίπεδα κυματικού δυναμικού, ξεκίνησαν μελέτες με σκοπό να αναπτυχθούν τεχνολογίες για την αξιοποίηση κυματικής ενέργειας [20].

Ωστόσο, αυτές οι τεχνολογίες πρέπει να λειτουργήσουν σε ένα αντίξοο περιβάλλον, το οποίο είχε ανασταλτικά αποτελέσματα, στο παρελθόν. Εξαιτίας, λοιπόν, των ακραίων καιρικών συνθηκών και των τεράστιων καταπονήσεων που προκαλούν, απαιτούνται υψηλοί δείκτες αντοχής των μηχανημάτων, που συνεπάγεται υψηλό κατασκευαστικό κόστος. Επιπρόσθετα, η τεχνολογίες πλωτής εγκατάστασης έχουν επίσης υψηλό κόστος λειτουργίας και διασύνδεσης, εξαιτίας της μεγάλης απόστασης από την ακτή.

Μόνο οι υψηλοί δείκτες απόδοσης, δηλαδή την μέγιστη δυνατή αξιοποίηση της υψηλής ενεργειακής πυκνότητας των κυμάτων, μπορεί να αντισταθμιστεί το υψηλό κόστος. Η σημερινή τεχνολογία εξελίσσεται με βάση αυτή την αντιστάθμιση και γι' αυτό σημειώνεται η ανάλογη βελτίωση των τεχνικών χαρακτηριστικών τους, στην εποχή μας. Αποτέλεσμα των παραπάνω ήταν η μείωση του ενεργειακού κόστους σε 20-30 δρχ/kWh, από 100 δρχ/kWh που ήταν την δεκαετία του 1980. Η δείκτες απόδοσης των τεχνολογιών εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας συνεχίζουν να βελτιώνονται με τέτοιο ρυθμό που εκτιμάται πως θα είναι σύντομα βιομηχανικά εκμεταλλεύσιμες [20]. Η μη εγκατάσταση μονάδων παραγωγής αυτής της τεχνολογίας, δεν επιτρέπει την περαιτέρω ανάπτυξη του κλάδου και συνεπώς την βελτιστοποίηση της οικονομικής βιωσιμότητας και αποδοτικότητας των έργων.

Ωστόσο, η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση είναι πολύ μικρότερη από το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (δηλαδή η ποσότητα ενέργειας η οποία αντλείται μέσω της χρήσης υπαρχουσών τεχνολογιών και αντλείται από την φυσική προσφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας). Η σημερινή παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας είναι σχεδόν 7.000 φορές μικρότερη από ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ο πλανήτης μας. Με βάση την θεωρία, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε επιφάνεια 700χλμ. x 700χλμ. Θα κάλυπτε την σημερινή παγκόσμια κατανάλωση [21].

Επιπρόσθετα, το παγκόσμιο δυναμικό αιολικής ενέργειας είναι εξίσου μεγάλο. Μόνο σε τοποθεσίες που έχουν μέση ταχύτητα ανέμου τουλάχιστον 5 m/s σε ύψος 10 μέτρων, το θεωρητικό δυναμικό τους αγγίζει το λιγότερο 500.000 TWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως. Η σημερινή παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας είναι 35 φορές μικρότερη. Ωστόσο, το τεχνολογικό δυναμικό και θεωρητικό δυναμικό δεν ισοδυναμούν με το οικονομικά διαθέσιμο δυναμικό εφόσον ληφθούν υπόψη οικονομικοί, περιβαλλοντικοί και τεχνολογικοί παράγοντες. Επίσης υψηλό είναι το δυναμικό παραγωγής ενέργειας με βιομάζα. Η βιομάζα είχε την δυνατότητα να καλύψει το 24% των ενεργειακών αναγκών, παγκοσμίως, το 2020 [21].

Τέλος, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας έχει το εκτιμώμενα χαμηλότερο όριο, με περίπου 50GWe και αντίστοιχη τιμή για άμεσες χρήσεις το 1TWth.

2.3 Προτερήματα Αξιοποίησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Τα βασικά προτερήματα αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι τα εξής:

- Η εκμετάλλευσή τους είναι ευρέως αποδεκτή καθώς είναι φιλικές προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον.
- Συμβάλλουν στην απεξάρτηση από πηγές ενέργειας που εξαντλούνται (ο άνθρακας, το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο) αφού οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι στην ουσία ανεξάντλητες (άνεμος, ήλιος, οργανική ύλη, ποτάμια, κ.α.).
- Η εξοικονόμηση ενέργειας και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν τις πιο φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις προκειμένου να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου και να περιοριστούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Επιπρόσθετα, η μείωση των ρυπαντών (τα αιωρούμενα σωματίδια, τα οξείδια του αζώτου που προκαλούν το φωτοχημικό νέφος , τα οξείδια του θείου που προκαλούν την όξινη βροχή κ.α.).
- Είναι γεωγραφικά διάσπαρτες και ταυτόχρονα, βοηθάνε στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, προκειμένου να γίνει δυνατή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, μειώνοντας τις απώλειες που

προκαλούνται από την μεταφορά ενέργειας και ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής (δρόμοι, δίκτυα, κλπ.).

- Ως εγχώριες πηγές ενέργειας συμβάλλουν στην ενδυνάμωση της ασφάλειας του εφοδιασμού ενέργειας σε επίπεδο εθνικό και της ενεργειακής ανεξαρτησίας.
- Κάλυψη ποικιλίας ενεργειακών αναγκών με την δυνατότητα ορθολογικής εκμετάλλευσης των ενεργειακών πόρων, (όπως αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή, ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, κ.α.).
- Με στόχο την κάλυψη των αναγκών των χρηστών, οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σχεδιάζονται τόσο σε μεγάλη όσο και σε μικρή κλίμακα εφαρμογών, και χρειάζονται σχετικά μικρό κατασκευαστικό χρόνο, με αποτέλεσμα τη γρήγορη ανταπόκριση στη ζήτηση ενέργειας.
- Το λειτουργικό τους κόστος είναι χαμηλό καθώς οι διακυμάνσεις των τιμών των συμβατικών καυσίμων και οι διακυμάνσεις της παγκόσμιας οικονομίας, δεν τις επηρεάζουν.
- Δημιουργία καινούργιων θέσεων εργασίας μέσω των επενδύσεων στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Με τις ανάλογες επενδύσεις (όπως , τηλεθέρμανση μικρών πόλεων ή/και οικισμών με ζεστό νερό ή ατμό, που πηγάζει από την ενεργειακή εκμετάλλευση δασικής και γεωργικής βιομάζας, χρήση γεωθερμικής ενέργειας για την καλλιέργεια θερμοκηπίων, κ.α.) μπορούν να συμβάλλουν στην την τοπική ανάπτυξη, την κοινωνική και οικονομική αναζωογόνηση υποβαθμισμένων περιοχών.

2.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα

Η χώρα μας είναι ένας από τους πιο ιδανικούς τόπους για την ευρεία χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ποικιλομορφία των κλιματολογικών στοιχείων της σε συνδυασμό με τα φυσικά χαρακτηριστικά της πληρούν όλες τις προϋποθέσεις για την εφαρμογή οποιασδήποτε ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Η Ελλάδα βρίσκεται σε μια περιοχή με συχνούς ισχυρούς ανέμους, σημαντική ποσότητα υδάτινων πόρων και είναι εξαιρετικά ηλιόλουστη. Η χώρα μας έχει ίσως ανεξάντλητο δυναμικό κάθε μορφής ανανεώσιμης πηγής

ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, με βάση μία μελέτη για τις μεσογειακές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εκτιμάται πως το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό υπερβαίνει τις 218.000 GWh, ενώ η εκμεταλλεύσιμη οικονομικά παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα, από κάθε μορφής ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, ανέρχεται σε 55.000 GWh το χρόνο [22].

Με γεωγραφικό πλάτος 33°, η Ελλάδα απολαμβάνει μια εκτενή περίοδο ηλιοφάνειας, παρουσιάζοντας έτσι την δυνατότητα μιας σημαντικής εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Η ετήσια ηλιοφάνεια της χώρας διαρκεί πάνω από 2.700 ώρες, στο μεγαλύτερο τμήμα της. Στην Ήπειρο και την Δυτική Μακεδονία σημειώνονται οι μικρότερες τιμές της (2.200 έως 2.300 ώρες), ενώ στη νότια Κρήτη και τη Ρόδο παρατηρούνται πάνω από 3.100 ώρες ηλιοφάνειας ετησίως. Ο συνδυασμός της υψηλής ηλιοφάνειας της Ελλάδας και του γεωγραφικού πλάτους της συνεπάγεται ο ημερήσιος μέσος όρος των 4,3kwh ηλιακής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας. Αυτό κάνει φανερή την δυνατότητα εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας, με οικονομικά οφέλη, σε ένα σημαντικό εύρος εφαρμογών, σε ολόκληρη την επικράτειά της. Υπολογίζεται πως η ηλιακή ενέργεια μπορεί να καλύψει το 1/3 των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρισμό (με την ηλεκτρική κατανάλωση να αντιστοιχεί σε 58,7TWh το 2005). Επιπλέον, η παρουσία ποικιλίας ορμητικών αλλά μικρών ποταμών διάσπαρτα, η οποία οφείλεται στο έντονο τοπογραφικό της ανάγλυφο, κάνει δυνατή την εκμετάλλευση της διαθέσιμης υδραυλικής ενέργειας ως αποτέλεσμα της φυσικής ροής του νερού από υψηλότερα σε κατώτερα υψομετρικά επίπεδα .

Υπολογίζεται πως το ελληνικό υδροδυναμικό που μπορεί να εκμεταλλευτεί είναι συνολικά 10.000GWh/έτος (με τεχνικά εκμεταλλεύσιμο υδροδυναμικό 21.500GWh και θεωρητικό επιφανειακό υδροδυναμικό 80.000GWh). Θεωρείται πως η αξιοποίηση μικρών υδροηλεκτρικών έργων (μέχρι 5MW) μπορεί να συμβάλλει στην εκμετάλλευση του 10% περίπου του δυναμικού αυτού (1.000GWh). Επιπρόσθετα, η χώρα κατέχει φυσικές διόδους, εξαιτίας της συνύπαρξης ηπειρωτικού και νησιωτικού τοπίου, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών, με αποτέλεσμα την διαμόρφωση ενός μεγάλου αιολικού δυναμικού, ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές. Από το συνολικό ποσοστό των ηλεκτρικών αναγκών της Ελλάδας, υπολογίζεται πως το 13,6% μπορεί

να καλυφθεί από το αιολικό δυναμικό. Επιπρόσθετα, η εκμετάλλευση της «πράσινης» ενέργειας, η οποία προέρχεται από τα έγκατα της γης, (δηλαδή η ενέργεια που παράγεται από την πλειάδα θερμών πηγών που βρίσκονται διασκορπισμένες στις νησιωτικές αλλά και στις χερσαίες περιοχές της χώρας), είναι ιδιαίτερα επωφελής στην χώρα μας. Σύμφωνα με τα ισχύοντα στοιχεία, το ενεργειακό απόθεμα στα έγκατα της γης και με τη μορφή θερμού νερού συνεπάγεται με περισσότερο από 1.000 θερμικά MW ετησίως. Η ισχύ του άμεσα αξιοποιήσιμου δυναμικού ξεπερνά σε 11.964 τα 200MWt και είναι δυνατόν να λειτουργήσει ως υποκατάστατο για 160.000 τόνους πετρελαίου ανά έτος. Όσον αφορά την βιομάζα, η Ελλάδα, έχει διαθέσιμα κατ' έτος δασικά και γεωργικά υπολείμματα, των οποίων η ενέργεια ισοδυναμεί με 3-4 εκατομμύρια τόνους πετρελαίου, ενώ, με βάση τα σημερινά δεδομένα, τα ποσοστά των δασικών και γεωργικών υπολειμμάτων είναι μικρότερα και ξεπερνιούνται από το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών. Το παραπάνω ποσό καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες που ικανοποιεί το 30-40% της ποσότητας πετρελαίου που καταναλώνει η χώρα μας ετησίως. Σημειώνεται πως 0,4 τόνοι πετρελαίου ισοδυναμούν με 1 τόνο βιομάζας. Όμως, με τα σημερινά δεδομένα, η αξιοποίηση της διαθέσιμης βιομάζας καλύπτει μόνο το 3% των ενεργειακών αναγκών της Ελλάδας. Επομένως, ο νόμος σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ο οποίος εγκρίθηκε στις 25 Μαΐου 2010 από το Κοινοβούλιο της Ελλάδας, προσδιορίζει ως δεσμευτικό στόχο του έθνους για την αξιοποίηση των Α.Π.Ε. στην κάλυψη ενέργειας του 2020, το 20% και το 40% για τον ηλεκτρισμό. Επιπλέον, προέβλεπε πως μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου του 2019, ενεργειακή κατανάλωση των νεόκτιστων κτηρίων πρέπει να καλύπτεται από αντλίες θερμότητας, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συστήματα τηλεθέρμανσης σε κλίμακα οικοδομικού τετραγώνου ή περιοχής και συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Όσον αφορά τα κτήρια του δημόσιου τομέα, η παραπάνω νομοθεσία θα τεθεί σε ισχύ το 2014, 5 χρόνια.

Κεφάλαιο 3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1 Η Αναγκαιότητα Αποθήκευσης Ενέργειας

Η αποθήκευση ενέργειας γίνεται ολοένα και πιο σημαντική στον σημερινό κόσμο καθώς η ζήτηση για καθαρές και αξιόπιστες πηγές ενέργειας συνεχίζει να αυξάνεται. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας παρέχουν έναν τρόπο αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, για χρήση σε περιόδους χαμηλής παραγωγής ή υψηλής ζήτησης. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για την ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας στο δίκτυο και τη σταθερότητα του συνολικού ενεργειακού συστήματος.

Ένα από τα κύρια οφέλη της αποθήκευσης ενέργειας είναι η ικανότητά της να παρέχει σταθερότητα στο δίκτυο και να υποστηρίζει την ενοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να αποθηκεύσει την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο και την ηλιακή ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και στη συνέχεια να την απελευθερώσει ξανά στο δίκτυο σε περιόδους υψηλής ζήτησης, βοηθώντας στην εξομάλυνση των διακυμάνσεων στην παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας. Αυτό είναι σημαντικό για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της σταθερότητας του δικτύου, ιδιαίτερα καθώς η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνεχίζει να αυξάνεται.

Ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα της αποθήκευσης ενέργειας είναι η ικανότητά της να παρέχει εφεδρική ισχύ κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να αποθηκεύουν ενέργεια όταν το δίκτυο λειτουργεί κανονικά και στη συνέχεια να την απελευθερώνουν κατά τη διάρκεια μιας διακοπής για να παρέχουν προσωρινή ισχύ σε σπίτια και επιχειρήσεις μέχρι να αποκατασταθεί το δίκτυο. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των επιπτώσεων των διακοπών ρεύματος και στην αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας.

Εκτός από τη σταθερότητα του δικτύου και την εφεδρική ισχύ, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί επίσης να βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου

μειώνοντας την ανάγκη για ορυκτά καύσιμα. Με την αποθήκευση της περίσσειας ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να μειώσει την ποσότητα ενέργειας που χρειάζεται να παραχθεί από ορυκτά καύσιμα, οδηγώντας σε χαμηλότερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και σε ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό σύστημα.

Έχουν γίνει αρκετές μελέτες που έχουν διερευνήσει τα οφέλη της αποθήκευσης ενέργειας για την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη σταθερότητα του δικτύου. Για παράδειγμα, μια μελέτη από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL) διαπίστωσε ότι η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο εξομαλύνοντας τις διακυμάνσεις στην παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας [23]. Μια άλλη μελέτη του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA) διαπίστωσε ότι η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας παρέχοντας εφεδρική ισχύ κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος και μειώνοντας τον αντίκτυπο αυτών των διακοπών [24].

Η αποθήκευση ενέργειας γίνεται ολοένα και πιο σημαντική για την ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας στο δίκτυο και τη σταθερότητα του συνολικού ενεργειακού συστήματος. Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να προσφέρει σταθερότητα στο δίκτυο, εφεδρική ισχύ κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος και να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, καθιστώντας την κρίσιμη συνιστώσα ενός βιώσιμου ενεργειακού συστήματος.

Σε ένα δίκτυο ηλεκτρισμού, είτε είναι αυτόνομο (μικρής ή μεγαλύτερης ισχύος, όπως τα νησιά με βάση το μέγεθος τους), είτε είναι ένα διασυνδεδεμένο ισχυρό δίκτυο (όπως της ηπειρωτικής χώρας), είναι αναγκαίο να ικανοποιείται το ισοζύγιο ισχύος, σε κάθε χρονική στιγμή. Με άλλα λόγια, η απορροφούμενη από τον καταναλωτή ισχύς είναι αναγκαίο να έχει ίσο φορτίο με εκείνο μικρών αποκλίσεων, προς αυτή που παράγεται από τους σταθμούς παραγωγής (υδροηλεκτρικοί, θερμικοί, κ.λπ.). Η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύς μπορεί να προσαρμόζεται με την βοήθεια της χρονικής διακύμανσης του φορτίου, η οποία είναι σχετικά. Σε περιόδους χαμηλού φορτίου και για τεχνικούς λόγους, η παραγωγή των μεγάλων θερμικών

σταθμών δεν είναι δυνατόν να μειωθεί περαιτέρω από ένα τεχνικό ελάχιστο όριο, με αποτέλεσμα να περισσεύει ισχύς στο δίκτυο, εκείνες τις χρονικές περιόδους [25].

Η αιολική ενέργεια προκαλεί την αύξηση της συμμετοχής της ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα, η διαχείριση του ηλεκτρικού δικτύου, να παρακωλύεται από τεχνικά προβλήματα, τα οποία έχουν τις ρίζες τους στην αδυναμία πρόλεξης της παραγωγής των αιολικών πάρκων και την ισχυρή χρονική διακύμανση αυτής της παραγωγής. Επομένως, εκτός από την ανάγκη να καλυφθούν οι αιχμές του δικτύου και να αποθηκευτεί ενέργεια που προκαλείται από τα τεχνικά ελάχιστα των μεγάλων θερμικών σταθμών παραγωγής, παρουσιάζεται και η ανάγκη να αυξηθεί η συμμετοχή των αιολικών πάρκων στην παραγωγή [26].

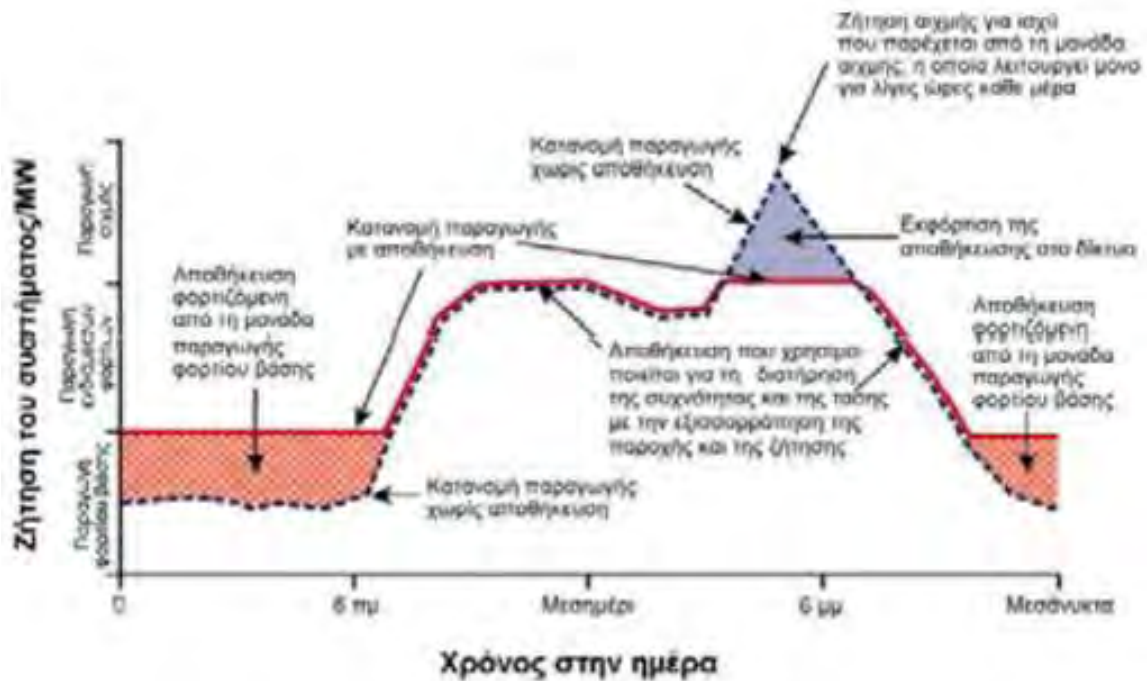
Η αποθήκευση ενέργειας της παραγωγής αιολικών πάρκων είναι αναγκαία, όταν η συμμετοχή της αιολικής ενέργειας αυξάνεται σε τέτοιο βαθμό που προκαλεί αστάθεια στο δίκτυο. Ορισμένες χώρες έχουν ήδη αγγίξει αυτό το όριο, οπότε η αποθήκευση αποτελεί τον μοναδικό τρόπο περαιτέρω ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας.

Η ισχύς των αιολικών πάρκων, στην Γερμανία, έχει ήδη φτάσει 22.000MW, με εγκατεστημένη ισχύ περίπου 120.000MW.

Η ισχύς των αιολικών πάρκων, στην Ελλάδα έχει φτάσει τα 900MW (το διασυνδεδεμένο δίκτυο τροφοδοτείται από τα 700MW).

Επιπλέον, σε ένα δίκτυο με υψηλού φορτίου χρονικές περιόδους, ιδιαίτερα στις αιχμές του φορτίου, ο διαχειριστής θέλει, σε σύντομο χρονικό διάστημα, να είναι διαθέσιμη μεγάλη ισχύς.

Έτσι, ανακύπτει η ανάγκη να αποθηκευτεί ενέργεια τις ώρες που είναι διαθέσιμη και κατά της περιόδους αιχμής, να μπορεί να προσδοθεί ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο.



Σχήμα 3.1: Εκκίνηση αποθήκευσης ενέργειας [27]

Παρακάτω γίνεται αναφορά στις ενδεχόμενες εφαρμογές που είναι δυνατόν να κατέχουν οι αποθηκευτικές διατάξεις. Ορισμένες από αυτές είναι σε θέση να εξυπηρετούνται από την ίδια αποθηκευτική διάταξη είτε σε διαφορετικές περιόδους, είτε ταυτόχρονα [28], [29]:

- Αποθήκευση ενέργειας προκειμένου να αποφευχθούν παραβιάσεις σχετικά με τις τεχνικές ελάχιστες θερμικές μονάδες.
- Δυνατότητα χρησιμοποίησης της ενέργειας, που έχει αποθηκευτεί, εξαιτίας ανικανότητας παραγωγής των διαθέσιμων μονάδων.
- Αξιοποίηση της αποθηκευτικής διάταξης για πιο αποδοτική συμμετοχή στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και την εξομάλυνση της παραγόμενης, από ανανεώσιμες πηγές, ενέργειας, με την αποθήκευσή της στις χαμηλού κόστους ώρες και με την εκμετάλλευσή της στις υψηλού κόστους ώρες, αξιοποιώντας τη διαφορά τιμών.

- Αξιοποίηση της διαφοράς παραγωγικού κόστους Α.Π.Ε. και παραγωγικού κόστους των συμβατικών μονάδων είτε μετατρέποντας το πρόγραμμα ένταξης μονάδων, είτε κρατώντας ίδιο το πρόγραμμα ένταξης μονάδων.
- Η αποθήκευση ενέργειας για την χρησιμοποίησή της σε άλλη χρονική περίοδο και η ελάττωση της αποκοπτόμενης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της παραγωγή. Αυτή η πρακτική είναι συνηθισμένη σε μικρά απομονωμένα και αυτόνομα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.
- Παροχή ισχύος σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης και παροχή στρεφόμενης εφεδρείας.
- Μετάθεση ή αποφυγή επενδύσεων για την ενδυνάμωση του δικτύου διανομής, ιδιαίτερα στην περίπτωση που, η διάταξη αποθήκευσης, συνδυάζεται με παραγωγή, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οποιασδήποτε μορφής και εφόσον οι θέσεις εγκατάστασης είναι οι αρμόζουσες.
- Εφόσον η ισχύ παρέχεται σε τοπικό επίπεδο, περιορίζονται οι απώλειες δικτύου.
- Η γρήγορη απόκριση των μονάδων έχει ως αποτέλεσμα την διαχείριση ζητημάτων ποιότητας ισχύς.
- Έναρξη έπειτα από σφάλμα Black start.
- Συνεχής παροχή ισχύος.
- Παραγωγή άλλης μορφής ενέργειας (όπως θερμότητα) και αποθήκευσής της, σε χαμηλού κόστους ώρες, προκειμένου να αποφευχθεί η κατανάλωση ενέργειας σε υψηλού φορτίου ώρες.
- Υποστήριξη συχνότητας και τάσης.

Οι αποθηκευτικές διατάξεις χωρίζονται ανάλογα με τις χρονικές περιόδους αποθήκευσης και ανάλογα με τις εφαρμογές τους [30]:

Βραχυπρόθεσμη αποθήκευση: Αφορά τις αποθηκευτικές διατάξεις που μπορούν να απορροφήσουν ή να προσφέρουν ενέργεια για ένα εξαιρετικά μικρό χρονικό διάστημα (μερικά λεπτά ή δευτερόλεπτα). Οι τυπικές εφαρμογές της παρούσας αποθηκευτικής

ενέργειας είναι η παροχή συνεχούς παροχής ευστάθειας λειτουργίας και ισχύος των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.).

Μεσοπρόθεσμη αποθήκευση: Αφορά τις αποθηκευτικές διατάξεις που αξιοποιούνται για χρονικές περιόδους από μερικά λεπτά ως μερικές ώρες. Η παρούσα διδακτορική διατριβή εξετάζει, κυρίως, αυτές τις εφαρμογές. Εφαρμογές αυτού του είδους είναι η διαχείριση της ισχύς που παρέχεται στους καταναλωτές, η αύξηση της παροχής στρεφόμενης εφεδρείας και η διαχείριση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Μακροπρόθεσμη αποθήκευση: Αφορά τις αποθηκευτικές διατάξεις που αξιοποιούνται για χρονικές περιόδους από αρκετές ώρες μέχρι μήνες και εβδομάδες. Αξιοποιείται, κυρίως, για την ικανοποίηση της ζήτησης αιχμής, μέσω της αποθήκευσης ενέργειας σε χαμηλής ζήτησης περιόδους ή την ομαλοποίηση της ζήτησης μεταξύ ωρών μη αιχμής και αιχμής.

Στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές εφαρμογές αποθήκευσης των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας, ανάλογα με την απαιτούμενη χρονική διάρκεια.

Ομάδα Εφαρμογών	Εφαρμογές	Διάρκεια κύκλου Φόρτισης/Εκφόρτισης
Διαχείριση μονάδων ΑΠΕ	<ul style="list-style-type: none"> Εξασφάλιση ισχύος από τις μονάδες ΑΠΕ Συμβόλεια ανάλογα με την ώρα παράδοσης της παραγωγής από ΑΠΕ. 	4-10 ώρες
Χειρισμοί συστήματος μεταφοράς ή διανομής	<ul style="list-style-type: none"> Υποστήριξη συστημάτων μεταφοράς 	2-5 δευτ.
	<ul style="list-style-type: none"> Μείωση των απαιτήσεων για εγκατεστημένη ισχύ συστήματος μεταφοράς Υποκατάσταση κεντρικών μονάδων παραγωγής 	4-6 ώρες
	<ul style="list-style-type: none"> Μείωση της συμφόρησης δικτύων Αναβολή επενδύσεων σε συστήματα μεταφοράς και διανομής Παροχή βοηθητικών υπηρεσιών 	2-6 ώρες
	<ul style="list-style-type: none"> Παροχή βοηθητικών υπηρεσιών 	1-5 ώρες
	<ul style="list-style-type: none"> Χρήση για εξομάλυνση των τιμών αγοράς 	1-10 ώρες
	<ul style="list-style-type: none"> Χρήση για εξομάλυνση των τιμών αγοράς 	1-10 ώρες
Σχέσεις εταιριών ηλεκτρισμού και πελατών	<ul style="list-style-type: none"> Παροχή υπηρεσιών ποιότητας ισχύος (PQ) 	10-60 δευτ.
	<ul style="list-style-type: none"> Παροχή υπηρεσιών για εφαρμογές αξιοπιστίας (PR) 	15 λεπ. – 5 ώρες
	<ul style="list-style-type: none"> Διαχείριση μεταβολής ζήτησης 	4-12 ώρες
	<ul style="list-style-type: none"> Διαχείριση για τη χρήση τιμολογίων χρέωση ανάλογα με την ώρα κατανάλωσης 	2 ώρες

Πίνακας 3.1: Αξιοποίηση του κύκλου λειτουργίας των αποθηκευτικών μονάδων ως βάσεις για τις τυπικές εφαρμογές τους.

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται εναλλακτικές λύσεις των παραπάνω ζητημάτων ανάλογα με τη λειτουργία των αποθηκευτικών μονάδων:

Ομάδα Εφαρμογών	Εφαρμογές	Εναλλακτικές μέθοδοι
Διαχείριση Μονάδων ΑΠΕ	Εξασφάλιση ισχύος από τις μονάδες ΑΠΕ	<ul style="list-style-type: none"> Μερική φόρτιση της κεντρικής παραγωγής Έλεγχος φορτίων με μεθόδους DLC Αφοσιωμένη παραγωγή κοντά στα φορτία
	Συμβόλαια ανάλογα με την παράδοση για την παραγωγή από ΑΠΕ	<ul style="list-style-type: none"> Χρήση υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ και κατανεμούμενων πηγών με χρήση ανανεώσιμων καυσίμων
Χειρισμοί συστήματος μεταφοράς ή διανομής	Υποστήριξη συστημάτων μεταφοράς	<ul style="list-style-type: none"> Ενίσχυση του δικτύου μεταφοράς ή εγκατάσταση διεσπαρμένης παραγωγής
	Μείωση των απαιτήσεων για εγκατεστημένη ισχύ συστήματος μεταφοράς	<ul style="list-style-type: none"> Ευφυή συστήματα χρέωσης Αναβάθμιση συστημάτων μεταφοράς Έλεγχος φορτίου Αύξηση της ενεργειακής απόδοσης
	Μείωση της συμφόρησης δικτύων	<ul style="list-style-type: none"> Διεσπαρμένη παραγωγή
	Αναβολή επενδύσεων σε συστήματα μεταφοράς και διανομής	
	Παροχή βοηθητικών υπηρεσιών	<ul style="list-style-type: none"> Διατήρηση στρεφόμενης εφεδρείας Φόρτιση κεντρικής παραγωγής στο μερικό φορτίο Διεσπαρμένη παραγωγή
	Υποκατάσταση κεντρικών μονάδων παραγωγής	<ul style="list-style-type: none"> Φόρτιση κεντρικής παραγωγής στο μερικό φορτίο, απευθείας έλεγχος φορτίου, εμπορία με γειτονικές αγορές
	Χρήση για εξομάλυνση των τιμών αγοράς	<ul style="list-style-type: none"> Διαχείριση για τη χρήση τιμολογίων χρέωση ανάλογα με την ώρα κατανάλωσης
Σχέσεις εταιριών ηλεκτρισμού/πελατών	Παροχή υπηρεσιών ποιότητας ισχύος (PQ)	<ul style="list-style-type: none"> Φίλτρα και διατάξεις βελτίωσης ποιότητας ισχύος και παροχή άεργου ισχύος
	Παροχή υπηρεσιών για εφαρμογές αξιοπιστίας (PR)	<ul style="list-style-type: none"> Διεσπαρμένη παραγωγή Ενίσχυση δικτύου διανομής
	Διαχείριση μεταβολής ζήτησης	<ul style="list-style-type: none"> Μείωση κατανάλωσης Αύξηση απόδοσης

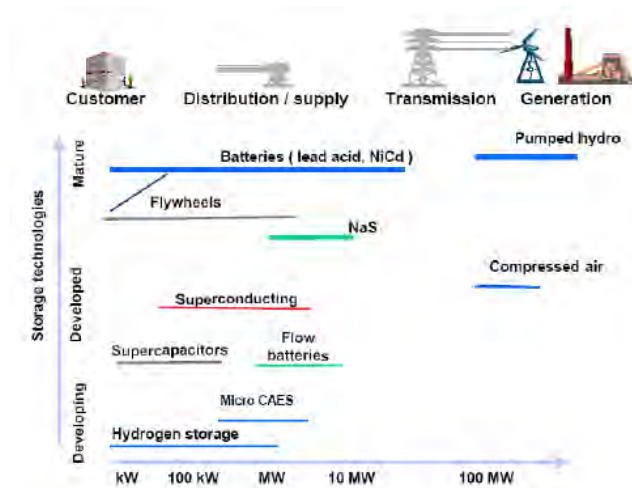
Πίνακας 3.2: Οι διάφορες ομάδες εφαρμογών για την αποθήκευση ενέργειας, η ισχύς και η χρονική περίοδος που απαιτούνται.

3.2 Μορφές Αποθήκευσης Ενέργειας

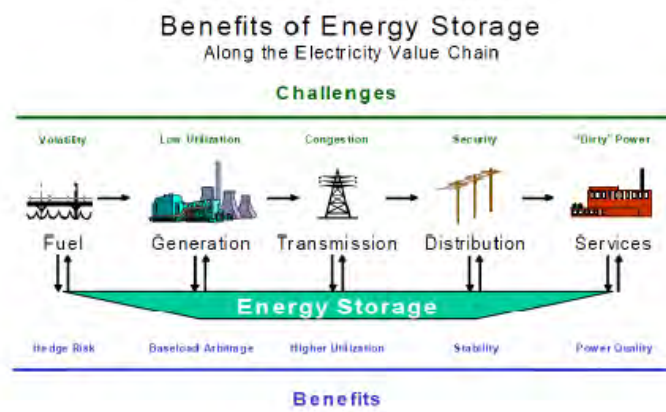
Η αποθήκευση της ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους:

- Υπό την μορφή κινητικής ενέργειας, σε μηχανική μορφή, σε σφόνδυλο.
- Σε μία συστοιχία ηλεκτρικών συσσωρευτών (μπαταρίες) σε μορφή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος (μπαταρίες).
- Σε αεροφυλάκιο υπό την μορφή αερίου ή πεπιεσμένου αέρα.
- Αξιοποίηση του διαφορετικού φορτίου ηλεκτρισμού που βρίσκεται στους σπλισμούς (υπέρ-πυκνωτές), υπό την μορφή ηλεκτροστατικού πεδίου.
- Υπό την μορφή ποσότητας νερού, η οποία καταλήγει σε μία υψηλότερη στάθμη από μία χαμηλότερη, σε υδραυλική μορφή.
- Με την μορφή μαγνητικού πεδίου (σύστημα αποθήκευσης ενέργειας υπεραγωγίμου μαγνητικού).
- Με την μορφή υδρογόνου (κυψέλες καυσίμου).

Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται ένα σχετικό διάγραμμα για τις τυπικές εφαρμογές των αποθηκευτικών διατάξεων, τα τυπικά μεγέθη τους και την ωριμότητα τους, ενώ στην Εικόνα που την ακολουθεί, παρουσιάζεται η χρονική περίοδος κατά την οποία χρησιμοποιούνται οι διάφορες αποθηκευτικές διατάξεις. Επιπλέον, στο Σχήμα 3.3 που ακολουθεί, αναφέρει συνοπτικά την καταλληλότητα των διαφορετικών μέσων αποθήκευσης, αναφορικά με τις συνηθισμένες εφαρμογές τους αλλά και με τις εφαρμογές ενέργειας και ισχύος.



Σχήμα 3.2: Η τεχνολογική ωριμότητα, οι εφαρμογές και το μέγεθος των διαφορετικών αποθηκευτικών διατάξεων.



Σχήμα 3.3: Πλεονεκτήματα ενεργειακής αποθήκευσης [31]

Αποθηκευτική Διάταξη	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Εφαρμογές Ισχύος	Εφαρμογές Ενέργειας	Συνήθης Εφαρμογή
Μπαταρίες ροής (flow): PSB. VRBr. ZuBr	Υψηλή χωρητικότητα, ανεξάρτητη εκτίμηση ισχύος - ενέργειας	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	+		Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών
Μολύβδου - οξέος	Χαμηλό αρχικό κόστος	Περιορισμένος κύκλος ζωής σε βαθιά εκφόρτιση	+		Εξομάλυνση αιχμών
Ni-Cd	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, απόδοση		+		Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών- λεπτών
Li - ion	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή απόδοση	Υψηλό κόστος παραγωγής, απαιτεί ειδικό κύκλωμα φόρτισης	+		Κινητή τηλεφωνία, υποσταθμοί ενέργειας
NaS	Υψηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, υψηλή απόδοση	Κόστος παραγωγής, μέτρα ασφαλείας (λόγω σχεδιασμού)	+		Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών- λεπτών
Σφόνδυλοι (flywheels)	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, υψηλό κόστος παραγωγής	+		Εξομάλυνση ισχύος για λίγα λεπτά
SMES (Υπεραγωγή Μαγνητική Αποθήκευση).	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, υψηλό κόστος παραγωγής	+		Εφαρμογές ποιότητας ισχύος, διανομή
E.C Capacitors	Μεγάλος κύκλος ζωής, υψηλή απόδοση	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	+		Εφαρμογές ποιότητας ισχύος, διανομή
Αντλησιοταμίευση (pumped storage)	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία			Εξομάλυνση ζήτησης σε μεγάλο χρονικό διάστημα
Ενεργειακή Αποθήκευση Συμπιεσμένου αέρα CAES	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία για τις χρησιμοποιούμενες κοιλότητες			Εξομάλυνση ζήτησης σε μεγάλο χρονικό διάστημα

Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά Αποθηκευτικών Μονάδων

3.2.1 Μπαταρίες Οξέος – Μολύβδου

Οι μπαταρίες οξέος και μολύβδου αποτελούν τις πιο ευρέως διαδεδομένες, σε παγκόσμιο επίπεδο. Η μπαταρία αποτελεί, έως σήμερα, κύριος φορέας αποθήκευσης ενέργειας για το 1/3 του παγκόσμιου πληθυσμού καθώς δεν είναι συνδεδεμένο με κανένα δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Το χαμηλό κόστους τους εξισορροπεί τον περιορισμένο κύκλο τους, αν και γίνονται πολλές έρευνες την εύρεση των αιτιών γήρανσής τους και την επακόλουθη εύρεση αντιμετώπισής τους. Τα συστήματα οξέος - μολύβδου σημειώνουν σταδιακή βελτίωση, μέσω διάφορους τρόπους. Μια από τις πιο σημαντικές από αυτές είναι η

αντικατάσταση του υγρού ηλεκτρολυτών με gel ηλεκτρολυτών, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την χρησιμοποίηση των μπαταριών, σε οποιαδήποτε θέση χωρίς να χρειάζεται ανεφοδιασμός και την ανθεκτικότητα απέναντι σε κραδασμούς [32]. Στις μπαταρίες οξέος – μόλυβδου που ρυθμίζονται από βαλβίδα, χρησιμοποιούνται ευαίσθητες βαλβίδες πίεσης ώστε να ρυθμίζεται η διαφυγή αερίου. Ο χρόνος ζωής και η απόδοση εξακολουθούν να βελτιώνονται μέσω καινοτόμων τεχνικών φόρτισης, όπως είναι οι παλμικές μέθοδοι φόρτισης.

3.2.2 Μπαταρίες Νικελίου - Καδμίου

Οι μπαταρίες νικελίου - καδμίου έχουν τον διπλάσιο χρόνο ζωής και είναι πιο ακριβές από τις μόλυβδου – οξέος. Επιπλέον, εφόσον δεν είναι αναγκαία η επίβλεψή τους, κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους, είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν με την τοποθέτησή τους σε δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες και σε απομακρυσμένες περιοχές. Η πεπερασμένη ποσότητα καδμίου, η μεγάλη διάρκεια ζωής των τοξικών αποβλήτων, που προέρχονται από την χρήση της και το υψηλό κόστος αποτελούν τα μεγαλύτερα μειονεκτήματά τους. Παράδειγμα αξιοποίησης αυτών των μπαταριών είναι μια τοπική εταιρεία στην Αλάσκα, η οποία χρησιμοποιεί 13.760 μπαταρίες νικελίου - καδμίου (Ni-Cd) και μπορεί να παρέχει 46MW για 4 λεπτά και 27MW για 15 λεπτά και η ίδια δημιουργήθηκε από τη σύμπραξη SAFT και ABB μπαταριών. Την χρονιά του 2006 αυτή η εγκατάσταση απέφυγε 82 διακοπές ηλεκτρισμού, οι οποίες εάν πραγματοποιούνταν θα είχαν διάρκεια 725 λεπτών και θα επηρέαζαν έως και 310.000 καταναλωτές. Οι μπαταρίες Ni-MH (υδριδίου νικελίου - μετάλλου) μπορούν να λειτουργήσουν ως εναλλακτικές για τις μπαταρίες νικελίου – καδμίου, καθώς κατέχουν μεγάλο χρόνο ζωής, μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα ενώ η συμπεριφορά τους είναι λιγότερο τοξική [33].

3.2.3 Μπαταρίες Λιθίου – Ιόντος

Οι μπαταρίες λιθίου – ιόντος έχουν μεγάλο κύκλο ζωής (περίπου 3.000 κύκλοι για βάθος εκφόρτισης 80%), υψηλότερη απόδοση μετατροπής και μεγάλη πυκνότητα ενέργειας (300-400 kWh/m³ λιθίου). Αυτές οι μπαταρίες είναι πολύ ελαφρύτερες από τις πιο

συνηθισμένες, καθώς το λίθιο αποτελεί το πιο ελαφρύ στερεό στοιχείο. Το παραπάνω σε συνδυασμό με την μεγάλη απόδοσή τους συμβάλλουν στην αξιοποίησή τους σε φορητούς υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα (Soh et al., 2020). Έχει, επίσης, παρουσιαστεί η δυνατότητα να επεκταθεί η χρήση μπαταριών λιθίου - ιόντος σε εφαρμογές ηλεκτρικών συστημάτων με μία να έχει εγκατασταθεί στην Ελλάδα, στην πειραματική εγκατάσταση συμπαραγωγής της Ε.Π.Α και του Ε.Μ.Π. στην Αττική [34].

3.2.4 Διάφορες Μπαταρίες

Οι μπαταρίες NaS κατέχουν περιορισμένες ανάγκες συντήρησης, σε σύγκριση με τις μπαταρίες οξέος – μόλυβδου, ενώ ταυτόχρονα κατέχουν πολύ υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, 5,8 φορές κατά βάρος και 4,2 φορές κατ' όγκο. Η σημαντικότερη εγκατάσταση αυτών των μπαταριών σχετίζεται με τη δυνατότητα κυκλικής λειτουργίας και την εγκατάσταση, σε υποσταθμούς, ενίσχυσης άεργου ισχύος [35]. Οι οικονομικές και συμπαγείς μπαταρίες Metal-air δεν έχουν κάποια ιδιαίτερη απόδοση κατά την εκφόρτιση και φόρτισή τους. Άλλες μπαταρίες λιγότερο ή περισσότερο κατάλληλες για εμπορική αξιοποίηση είναι οι ZnCl₂, ZnBr, οι ψευδαργύρου-άνθρακα, οι νικελίου-ψευδαργύρου, κτλ. [36]. Η αποθήκευση σε μεγάλης κλίμακος έργα αποτελεί μία καλή μέθοδο, αλλά το κόστος αντικατάστασης λόγω χρήσης της, αποτελεί μία ακριβή μέθοδο αποθήκευσης.

3.2.5 Σφόνδυλοι – Στρεφόμενες Μάζες

Οι σφόνδυλοι flywheels ή στρεφόμενες μάζες, επίκειται να κατέχουν εφαρμογές παροχής ενέργειας και ισχύος, για μικρή χρονική διάρκεια, όχι τόσο για την παροχή ενέργειας αλλά για την παροχή εφεδρείας. Η περιστροφή, σε μεγάλη ταχύτητα, μίας στρεφόμενης μάζας παράγει μια ενέργεια η οποία αποθηκεύεται και έχει την δυνατότητα να αλλάξει για άλλη μια φορά σε ηλεκτρική ισχύ, μέσω της σύνδεσης μιας γεννήτριας και της μάζας. Η ενέργεια που μπορεί να αποθηκεύσει η στρεφόμενη μάζα είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας του στροφέα και ανάλογη της μάζας του στροφέα (εξίσωση $k=(mv^2)/2$ όπου m = μάζα, k = κινητική

ενέργεια και v = ταχύτητα). Πλέον οι στρεφόμενες μάζες σχεδιάζονται με σκοπό την επίτευξη των υψηλότερων περιστροφών ταχύτητας και όχι της γεωμετρίας της μάζας. Στην Εικόνα που ακολουθεί απεικονίζεται μία τέτοια μονάδα. Αυτές οι διατάξεις εκφορτίζονται είτε σε 15 -30 λεπτά, είτε σε λίγα δευτερόλεπτα, συμβάλλοντας περισσότερο από τις μπαταρίες σε εφαρμογές ισχύς και λιγότερο σε εφαρμογές ενέργειας. Η έλλειψη ευαισθησίας, των συστημάτων στρεφόμενων μαζών (σε αντίθεση με τις μπαταρίες), στη θερμοκρασία έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση της απόδοσής τους η οποία μπορεί να αγγίξει ως και το 80-90%. Έτσι, η απόδοσή τους δεν επηρεάζεται από το χρόνο ζωής τους, ο οποίος αγγίζει τα 15 - 20 χρόνια με εγκατάσταση και μικρή συντήρηση [37]. Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζεται η τομή μίας μονάδας αποθήκευσης στρεφόμενης μάζας.



Σχήμα 3.4: Μονάδα στρεφόμενης μάζας.

Οι μπαταρίες στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας μπορούν να συμπληρωθούν από τις στρεφόμενες μάζες, μέσω της μεγάλης διείσδυσης των μονάδων ΑΠΕ, την εξισορρόπηση των γρήγορων και απότομων μεταβολών στο φορτίο. Τέτοιες μεταβολές θα προκαλούσαν την γρήγορη φθορά των μπαταριών, εξαιτίας της περιορισμένης διάρκειας ζωής τους. Προς το παρόν είναι μία ακριβή τεχνολογία και όχι τόσο ευρέως χρησιμοποιούμενη. Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής έχει εγκατασταθεί μία εγκατάσταση μεγάλης ισχύος 20 MW.

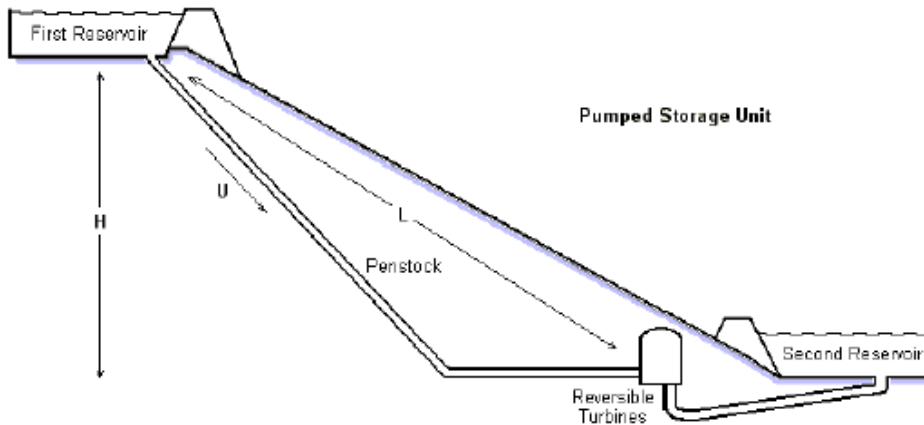
3.2.6 Υπεραγωγίμα πηνία (SMES) και Υπερπυκνωτής (Supercapacitor)

Η χωρητικότητα ενέργειας και ισχύς των μονάδων υπέρ - πυκνωτών είναι χιλιάδες φορές υψηλότερη από εκείνη των συμβατικών πυκνωτών. Οι υπερ - πυκνωτές μπορούν να παρέχουν ισχύ μέχρι και 100kW και η διοχέτευση της ενέργειά τους μπορεί να γίνει μέσα σε ένα λεπτό ή σε κλάσματα του δευτερολέπτου. Η υποστήριξη άεργου και ενεργού ισχύος, η βελτίωση του συντελεστή ισχύος και η υποστήριξη της τάσης αποτελούν τις βασικότερες εφαρμογές τους [38]. Για την λειτουργία των διατάξεις SMES, από την άλλη, χρειάζονται μεγάλες ποσότητες ψύξης, καθώς στηρίζεται στη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας των υπεραγωγίων υλικών [39]. Ελάχιστοι κύκλοι του εναλλασσόμενου ρεύματος μπορούν να παράγουν έως και 2MW. Οι προαναφερόμενοι τύποι διατάξεων (ιδιαίτερα οι συσκευές SMES), λοιπόν, παρουσιάζονται ως αποτελεσματικές εναλλακτικές για την χορήγηση ποιότητας σε δίκτυα διανομής. Η παρούσα τεχνολογία δεν δύναται να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση ενέργειας μεγάλης κλίμακος παρά μόνο για εξισορρόπηση δικτύου.

3.2.7 Αντλησιοταμίευση (Pump – Hydro Storage)

Η αξιοποίηση μονάδων αντλησιοταμίευσης αποτελεί τον πιο διαδεδομένο τρόπο μαζικής αποθήκευσης ενέργειας. Η διαδικασία της αντλησιοταμίευσης είναι η εκμετάλλευση της ροής του νερού που, είναι αποθηκευμένο σε μία δεξαμενή, προς μία χαμηλότερη, με τη βοήθεια υδροστρόβιλου, όταν ζητηθεί ισχύς και αντιστρόφως, με την βοήθεια αντλιών μπορεί να επιστρέψει στην ψηλότερη (πρώτη) δεξαμενή, σε περιόδους που η ζήτηση είναι ανύπαρκτη [40].

Τα μέρη που απαρτίζουν ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης είναι τα εξής: αγωγοί νερού (Penstock), μία ανώτερη δεξαμενή (First Reservoir), αντλία, μία κατώτερη δεύτερη δεξαμενή (Second Reservoir), υδροστρόβιλος (ή μαζί με τον στρόβιλο αντιστρέψιμης φοράς - Reversible Turbines). Στο Σχήμα 3.6 απεικονίζεται ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης [41]:



Σχήμα 3.5: Σύστημα αντλιοσταμείωσης

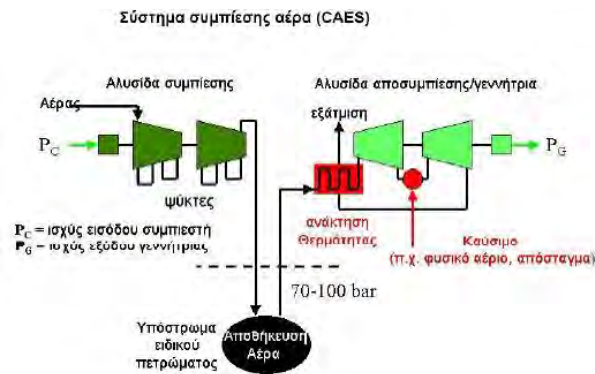
Αν και η αντλιοσταμείωση προσφέρει μεγάλη ενεργειακή χωρητικότητα με χαμηλό κόστος δεν αξιοποιείται όσο θα περίμενε κανείς. Αίτια αυτής της έλλειψης χρησιμοποίησης είναι η απαιτούμενη χρονική διάρκεια για την πραγματοποίηση της διαδικασίας και της λειτουργίας της αντλίας για την απελευθέρωση της ενέργειας, αλλά και η κατασκευή και εγκατάστασή του απαιτεί συγκεκριμένες περιοχές. Για αυτόν τον λόγο, μόνο οι μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις ενέργειας συνηθίζουν να το χρησιμοποιούν. Η διαθέσιμη ισχύ από αντλιοσταμείωση, σε παγκόσμιο επίπεδο, ξεπερνάει τα 170 GW [42], ενώ κάποιες φορές συνδυάζεται με φράγματα. Παρόλα αυτά αποτελεί μία μέθοδο αποθήκευσης διαχρονική και η εγκατάσταση τέτοιων μονάδων συνεχώς αυξάνεται.

Στην Ελλάδα υπάρχουν δύο τέτοιοι σταθμοί, στον ΥΗΣ Θησαυρού και στη Σφηκιά. Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζονται τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την διαστασιολόγηση και τον χαρακτηρισμό του μεγέθους των έργων αντλιοσταμείωσης.

Ενεργός Ισχύς ανά αντλία	kW
Συντελεστής Ισχύος	$\text{Cos}\phi$
Χωρητικότητα άνω δεξαμενής	m^3
Χωρητικότητα κάτω δεξαμενής	m^3
Ικανότητα άντλησης	m^3/s
Μήκος αγωγού-ών	M

3.2.8 Σύστημα Συμπίεσης Αέρα (CAES)

Η ουσία αυτής της μεθόδου είναι πως, μπορεί να παραχθεί ηλεκτρισμός, με την συμπίεση του αέρα στα 800 ως 1600psi, σε συγκεκριμένες γεωλογικές δομές και την αποσυμπίεσή του με την κίνηση αεριοστρόβιλου. Αποσυμπίεση του αέρα μπορεί να γίνει λόγω χάρη κατά τη διάρκεια των αιχμών του φορτίου και συμπίεση κατά τη διάρκεια κοιλάδων φορτίου. Μόνο δύο τέτοιες εγκαταστάσεις υφίστανται, σε παγκόσμιο επίπεδο, εξαιτίας της ειδικής γεωλογικής δομής που πρέπει να υπάρχει (υπόστρωμα ορυκτού άλατος), η μία στην Γερμανία και η άλλη στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Στην Εικόνα που ακολουθεί απεικονίζεται η αρχή λειτουργίας του συστήματος. Επιπρόσθετα, υπάρχουν εγκαταστάσεις, στις Η.Π.Α., όπου γίνονται διάφορες προσπάθειες της πιο ευέλικτης εφαρμογής αυτών των διατάξεων αλλά και μείωσης της ισχύς που απαιτείται, με την μορφή micro- CAES και Transportable-CAES για να αξιοποιηθεί η παραγωγή αιολικής ενέργειας [43]. Στο Σχήμα 3.6 παρουσιάζεται διάγραμμα λειτουργίας ενός συστήματος αποθήκευσης με συμπίεση αέρα.



Σχήμα 3.6: Διάγραμμα λειτουργίας μονάδων CAES [44]

Ο λόγος της αποδιδόμενης ενέργειας προς την αποθηκευμένη ενέργεια αποτελεί τον βαθμό απόδοσης του συστήματος αποθήκευσης. Στον Πίνακα 3.5 συγκρίνονται τα διάφορα αποθηκευτικά συστήματα ως προς τον βαθμό απόδοσης τους και το εύρος ισχύος τους.

Τεχνολογία	Ολικός βαθμός απόδοσης (%)	Μέγεθος (MW)
Υδραυλικός Ταμιευτήρας	-75	0-20.000
Πεπιεσμένος Αέρας	70	250-2.200
Σφόνδυλος	90+	0,1-20
Ηλεκτρικός Συσσωρευτής	70-84	17-40

Πίνακας 3.5: Οι προαναφερόμενες τεχνολογίες ανάλογα με τον ολικό βαθμό απόδοσης και το μέγεθος τους

Για την κάλυψη περιοχών με ζήτηση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, μπορούν να αξιοποιηθούν μόνο η αποθήκευση σε μορφή πεπιεσμένου αέρα και σε μορφή υδραυλικής ενέργειας, όποτε μπορούν να εφαρμοστούν σε ηλεκτρικά δίκτυα.

Τα παρακάτω αποτελούν πλεονεκτήματα αυτών των μεθόδων:

- Υπάρχει γρήγορη απόκριση.
- Είναι αναστρέψιμες (τροφοδοσία και αποθήκευση του ηλεκτρικού δικτύου).
- Σε ένα πλήρη κύκλο κατέχουν έναν σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης.

Κεφάλαιο 4. ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ: ΑΝΑΛΥΣΗ, ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΣΕ ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

4.1 Ανάλυση της αντλησιοταμίευσης

Η αντλησιοταμίευση, όπως έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 3, αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς αποτελεί την πιο ώριμη εμπορικά και οικονομικά μέθοδο αποθήκευσης ενέργειας. Υπάρχουν πληθώρα εγκαταστάσεων αποθήκευσης αυτής της τεχνολογίας τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Προκειμένου να υπάρχει ευστάθεια στα ηλεκτρικά δίκτυα αλλά και ικανοποίηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε χρονικές περιόδους που τα συστήματα ΑΠΕ δεν παράγουν, η αντλησιοταμίευση αποτελεί την πιο διαδεδομένη και οικονομικά εφικτή τεχνολογία για να αξιοποιήσει αυτές τις ανάγκες.

Η λειτουργία ενός αντλησιοταμιευτικού συστήματος βασίζεται στην ροή του νερού μεταξύ δύο ταμιευτήρων. Δύο ταμιευτήρες, οι οποίοι βρίσκονται σε υψομετρική διαφορά μεταξύ τους, συνδέονται με έναν ή περισσότερους αγωγούς μεταξύ τους. Η πρώτη περίπτωση είναι η πιο οικονομική καθώς μειώνεται το κόστος εγκατάστασης αλλά δεν επιτρέπει την ταυτόχρονη λειτουργία του στροβίλου και της αντλίας σε αντίθεση με εγκαταστάσεις περισσότερων σωληνώσεων. Στον σωλήνα, και στις δύο περιπτώσεις, γίνεται εγκατάσταση η αντλία, ο στρόβιλος και η γεννήτρια. Στον ή στους αγωγούς βρίσκονται αντλίες-στρόβιλοι που λειτουργούν με διπλή λειτουργία. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος βασίζεται στο γεγονός της μεταφοράς νερού μεταξύ δύο ταμιευτήρων σε διαφορετικό ύψος, οδηγώντας το νερό από τον πάνω ταμιευτήρα στον κάτω και το αντίστροφο.

Σε σχέση με ένα αμιγώς υδροηλεκτρικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα αντλησιοταμιευτικά συστήματα, κατά τις ώρες αιχμής έγχυσης των συστημάτων ΑΠΕ προς το δίκτυο ή τις ώρες όπου η ηλεκτρική ενέργεια βρίσκεται σε χαμηλή τιμή (στο χρηματιστήριο ενέργειας), αντλούν το νερό από τον κάτω ταμιευτήρα προς τον επάνω, αποθηκεύοντας την

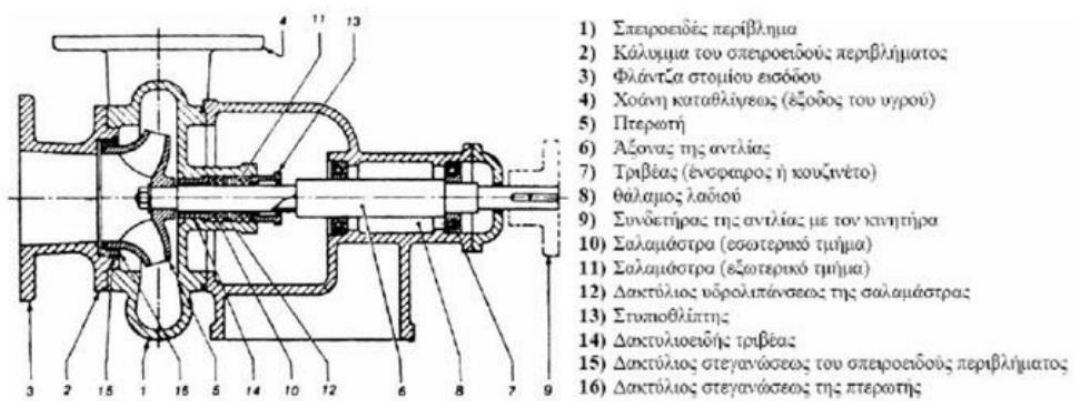
ενέργεια. Αυτή η αποθηκευμένη ενέργεια θα εγχυθεί στο δίκτυο κατά τις ώρες υψηλής ζήτησης και μη δυνατότητα εξυπηρέτησης από τα συστήματα ΑΠΕ (όπως βραδινές ώρες).

Τα αντλησιοταμιευτικά συστήματα, εκτός από τα οφέλη που παρουσιάζουν τόσο σε οικονομικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο, εμφανίζουν μειονεκτήματα ως προς την κατασκευή και λειτουργία τους. Γίνεται αντιληπτό πως προκειμένου να κατασκευαστούν απαιτούνται περιοχές που να επιτρέπουν την εγκατάσταση των ταμιευτήρων αλλά και να πληρούν τις προϋποθέσεις ύπαρξης υδάτων και της υψομετρικής διαφοράς αυτών. Επειδή, ο χρόνος κατασκευής είναι μεγάλος, ειδικότερα όταν πρέπει να κατασκευασθούν τεχνητοί ταμιευτήρες, η κατασκευή αυτών των έργων καθιστά την επένδυση αποτρεπτική καθώς η απόσβεση της μετατίθενται στο μέλλον. Παρόλο που πρόκεινται για έργα μηδενικών ρύπων, συναντούν μεγάλα εμπόδια στην αδειοδοτική τους διαδικασία καθώς δεν γίνονται κοινωνικά αποδεκτά αλλά και διότι διαταράσσουν το τοπικό οικοσύστημα λόγω των μεταβολών που δημιουργούν στο περιβάλλον. Στην Ιαπωνία, ήδη έχει κατασκευασθεί το πρώτο αντλησιοταμιευτικό σύστημα που χρησιμοποιεί ως κάτω ταμιευτήρα την θάλασσα και στην Ελλάδα έχει υποβάλει αίτηση για Άδεια Παραγωγής από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας ένα αντίστοιχο σύστημα. Τα παραπάνω συστήματα αντιμετωπίζουν ιδιαίτερα προβλήματα διάβρωσης τους.

4.2 Περιγραφή του Συστήματος της Αντλησιοταμίευσης

Ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται κυρίως από το σύστημα μεταφοράς του νερού και από τους ταμιευτήρες. Το σύστημα μεταφοράς του νερού βασίζεται στην αντλία και στον υδροστρόβιλο.

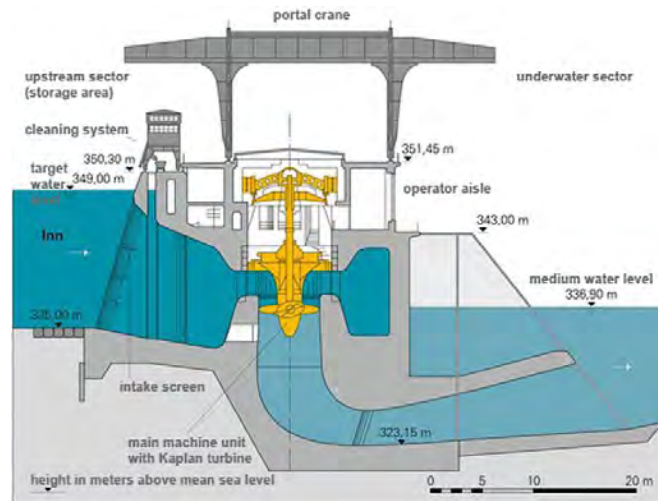
Η αντλία είναι υπεύθυνη για την μεταφορά του νερού από τον χαμηλότερο ταμιευτήρα στον υψηλότερο μέσω των σωληνώσεων που συνδέουν τους δύο ταμιευτήρες. Η αρχή λειτουργίας του είναι η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική, προσδίδοντας έτσι δυναμική ενέργεια στο ρευστό που βρίσκεται στον πάνω ταμιευτήρα. Η αντλία αποτελείται από το σώμα της, την πτερωτή και τα τμήματα εισόδου και εξόδου. Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται η τομή μιας υδραυλικής αντλίας.



Σχήμα 4.1: Τομή υδραυλικής αντλίας [45]

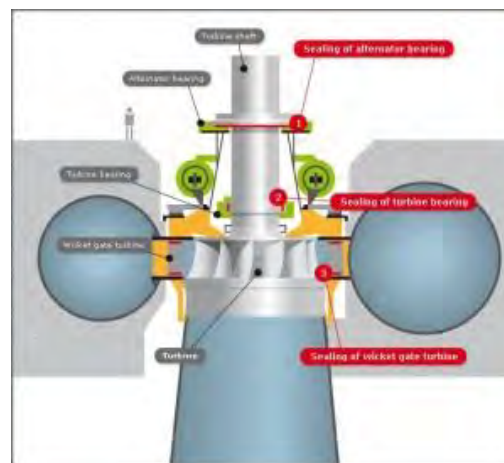
Ο υδροστρόβιλος, σε αντίθεση με την αντλία, έχει αντίστροφη λειτουργία. Μετατρέπει την μηχανική ενέργεια του ρέοντος ρευστού που οδηγείται από τον πάνω ταμιευτήρα στον κάτω σε ηλεκτρική. Οι υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε τρεις τύπους, Karlan, Francis και Pelton. Οι δύο πρώτοι ανήκουν στην κατηγορία των υδροστροβίλων αντιδράσεως όπου η ροή του δρομέα γίνεται παράλληλα με την μεταβολή της στατικής πίεσης του ρευστού μέσου. Αντίθετα, στον υδροστρόβιλο τύπου Pelton, η πτερωτή λειτουργεί αξονοσυμμετρικά υπό ομοιόμορφη σταθερή πίεση.

Ο υδροστρόβιλος τύπου Karlan χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα με μεγάλη ποσότητα ροής ρευστού και μικρή υψομετρική διαφορά μεταξύ των ταμιευτήρων. Το νερό εισέρχεται στον αγωγό και συναντά τον δρομέα που αποτελείται από 3-7 πτερύγια μεταβολής της κλίσης τους για να επιτύχουν βέλτιστη λειτουργία ανάλογα με το ύψος πτώσης του ρευστού. Το τμήμα εξόδου έχει κωνική μορφή με στόχο την ομαλή έξοδο του ρευστού μέσω της μείωσης ταχύτητας εξόδου του ρευστού όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.2.



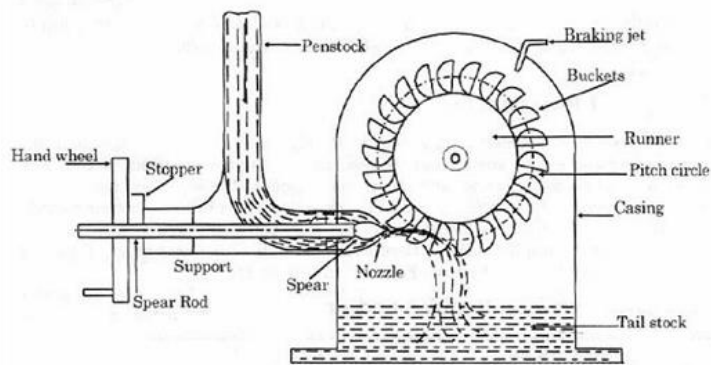
Σχήμα 4.2: Υδροστρόβιλος τύπου Kaplan [46]

Για έργα μεγάλης υψομετρικής διαφοράς, έως 600 μέτρα, χρησιμοποιούνται κυρίως υδροστρόβιλοι τύπου Francis καθέτου ή οριζόντιου άξονα και μπορούν να εξυπηρετήσουν και συστήματα έως 800 MW ο καθένας. Ο Francis, όπως και ο υδροστρόβιλος τύπου Kaplan έχει την δυνατότητα να αλλάζει της κλίση των πτερυγίων του, επιτυγχάνοντας απόδοση έως και 95%. Ένας σταθερός τροχός κινείται αντίθετα από την πτερωτή, ρυθμίζοντας την κατάλληλη γωνία πρόσπτωσης. Το νερό προσκρούοντας στα πτερύγια οδηγείται στον κάτω ταμιευτήρα ομαλά. Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζεται ο υδροστρόβιλος τύπου Francis.



Σχήμα 4.3: Υδροστρόβιλος τύπου Francis [47]

Για μεσαίας υψομετρικής διαφοράς ταμιευτήρες, χρησιμοποιούνται οι υδροστρόβιλοι τύπου Pelton και η εφαρμογή τους μπορεί να γίνει και σε πολύ μικρά έργα. Η δομή του είναι πολύ απλή. Μέσω ακροφυσίων, το νερό οδηγείται σε μικρά κυπελλοειδή πτερύγια με πολύ υψηλή ταχύτητα. Τα πτερύγια είναι προσκολλημένα σε ένα δίσκο που περιστρέφεται και ξεκινά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως διακρίνεται στο Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4: Υδροστρόβιλος τύπου Pelton [48]

Τα συστήματα αντλιοσταμείωσης που χρησιμοποιούνται σε εμπορικές εφαρμογές διακρίνονται σε συστήματα με ενιαίο αναστρέψιμο εξοπλισμό όπου αποτελείται από μία αντλία, έναν υδροστρόβιλο και ένα κινητήρα που μπορεί να λειτουργεί τόσο ως κινητήρας όσο και σαν γεννήτρια και σε συστήματα με ξεχωριστή αντλία και υδροστρόβιλο όπου απαιτείται μια παραπάνω μηχανή σε σχέση με το αναστρέψιμο σύστημα.

4.3 Υφιστάμενες υποδομές και άδειες σε εθνικό επίπεδο

Στην Ελλάδα, υπάρχουν εγκατεστημένοι σταθμοί αντλιοσταμείωσης (Αναστρέψιμοι ΥΗΣ) που αποθηκεύουν την περίσσεια της ενέργειας που προέρχεται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ όσο και από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα (όπως πετρέλαιο, φυσικό αέριο). Υπάρχουν διάφοροι αντλιοσταμειωτικοί σταθμοί, με δύο μεγάλης κλίμακος αυτούς της Σφηκιάς και του Θησαυρού.

Ο αναστρέψιμος υδροηλεκτρικός σταθμός της Σφηκιάς βρίσκεται στον ποταμό Αλιάκμονα, είκοσι χιλιόμετρα νότια της πόλης της Βέροιας. Ο συγκεκριμένος σταθμός ανήκει στην Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, αποτελείται από τρεις στροβίλους τύπου Francis, έχει συνολική μέγιστη ισχύς απορρόφησης 324 MW και συνολική ισχύς έγχυσης 315 MW. Τέθηκε τμηματικά σε λειτουργία από τον Αύγουστο του 1985 έως και τον Σεπτέμβριο του 1986 και αποτελεί ένα από τα παλαιότερα αντλησιοταμιευτικά έργα (αντιστρέψιμο ΥΗΣ) στην Ελλάδα. Στο σχήμα 4.5 παρουσιάζεται άποψη του παρόντος αντλησιοταμιευτικού έργου. Στον ποταμό Νέστο, στην Περιφερειακή Ενότητα Δράμας υπάρχει το Αναστρέψιμο Υδροηλεκτρικό Έργο του Θησαυρού το οποίο τέθηκε σε εμπορική λειτουργία το 1998 και ανήκει στην Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού και έχει ισχύ 381 MW.



Σχήμα 4.5: Άποψη από το Αναστρέψιμο Υδροηλεκτρικό Έργο Σφηκιάς [49]

Στην Ικαρία, υπάρχει ένα από τα παλαιότερα υβριδικά έργα στην Ελλάδα, όπου έχει εγκατασταθεί ένα αιολικό πάρκο ισχύος 2,7 MW και συνδέεται με έναν μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό ισχύος 3,1 MW. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το αιολικό πάρκο στην πλειοψηφία χρησιμοποιείται για την μεταφορά νερού από την κάτω δεξαμενή στην πάνω δεξαμενή με σκοπό την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας. Το συγκεκριμένο έργο αποτελεί ένα από τα πρώτα υβριδικά συστήματα που εγκαταστάθηκε σε μη διασυνδεδεμένη νήσο αντιμετωπίζοντας αρκετά εμπόδια στο στάδιο αδειοδότησης και κατασκευής. Στόχος αυτών των συστημάτων είναι να καταστήσουν ενεργειακά αυτόνομα τα μη διασυνδεδεμένα νησιά

και να μην απαιτείται η ύπαρξη συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, που αυξάνουν ιδιαίτερα το κόστος παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας.

Ακόμη, στην Ελλάδα υπάρχουν πολλά έργα αντλησιοταμίευσης μεγάλης και μεσαίας κλίμακας τα οποία έχουν λάβει Άδειες Παραγωγής από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. Στην Αμφιλοχία, στις θέσεις Άγιος Γεώργιος και Πύργος, έχει λάβει Άδεια Παραγωγής το μεγαλύτερο έργο αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα συνολικής απορροφούμενης ισχύος 730 MW και συνολικής αποδιδόμενης ισχύος 680 MW ιδιοκτησίας της εταιρείας ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ. Το παρόν έργο έχει λάβει και Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Θα αποτελείται από δύο ανεξάρτητους άνω ταμιευτήρες 7 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων και ως κάτω ταμιευτήρα θα χρησιμοποιεί την υπάρχουσα λίμνη του Καστρακίου. Είναι μία επένδυση Στρατηγικής σημασίας για την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας και έχει ενταχθεί στο παρελθόν σε διαδικασίες fast-track. Τον Οκτώβριο του 2022 έλαβε Άδεια Εγκατάστασης, και το οποίο αποτελούσε το τελευταίο στάδιο της αδειοδοτικής διαδικασίας πριν την κατασκευή του.

Μικρότερα έργα επίσης έχουν λάβει Άδειες Παραγωγής κυρίως τα δύο τελευταία έτη από την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας για την εγκατάσταση αντλησιοταμιευτικών συστημάτων σε διάφορες περιοχές της χώρας κυρίως ισχύος περί τα 8 MW, συμβάλλοντας έτσι και στην αποκεντροποίηση των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας σε όλη την επικράτεια. Αυτή η στροφή σε τέτοια συστήματα αποθήκευσης πηγάζει κυρίως από την ωρίμανση της αδειοδοτικής διαδικασίας και της νομοθεσίας για τον τρόπο λειτουργίας και αποζημίωσης τους καθώς ενώ υπάρχουν ήδη κατασκευασμένοι Αναστρέψιμοι ΥΗΣ, δεν υπήρχε νομοθετικό πλαίσιο για την αποθήκευση. Ακόμη, κάτι που συνέβαλλε στην περαιτέρω ωρίμανση τέτοιας τεχνολογίας είναι το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα που προβλέπει την λειτουργία 0.7 GW αντλησιοταμιευτικών συστημάτων έως το 2030 με ενδεχόμενη αύξηση στα 2.5 GW σε περίπτωση αναθεώρησης του για τις ανάγκες αποθήκευσης της χώρας ώστε να διεισδύσουν περισσότερες ΑΠΕ στο σύστημα.

4.4 Υφιστάμενες υποδομές σε παγκόσμιο επίπεδο

Η αντλησιοταμίευση αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μορφές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με εγκαταστάσεις σε όλο τον κόσμο. Το μεγαλύτερο σύστημα αντλησιοταμίευσης στον κόσμο βρίσκεται στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και πιο συγκεκριμένα στην πόλη της Virginia ισχύος 3003 MW έπειτα από την αναβάθμιση του το 2009. Η αρχική ισχύς του έργου ήταν 2100 MW και η κατασκευή του διήρκεσε 8 χρόνια, έχοντας ξεκινήσει από το 1985.

Στην Ευρώπη, και πιο συγκεκριμένα στην Γαλλία, ολοκληρώθηκε η κατασκευή του αντλησιοταμιευτικού Grand'Maison συνολικής ισχύος έγχυσης 1854 MW και άντλησης 1220 MW. Αποτελείται από τέσσερις υδροστρόβιλους τύπου Pelton ισχύος ο καθένας 158.5 MW και από οκτώ υδροστρόβιλους τύπου Francis συνολικής ισχύος απορρόφησης 1256 MW και ισχύος έγχυσης 1220 MW. Η κατασκευή του συγκεκριμένου έργου διήρκεσε επτά έτη ξεκινώντας από το 1978, σε ετήσια βάση παράγει 1420 GWh και καταναλώνει 1720 GWh. Αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα έργα της Ευρώπης και ανήκει στην εταιρεία EDF. Στο Σχήμα 4.6 παρουσιάζεται μια άποψη της λίμνης του συστήματος αντλησιοταμίευσης.



Σχήμα 4.6: Άποψη από το αντλησιοταμιευτικό σύστημα Grand Maison [50]

Κεφάλαιο 5. ΝΕΟ ΣΧΗΜΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ: ΜΕΛΕΤΗ, ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ

5.1 Γενική Περιγραφή του Ποταμού Αχελώου

Ο ποταμός Αχελώος (δεύτερη ονομασία: Ασπροπόταμος) αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους ποταμούς της Ελλάδας. Οι πηγές του απαντώνται στην Ήπειρο και συγκεκριμένα στις νότιες πλαγιές του όρους Περιστέρι (νότια της Πίνδου), εκτείνεται διαμέσου του κάμπου του Αγρινίου και έχοντας διανύσει μια απόσταση 200χλμ. εκβάλλει στην περιοχή όπου ο Πατραϊκός Κόλπος συναντά το Ιόνιο Πέλαγος. Καταλαμβάνει τη δεύτερη θέση ως προς το μήκος συγκριτικά με τους λοιπούς ποταμούς της Ελλάδας. Η έκταση της λεκάνης απορροής του ανέρχεται στα 5.572 χλμ, το ύψος της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στα 1.620 χιλ., ο μέσος ετήσιος όγκος υετού στα 8.860×10^6 κ.μ, ενώ η μέση ετήσια απορροή του υπολογίζεται στα 7.800×10^6 μ νερού. Τα αρδεύσιμα στρέμματα γεωργικής γης από τα νερά του π. Αχελώου ανέρχονται στα 370.000.

Άσπρος, Ξεροπλατάνια, Βακαριώτη, Βασαλάκα, Κομναΐτικο, Νέγκρη, Καπραλία, Καλή Πηγή, Κούτσουρο, Παφρώνη, Πλατανιάς, Μέγδοβα, Καμπουργιανίτικο, Αγραφιώτη, Γρανιτσιώτη, Λεπιανίτη, Ίναχο και Ζαμπατόρεμα αποτελούν τα ρέματα και τα ποτάμια τα νερά των οποίων διαβρώνουν το έδαφος της Ευρυτανίας και τροφοδοτούν τα νερά του ποταμού Αχελώου. Επιπλέον, από τη διώρυγα Διμήκου δέχεται την περίσσεια των νερών των λιμνών Λυσιμαχίας και Τριχωνίδας.

Στον Αχελώο χωροθετούνται 4 Υδροηλεκτρικά Φράγματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η κατασκευή των οποίων έχει προκαλέσει σημαντικές αλλοιώσεις στο ποτάμι.

Το υδροηλεκτρικό σύμπλεγμα του Αχελώου συγκαταλέγεται στα μεγαλύτερα και ισχυρότερα της Ευρώπης και συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην ενεργειακή αυτοδυναμία της χώρας μας.



Σχήμα 5.1: Ποταμός Αχελώος [51]

Τα τέσσερα φράγματα που αναφέρονται παραπάνω, είναι των Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου I και II τα οποία βρίσκονται σε σειρά διαμήκη του ποταμού Αχελώου. Δυο ακόμη φράγματα, αυτό της Συκιάς και της Δαφνοζωνάρας βρίσκονται σε φάση κατασκευής, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι το φράγμα της Μεσοχώρας είναι πλήρως κατασκευασμένο αλλά δεν λειτουργεί ακόμα.

Όσον αφορά το φράγμα των Κρεμαστών, ο ταμιευτήρας του έργου είναι ο μεγαλύτερος της Ελλάδας έχοντας συνολική ωφέλιμη χωρητικότητα 3,30 δις κυβικών μέτρων. Υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας και αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής είναι τα δυο σημεία που επιδιώκονται από το έργο.

Στη συνέχεια, αναφορικά με το σταθμό Καστρακίου, το έργο εκμεταλλεύεται τις εκροές του Υδροηλεκτρικού Σταθμού των Κρεμαστών καθώς επίσης και τα εκβαλλόμενα στον ταμιευτήρα των Κρεμαστών νερά του παραποτάμου Ινάχου τα οποία ανέρχονται στα 53 εκατ. Κυβ. μέτρα. Πλην της υδροηλεκτρικής παραγωγής, το έργο έχει ως βασικό σκοπό την άρδευση και ύδρευση του Δήμου Αγρινίου και των πλησίων Δήμων.

Οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί Στράτος I και II, διαθέτουν ταμιευτήρα χωρητικότητας 13 εκ. κυβ. μέτρα και είναι έργα τα οποία αποσκοπούν αφενός μεν στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας αφετέρου δε στην αποθήκευση νερού προκειμένου να ρυθμίζονται οι αρδευτικές ποσότητες και να ικανοποιούνται έτσι οι ανάγκες σε αρδύσιμο νερό που έχει η εύφορη πεδιάδα του Κάτω Αχελώου.

5.2 Γενική Περιγραφή του Υδροηλεκτρικού Έργου Καστρακίου

Το ΥΗΕ Καστρακίου χωροθετείται σε απόσταση 35 χλμ κατάντη του Φράγματος Κρεμαστών και βόρεια του Αγρινίου. Διοικητικά υπάγεται εξ' ολοκλήρου, στην Περιφερειακή Ενότητα Αιτωλ/νίας και είναι έργο με διπλό σκοπό: Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και ύδρευση-άρδευση της ευρύτερης περιοχής του Αγρινίου. Ξεκίνησε να κατασκευάζεται τον Μάιο του 1966 και ο σταθμός πλαισίωσε το σύστημα ύστερα από μια τριετία (Μάιος 1969).

Τα βασικά του μέρη είναι μια σήραγγα εκτροπής με μήκος 393μ, ένα χωμάτινο φράγμα αργιλικού πυρήνα και φίλτρων από αμμοχάλικα, το οποίο έχει ύψος 96 μ και ολικό όγκο 5.2 εκ. κυβικά μέτρα, εκχειλιστής άνευ θυροφράγματος με κεκλιμένη διώρυγα σπλισμένου σκυροδέματος και έργο αναπήδησης για να αποτονώνεται η ενέργεια, μια κατακόρυφη υδροληψία τεσσάρων ανοιγμάτων, τέσσερις ελεύθερους αγωγούς πτώσης και έναν ημιυπαίθριο σταθμό παραγωγής. Στο σταθμό παραγωγής είναι εγκατεστημένοι 4 υδροστρόβιλοι τύπου Francis, κατακόρυφου άξονα, ονομαστικής ισχύος 80MW έκαστος.

Ο σταθμός του Καστρακίου εκμεταλλεύεται την εκροούμενη υδατική ποσότητα του ΥΗΣ Κρεμαστών και τα εκβαλλόμενα στον ταμιευτήρα του έργου νερά του παραποτάμου Ινάχου. Ο ταμιευτήρας του ΥΗΕ Καστρακίου διαθέτει ωφέλιμη χωρητικότητα 53 εκ. μ³ και η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια του έργου ανέρχεται στις 598 GWh. Η λεκάνη απορροής του ταμιευτήρα καταλαμβάνει έκταση ίση με 4.118 χλμ.

Εν έτη 2010 (μήνας Ιούνιος), η ΔΕΗ τοποθέτησε ανατρεπόμενα θυροφράγματα ύψους 1,80μ στη στέψη του υπερχειλιστή του έργου, πράξη η οποία συνέβαλε στην αύξηση της στάθμης του ταμιευτήρα από τα 144,20 μ στα 146,00 μ. Συνέπεια της εν λόγω αύξησης, ήταν ο σχεδόν διπλασιασμός του ωφέλιμου όγκου του ταμιευτήρα από τα 53·106 m³ στα 97·106 m³. Η σημαντική αύξηση του ωφέλιμου όγκου του ταμιευτήρα, συνδυαστικά με την σχετικώς μικρή μεταβολή στάθμης και το ευνοϊκό περιμετρικά του ταμιευτήρα τοπογραφικό ανάγλυφο (δηλ. απότομες ορεινές περιοχές με εν δυνάμει τροποποιημένους ταμιευτήρες σε μεγαλύτερο υψόμετρο) κάνει «πρόσφορο το έδαφος» για μελλοντική εγκατάσταση αναστρέψιμων έργων. Στα σχήματα 5.2, 5.3 και 5.4 παρουσιάζονται απόψεις του Υδροηλεκτρικού Φράγματος Καστρακίου-Στράτου.



Σχήμα 5.2: Άποψη από το Υδροηλεκτρικό Έργο Καστρακίου-Στράτου [52]



Σχήμα 5.3: Άποψη από το Υδροηλεκτρικό Έργο Καστρακίου-Στράτου [53]



Σχήμα 5.4: Άποψη από το Υδροηλεκτρικό Έργο Καστρακίου-Στράτου [54]

5.3 Γενική Περιγραφή του Υδροηλεκτρικού Έργου Στράτος I και II

Ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός χωροθετείται στην περιοχή του Κάτω Αχελώου πλησίον της πόλης του Αγρινίου, και ειδικότερα, 8 χλμ κατάντη του Υδροηλεκτρικού Σταθμού Καστρακού, από τα εκρέόμενα νερά του οποίου τροφοδοτείται. Από την Αθήνα απέχει 285 χλμ. Τα μέρη που αποτελούν τον ΥΗΣ είναι ένα χωμάτινο φράγμα με κεντρικό αργιλικό πυρήνα, 1900 μ μήκους και 26 μ ύψους, με ολικό όγκο 2,8 εκ.μ³, δυο κεκλιμένες υδροληψίες, δύο σήραγγες προσαγωγής εξοπλισμένες με θυροφράγματα οι οποίες βρίσκονται εντός του δεξιού αντερείσματος του φράγματος και έχουν μήκος 74,5 μ. έκαστος. Ένας εκχειλιστής προσαγωγής εξοπλισμένος με θυροφράγματα, κεκλιμένη διώρυγα και λεκάνη φόρτισης (ή αλλιώς: λεκάνη ηρεμίας) με μέγιστη παροχετευτικότητα 4000 m³/s, ένας υπόγειος σταθμός παραγωγής και τέλος, μια διώρυγα φυγής με μήκος ίσο με 7χλμ., με την οποία επιστρέφει το νερό στη ροή. Στο σταθμό είναι εγκατεστημένες δύο υδροστρόβιλοι τύπου Francis κατακόρυφου άξονα, ονομαστικής ισχύος 75 MW έκαστος. Το έργο ξεκίνησε να

κατασκευάζεται εν έτη 1989 και ο σταθμός παραγωγής εντάχθηκε στο υδροηλεκτρικό σύστημα μετά από μια οχταετία περίπου (το 1989).

Ο ΜΥΗΣ Στράτου II συνδέεται με την είσοδο του εκχειλιστή του βασικού έργου και αξιοποιεί τα ύδατα τα οποία υπό άλλες συνθήκες θα διοχετεύονταν από τον εκχειλιστή απευθείας για την πλήρωση των αρδευτικών αναγκών στις γύρω περιοχές κατά την αρδευτική περίοδο. Πρόκειται για μια μέση ποσότητα νερού η οποία ανέρχεται στα 335 εκ.μ. προορίζεται για τις αρδευτικές ανάγκες ετησίως και παράλληλα, τροφοδοτεί τους δυο μυχς. Στο σταθμό είναι εγκατεστημένοι δυο σωληνοειδή υδροστρόβιλοι, ονομαστικής ισχύος 3 MW έκαστος, με καθαρό ύψος πτώσεως στα 16,8 μ. Κατά την περίοδο της άρδευσης, ο σταθμός μένει σε λειτουργία όλο το 24ωρο. Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζεται άποψη του Υδροηλεκτρικού Έργου Στράτου.

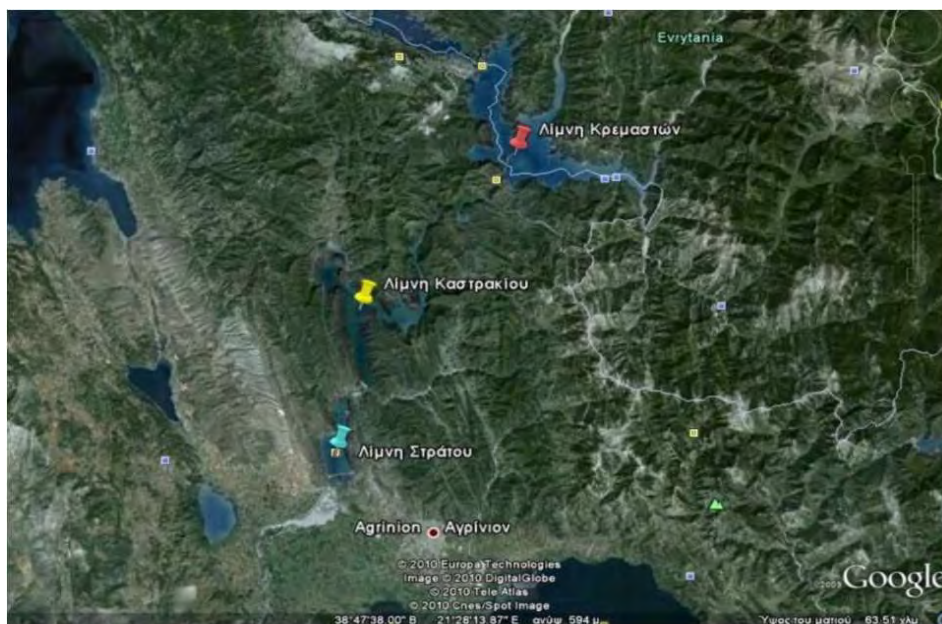


Σχήμα 5.5: Προεπισκόπηση του Υδροηλεκτρικού Έργου Στράτου [55]

5.4 Σκοπιμότητα της Μελέτης

Ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός Καστρακίου και ειδικότερα ο ταμιευτήρας του, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη δημιουργία αναστρέψιμων έργων. Βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων αναζήτησης κατάλληλων θέσεων για την κατασκευή έργων αντλιοσταμίου εντοπίστηκαν αρκετές πιθανές θέσεις (εφτά από αυτές επισημαίνονται στη συνέχεια) κατασκευής αναστρέψιμων σταθμών οι οποίοι να αντλούν ποσότητες νερού από τον ταμιευτήρα Καστρακίου.

Στην εν λόγω εργασία γίνεται μελέτη και αναφορά σε επτά θέσεις από αυτές που βρέθηκαν, διαχωρίζοντας τες όμως σε τοποθεσίες όπου θα εγκατασταθούν φράγματα (τέσσερις εκ του συνόλου, οι εξής: Αλευράδα, Δαιμονοπύργια, Σομπόρεμα, Πετούλια) και σε τοποθεσίες όπου θα κατασκευαστούν λιμνοδεξαμενές (τρεις τοποθεσίες εκ του συνόλου, οι εξής; Φίλος, Τσουγκάρια, Μέγα Κάμπος). Επιπρόσθετα, ερευνάται η περίπτωση μετατροπής του ίδιου του ΥΗΣ Καστρακίου σε αναστρέψιμο, προσθέτοντας του αντλιοστάσιο από τον Στράτο στο Καστράκι. Τα στοιχεία που είναι βασισμένη η συγκεκριμένη μελέτη-εργασία, είναι τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας που έγινε μνεία παραπάνω. Στο Σχήμα 4.6 παρουσιάζεται δορυφορική εικόνα της Λίμνης Καστρακίου από υψόμετρο περί τα 600 μέτρα.



Σχήμα 5.6: Δορυφορική Εικόνα της Λίμνης Καστρακίου [56]

Βασική προϋπόθεση για να κατασκευασθούν τα αναστρέψιμα μεμονωμένα υδροηλεκτρικά έργα (7 μονάδες), είναι η αξιοποίηση του εν λειτουργία ταμιευτήρα (ενν. Καστρακίου) ως κάτω ταμιευτήρας, καθώς επίσης και η χρησιμοποίηση των φραγμάτων ή λιμνοδεξαμενών (Πίνακας 8) ως άνω ταμιευτήρες, και εν συνεχεία να ακολουθήσει η κατασκευή των εγκαταστάσεων του αναστρέψιμου έργου. Το τελευταίο σημαίνει ότι θα πρέπει να κατασκευαστεί αντλητικό συγκρότημα με το οποίο θα αντλείται νερό από έναν

κάτω προς έναν άνω ταμιευτήρα χρησιμοποιώντας καταθλιπτικό αγωγό, να κατασκευαστεί υδροστρόβιλος ή περισσότεροι του ενός ώστε να μετατρέπεται η ενέργεια σε ηλεκτρική, λειτουργία δηλαδή που ακολουθείται από την μεταφορά του νερού από τον άνω στον κάτω ταμιευτήρα. Συνεχίζοντας τώρα, στα αναστρέψιμα έργα, για την μετατροπή του ζεύγους Καστρακίου – Στράτου σε αναστρέψιμο πρέπει να κατασκευαστεί μόνο το αντλιοστάσιο και όχι να εγκατασταθεί υδροστρόβιλος, συνεπώς το κατασκευαστικό κόστος θα είναι σημαντικά μικρότερο. Οι εν λόγω θέσεις και τα χαρακτηριστικά τους αναλύονται παρακάτω και είναι τα αποτελέσματα από την εκπονημένη μελέτη της φοιτήτριας Αποστολοπούλου Άννας, στα πλαίσια της διπλωματικής της εργασίας με τίτλο «Αξιοποίηση υπαρχουσών λιμών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με άντληση-ταμίευση για αντιμετώπιση διεύδυσης Αιολικών Πάρκων στο δίκτυο». Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται δεδομένα των οκτώ υποψήφιων αναστρέψιμων μονάδων και στο Σχήμα 5.8 η χωροθέτηση αυτών.

Κάτω δεξαμενή	Τύπος άνω δεξαμενής	Μέγιστη ισχύς άντλησης (MWh)	Μέγιστη παραγόμενη ισχύς (MWh)	Ώρες λειτουργίας
Καστράκι	Φράγμα Αλευράδα	272	183	24,0
Καστράκι	Φράγμα Σομπόρρεμα	153	110	12,1
Καστράκι	Δεξαμενή Τσουγκάρια	52	37	12,1
Καστράκι	Δεξαμενή Φίλος	131	91	5,8
Καστράκι	Φράγμα Δαμιονοσύργια	124	83	5,9
Καστράκι	Φράγμα Πετούλια	124	85	12,0
Καστράκι	Δεξαμενή Μέγας Κάμπος	74	52	12,0
Στράτος	Δεξαμενή Καστρακίου	117	80	5,9

Πίνακας 5.1: Παρουσίαση δεδομένων των 8 πιθανών αναστρέψιμων μονάδων

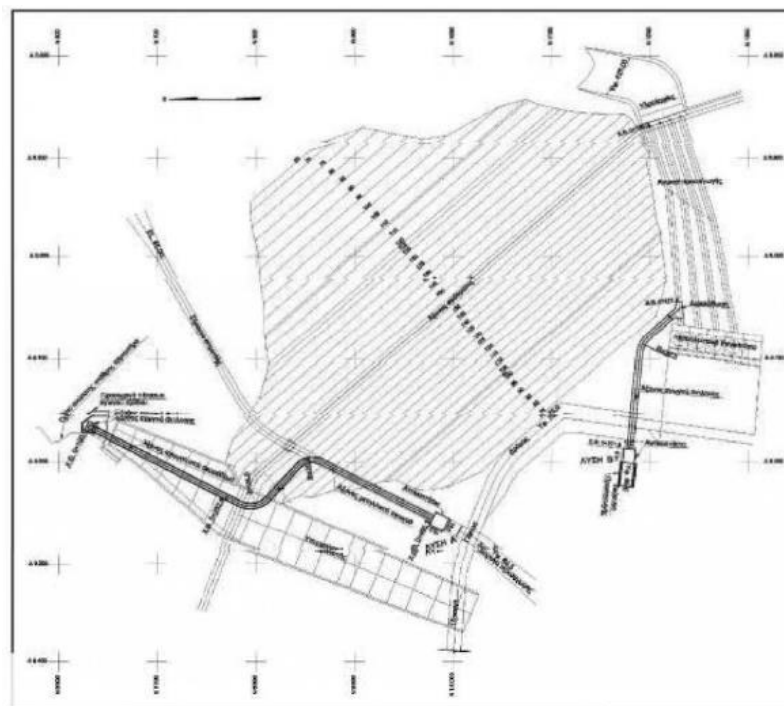


Σχήμα 5.7: Οι οκτώ πιθανές αναστρέψιμες μονάδες στον χάρτη

Η εν λόγω εργασία επιδιώκει στην εύρεση συγκεκριμένων λύσεων εφαρμογής των παραπάνω εν δυνάμει αναστρέψιμων μονάδων, στοχεύοντας στο να συμβάλει σημαντικά σε ζητήματα όπως η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου καθώς επίσης και η αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας σε κομβικές χρονικές στιγμές όπου κρίνεται αναγκαίο. Αντιλαμβάνεται κανείς ότι η συγκεκριμένη προσέγγιση-μελέτη θα μπορούσε να αποτελεί σημαντικό παράγοντα στο ευρύτερο ενεργειακό σχεδιασμό της χώρας, μιας και θα συνέβαλε ενεργά στη σταθερότητα του ηλεκτρικού δικτύου και στη χρήση ενέργειας που παραμένει αναξιοποίητη, αλλά θα αποτελούσε και σημαντικό παράγοντα προώθησης της μεγαλύτερης διείσδυσης ΑΠΕ (ειδικότερα, αιολικής ενέργειας) στον ελληνικό χώρο. Στα σχήματα 5.8 και 5.9 παρουσιάζονται κατόψεις του αντλιοστασίου Καστρακίου-Στράτος.



Σχήμα 5.8: Κάτοψη του υδροηλεκτρικού σχεδίου στο οποίο αποτυπώνεται το ζεύγος Καστράκι-Στράτος [57]



Σχήμα 5.9: Κάτοψη Προσθήκης αντλιοστάσιου Καστράκι-Στράτος [58]

Κεφάλαιο 6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

6.1 Προεπισκόπηση του προτεινόμενος συγκροτήματος

Όπως προαναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 5ο, ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός Καστρακίου – Στράτου θα διερευνηθεί έτσι ώστε τόσο να μετατραπεί σε αναστρέψιμη μονάδα ο ίδιος όσο και να εγκατασταθούν και άλλες τέτοιου είδους μονάδες οι οποίες χωροθετούνται σε κατάλληλες θέσεις (7 μονάδες - θέσεις) πλησίον αυτού, και των οποίων οι αντλήσεις νερού θα πραγματοποιούνται από τον ταμιευτήρα του Υδροηλεκτρικού Σταθμού. Τα ενεργειακά δεδομένα που λαμβάνονται υπόψη είναι εν μέρη πλασματικά και αποτελούν μεγέθη παλαιότερου έτους. Η παρούσα μελέτη, η χρήση του υπολογιστικού συστήματος, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για διάφορα σενάρια, αναλόγως με την σκοπιμότητα της κάθε μελέτης. Η παρούσα μελέτη στοχεύει στο να συμβάλει αισθητά στην αντιμετώπιση των ενεργειακών δυσκολιών έτσι όπως αναφέρθηκαν στα πρώτα κεφάλαια της εργασίας. Στο Κεφάλαιο 6 θα μελετηθεί η εκμετάλλευση των απορρίψεων της αιολικής ενέργειας από το δίκτυο μέσω αποθήκευσης από τις μονάδες άντλησης του έργου καθώς επίσης και η μελλοντική παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από τους στροβίλους των αναστρέψιμων μονάδων.

Πρώτα, για να υπολογιστεί η συνολική παραγωγή ενέργειας από ποικίλες πηγές για το έτος 2008 και εν συνεχεία να υπολογιστεί η απορριπτόμενη αιολική ενέργεια από το δίκτυο, γίνεται χρήση ενός υπολογιστικού προγράμματος (κώδικας) γλώσσας Matlab, ο οποίος επεξεργάζεται όλα τα ενεργειακά στοιχεία που έχουν εισαχθεί από τη ΔΕΗ Α.Ε. Τα δεδομένα που δέχεται περιέχονται σε αρχείο μορφής κειμένου. Με άλλα λόγια, προκύπτουν αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζουν την ωριαία ενεργειακή παραγωγή από ποικίλες πηγές ενέργειας για ολόκληρο το έτος. Ακολουθεί ο υπολογισμός, χρησιμοποιώντας τον ίδιο τον κώδικα, των αιολικών απορρίψεων ανά ώρα για όλο το έτος, καθώς επίσης και το ποσοστό των απορρίψεων ενέργειας συγκριτικά με την παραγόμενη αιολική ενέργεια.

Για τον υπολογισμό του ποσοστού της απορριφθείσας αιολικής ενέργειας, προσθέτουμε κάθε φορά ένα ποσοστό εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά συγκριτικά με το μέση ετήσιο του έτους, το οποίο ανέρχεται στα 6338 MW.

Ο πρώτος κώδικας περιέχει τα στοιχεία εισόδου του, τα οποία είναι τα εξής:

- Ωριαία χρονοσειρά της ενέργειας που παράγεται από θερμικές μονάδες (αεριοστροβλικές, πετρελαϊκές, λιγνιτικές)
- Ωριαία χρονοσειρά της ενέργειας που παράγεται από ποικίλες τεχνολογίες (μικρά υδροηλεκτρικά έργα, άλλες ΑΠΕ κ.λ.π)
- Ωριαία χρονοσειρά της ενέργειας που παράγεται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς
- Ωριαία χρονοσειρά της ενέργειας που παράγεται από χώρες που γειτνιάζουν με την χώρα μας

Κάποιον παράγοντα ο οποίος ορίζεται από τον χρήστη και βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός του ποσοστού της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά συγκριτικά με το μέσο ετήσιο φορτίο.

- Αναφορικά με την έξοδο, γίνεται υπολογισμός των εξής μεγεθών:
- Σύνολο ενεργειακής παραγωγής για το έτος αναφοράς
- Ποσοστό εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά
- Απορριπτόμενη αιολική ενέργεια
- Παραγωγή αιολικής ενέργειας

Η ενότητα 6.2 περιέχει τα διαγράμματα τα οποία απεικονίζουν όλα τα αποτελέσματα του πρώτου κώδικα.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η χρήση ενός δεύτερου υπολογιστικού κώδικα σε γλώσσα Matlab, με τον οποίον υπολογίζεται η εκμετάλλευση της απορριπτόμενης από το δίκτυο ενέργειας, τόσο η συνολική όσο και από την εκάστοτε μονάδα ξεχωριστά.

Είναι σαφέστατο όμως, ότι οι υπολογισμοί αυτοί θα είναι εξαρτώμενοι από μεγέθη τα οποία μεταβάλλονται. Συγκεκριμένα, από τα μεγέθη όπως η σειρά ένταξης των

αναστρέψιμων μονάδων καθώς επίσης και ο αριθμός ωρών λειτουργίας των αντλιών σε διάστημα 24 ωρών. Άρα, κρίνεται αναγκαίο να διακριθούν και να εξετασθούν περιπτώσεις.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας προτιμήθηκαν και εξετάζονται 3 σενάρια, τα οποία είναι τα εξής:

ΣΕΝΑΡΙΟ 1ο: Ένταξη των στροβίλων των αναστρέψιμων μονάδων αποκλειστικά σε διάστημα 8 ωρών καθημερινώς (επιλέγονται οι ώρες αιχμής, δηλαδή: 11:00π.μ-15:00μ.μ και 19:00μ.μ-23:00μ.μ)

ΣΕΝΑΡΙΟ 2ο: Τροποποίηση της σειράς ένταξης των αναστρέψιμων μονάδων. Στην ένταξη, την πρώτη θέση λαμβάνει η μονάδα 8.

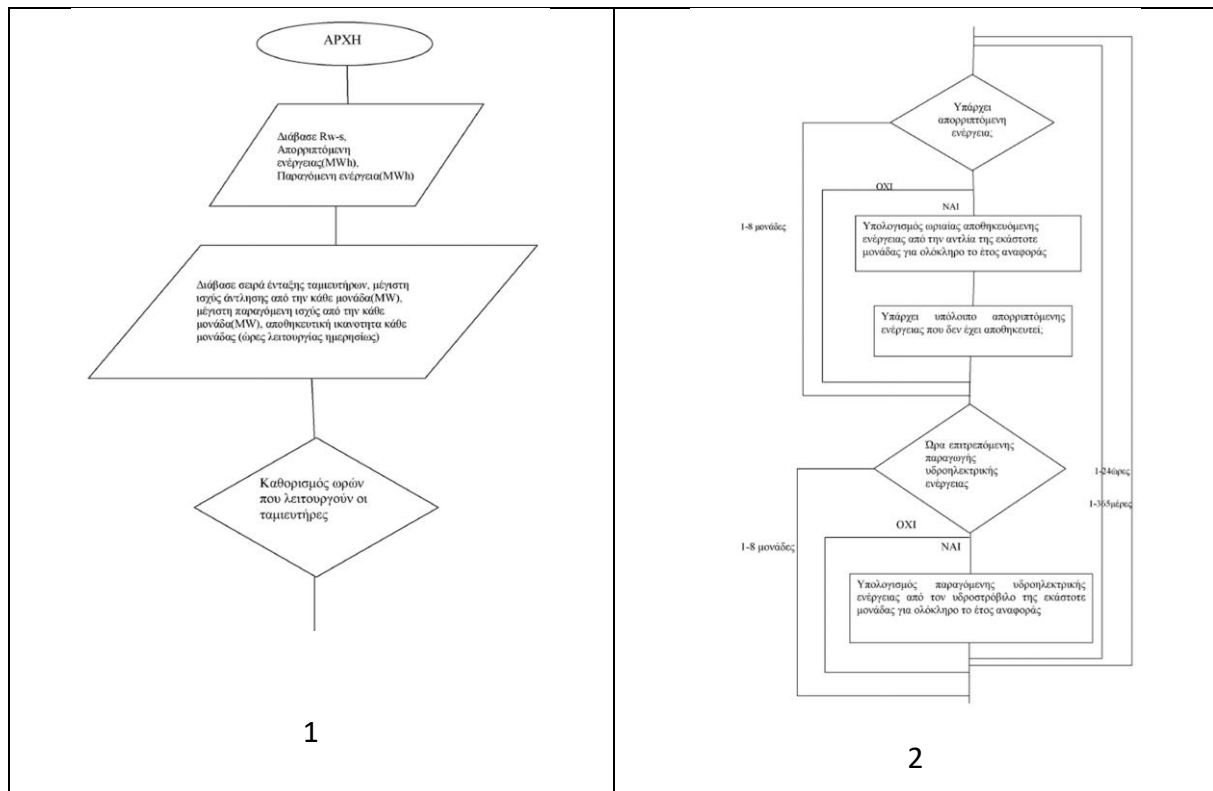
ΣΕΝΑΡΙΟ 3ο: Ένταξη των στροβίλων των αναστρέψιμων μονάδων σε διάστημα 14 ωρών καθημερινώς (δηλαδή: 9:00 π.μ-23:00 μ.μ)

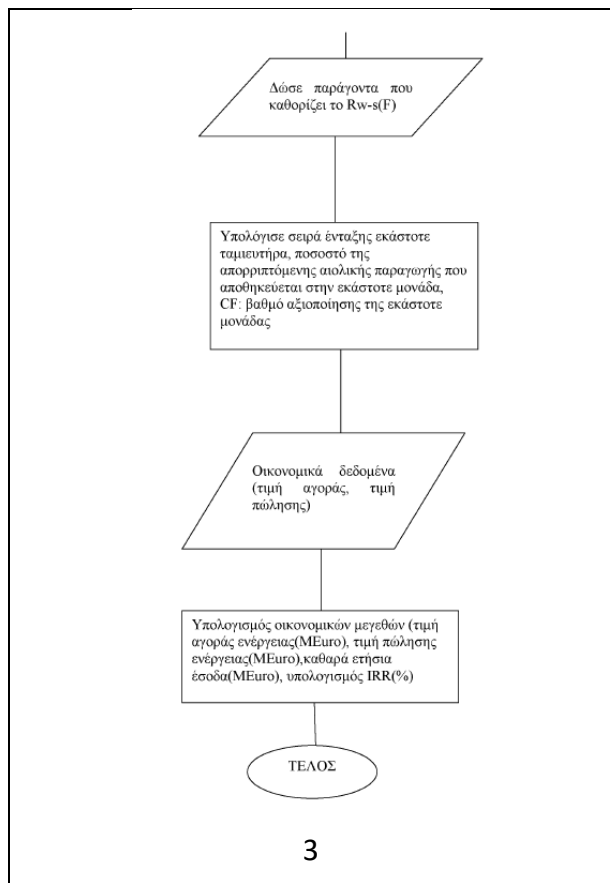
Στη συνέχεια παρατίθενται τα κύρια στοιχεία του δεύτερου αλγορίθμου που εφαρμόζεται για τους υπολογισμούς, τα οποία είναι τα εξής:

- Καθορίζεται η σειρά ένταξης των αναστρέψιμων μονάδων
- Απορροφούνται οι απορρίψεις αιολικής παραγωγής από τις αντλίες των μονάδων, κατά σειρά ένταξης του αντίστοιχου ταμιευτήρα.
- Την τελευταία θέση κατά την ένταξη λαμβάνει η μονάδα 8 (Υδροηλεκτρικός Σταθμός Καστρακίου)
- Αριθμός ωρών που λειτουργούν οι αναστρέψιμες μονάδες
 - Σενάριο 1ο
 - Σενάριο 2ο
 - Σενάριο 3ο
- Δεν είναι εφικτό η άντληση και η παραγωγή να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Ο λόγος αφορά το ότι γίνεται χρήση μόνο του αγωγού για την άντληση και την παραγωγή ενέργειας έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κατασκευαστικό κόστος στο βέλτιστο δυνατό.
- Στο τέλος, υπολογίζεται η φόρτιση αντλιοστασίων και παραγωγής στροβίλων όλων των μονάδων, καθώς επίσης και του Βαθμού Αξιοποίησης (CF).

- Υπολογίζονται τα ετήσια ενεργειακά μεγέθη (ενν. σύνολο αποθηκευμένης αιολικής ενέργειας και παραγωγής στροβίλων)

Το διάγραμμα που ακολουθεί στο Σχήμα 6.1 αφορά το λογικό διάγραμμα του δεύτερου υπολογιστικού αλγορίθμου.

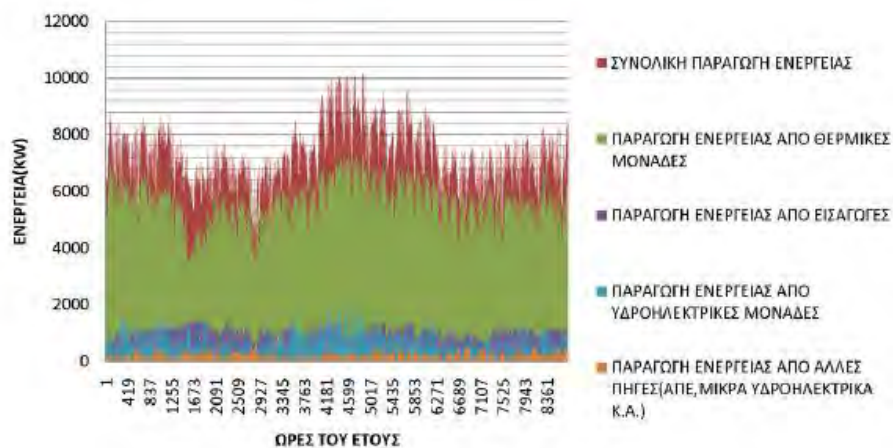




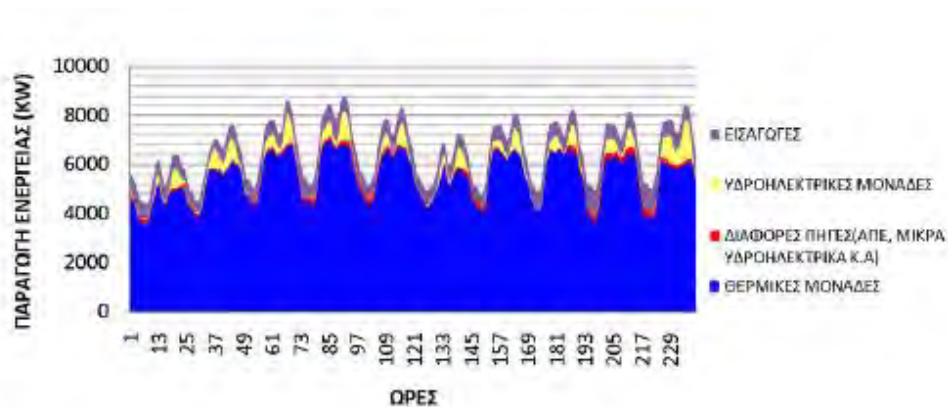
Σχήμα 6.1: Λογικό Διάγραμμα του Δεύτερου Υπολογιστικού Αλγορίθμου

6.2 Ανάλυση Παραγωγής Ενέργειας

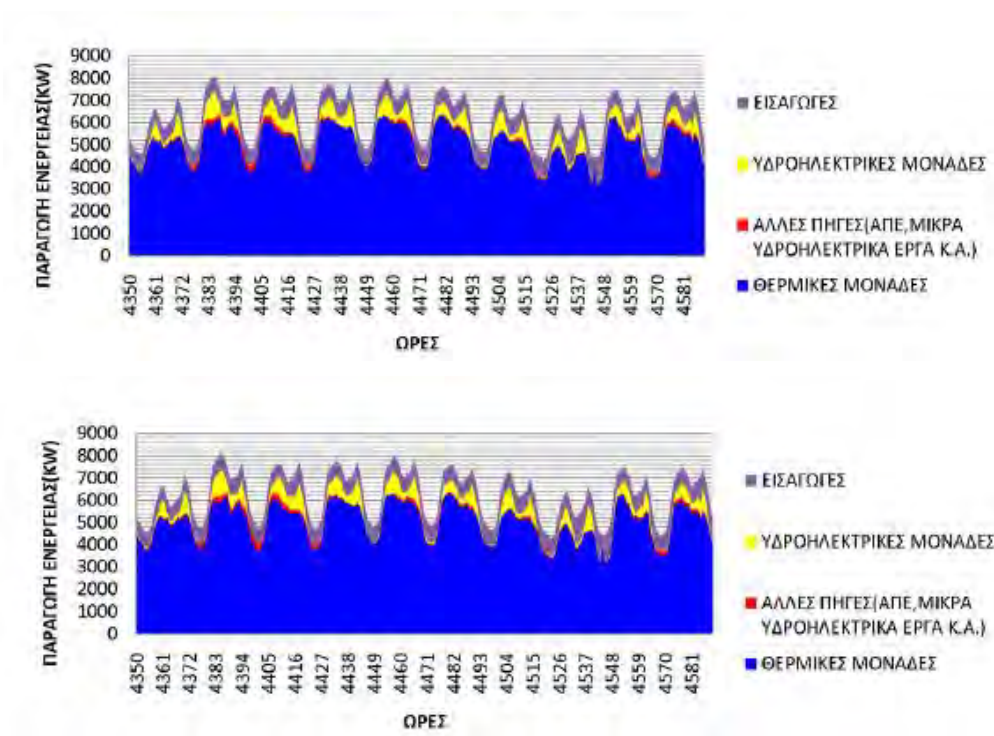
Τα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζουν τα ενεργειακά αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του πρώτου υπολογιστικού αλγορίθμου. Στα σχήματα 6.2, 6.3, 6.4 και 6.5 παρουσιάζονται διαγράμματα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που παράγεται σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα.



Σχήμα 6.2: Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που παράγεται σε ένα έτος

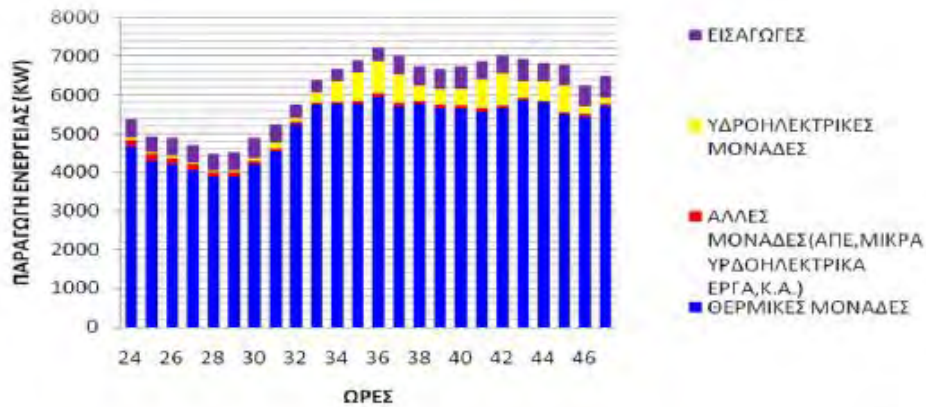


Σχήμα 6.3: Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που παράγεται σε διάστημα 10 ημερών



Σχήμα 6.4: Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που παράγεται σε διάστημα 10 ημερών (θερινή περίοδος)

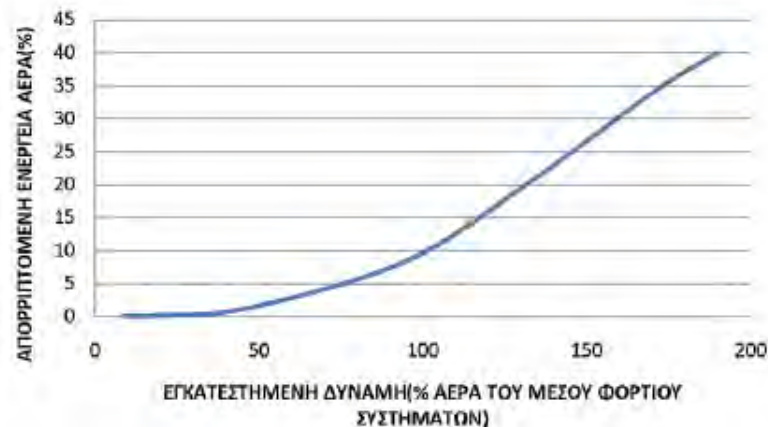
Από τα δεδομένα των διαγραμμάτων διακρίνεται ότι παράγεται μεγαλύτερο ποσό ενέργειας τους θερινούς μήνες του έτους με τις τιμές να αγγίζουν και τα 10000KW/ώρα, ενώ, όπως φαίνεται, σε όλη τη διάρκεια του έτους καταγράφεται το μεγαλύτερο ποσοστό παραγόμενης ενέργειας από θερμικές μονάδες. Στο διάστημα 24 ωρών, μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας καταγράφεται κατά την διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 6.5: Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που παράγεται σε διάστημα 24 ωρών (θερινή περίοδος)

6.3 Ανάλυση ετήσιας αιολικής ενέργειας που απορρίπτεται από το δίκτυο

Όπως προαναφέρθηκε, η παρούσα μελέτη του συγκροτήματος έχει ως βασικό σκοπό την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας που απορρίπτεται από το δίκτυο καθώς επίσης και την διάθεση της σε χρονικά διαστήματα όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο. Η απορριπτόμενη αιολική ενέργεια μεταβάλλεται ανάλογα με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ.



Σχήμα 6.6: Διάγραμμα απεικόνισης της ετήσιας απόρριψης ενέργειας από αιολικά με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά

Βάσει του παραπάνω διαγράμματος, οι αιολικές απορρίψεις γίνονται αισθητές, όταν η εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά αγγίζει περίπου το 50% του μέσου ετήσιου φορτίου του συστήματος (ενν.: 6338 MW για το έτος αναφοράς). Ενώ από την άλλη, όσο η εγκατεστημένη αιολική ισχύς σημειώνει αυξητική τόσο οι απορρίψεις αιολικής ενέργειας γίνονται όλο και περισσότερες.

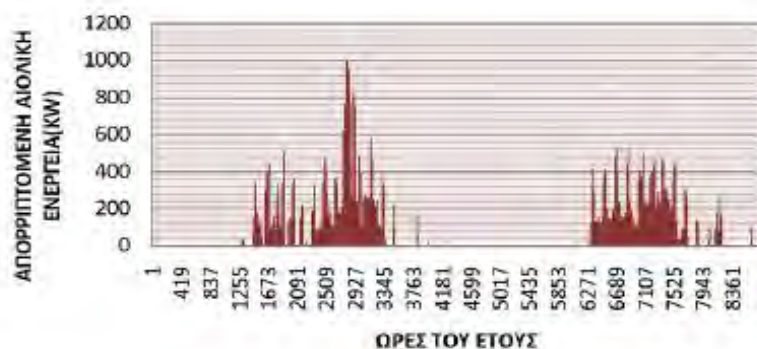
Παρακάτω, παρουσιάζεται, υπό τη μορφή διαγράμματος, το ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας για ποικίλες τιμές εγκατεστημένης αιολικής ισχύος.

Αξιοσημείωτο είναι ότι οι υπολογισμοί των λόγων εγκατεστημένης αιολικής ενέργειας ,συγκριτικά με το μέσο ετήσιο φορτίο, πραγματοποιούνται σύμφωνα με πραγματικά δεδομένα του παρόντος και του μέλλοντος. Δηλαδή, ο λόγος εγκατεστημένης ενέργειας από αιολικά (~1200MW) συγκριτικά με το μέσο ετήσιο φορτίο (=6338MW) ισούται περίπου με 0,2 , άρα $Rw-s=0,2$. Ο συγκεκριμένος λόγος όμως, βάσει του εθνικού ενεργειακού στόχου που έχει θέσει η χώρα μας (αναλύεται και στα πρώτα κεφάλαια της παρούσας μελέτης), εκτιμάται ως εξής όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 6.1:

Ενεργειακός στόχος για εγκατεστημένη ισχύς(MW)	Έτος	Εκτίμηση τιμής του R_{w-s}
8000	2020	1,1
10000-11000	2030	1,5
>15000	2050	2

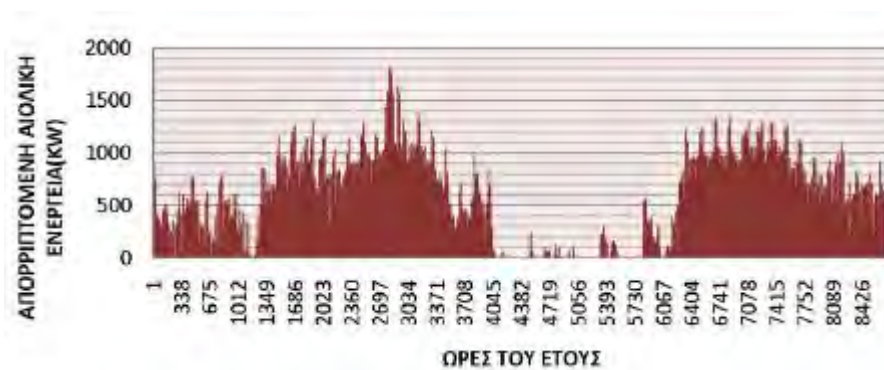
Πίνακας 6.1: Ενεργειακός στόχος ανά έτος και εκτίμηση τιμής του R_{w-s}

- Για εγκατεστημένη αιολική ισχύ ίση με το μέσο ετήσιο (δηλ.: $Rw-s=1$), όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.7 :



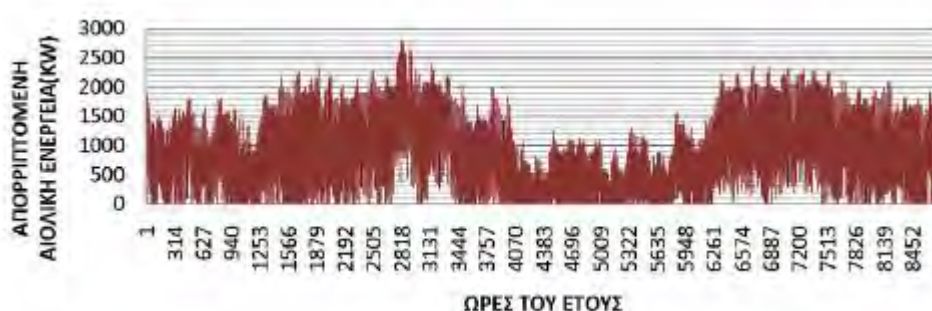
Σχήμα 6.7: Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που απορρίπτεται, για ποικίλες τιμές εγκατεστημένες αιολικής ισχύος

- Για εγκατεστημένη αιολική ισχύ ίση με το μέσο ετήσιο (δηλ.: $Rw-s=1$), όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.8:



Σχήμα 6.8: Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που απορρίπτεται, για ποικίλες τιμές εγκατεστημένες αιολικής ισχύος

- Για εγκατεστημένη αιολική ισχύ η οποία είναι μεγαλύτερη κατά 50% από το μέσο ετήσιο φορτίο (δηλ.: $Rw-s=1,5$), όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.9:



Σχήμα 6.9: Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς της ενέργειας που απορρίπτεται, για ποικίλες τιμές εγκατεστημένες αιολικής ισχύος

Είναι σαφές πως στην πρώτη περίπτωση, όταν δηλαδή $Rw-s = 0,5$, υπάρχουν αρκετά διαστήματα όπου οι απορρίψεις είναι μηδενικές τόσο τη χειμερινή όσο και τη θερινή περίοδο. Στο σχήμα 6.5, για $Rw-s=1$ υφίστανται κάποιες περίοδοι (σίγουρα λιγότεροι από την προηγούμενη περίπτωση) όπου οι απορρίψεις είναι μηδενικές και ειδικότερα την περίοδο του καλοκαιριού. Στο τρίτο στη σειρά διάγραμμα από τα παραπάνω, (όπου υφίστανται

υψηλότερες εγκαταστάσεις και $Rw-s=1,5$) δεν καταγράφονται μηδενικές απορρίψεις σε κάποια από τις περιόδους. Διακρίνεται ότι οι απορρίψεις κατανέμονται ανομοιόμορφα σε όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ τις περιόδους της άνοιξης και του φθινοπώρου αντίστοιχα, το ποσοστό των απορρίψεων αποτελεί παράγοντα καίριας σημασίας ακόμα και κατά τη διάρκεια της ημέρας.

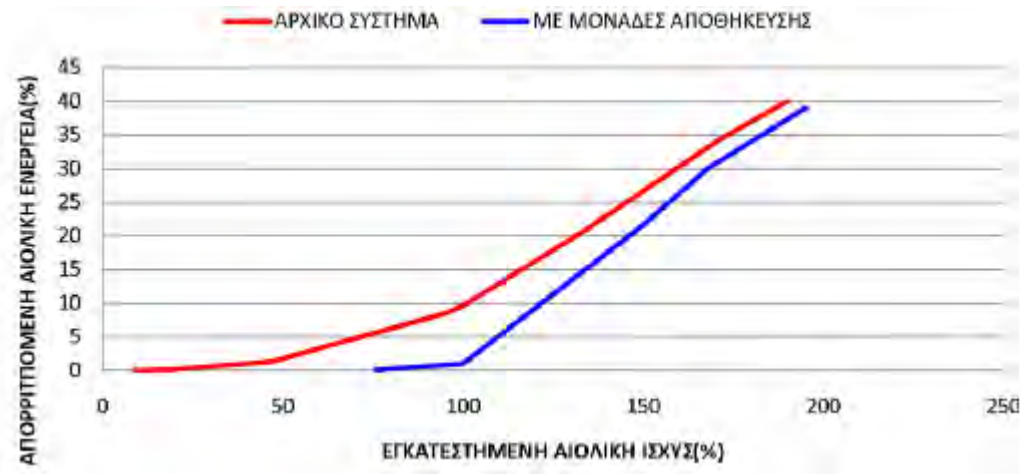
6.4 Σενάριο 1^ο: Οι υδροστρόβιλοι των αναστρέψιμων σταθμών να λειτουργούν μόνο για 8 ώρες ημερησίως (πρόκειται για τις ώρες αιχμής , δηλαδή 11:00π.μ. – 15:00μ.μ. και 19:00μ.μ. - 23:00μ.μ.)

Στο συγκεκριμένο σενάριο λειτουργίας των αναστρέψιμων μονάδων, αυτές λειτουργούν με καθορισμένη ένταξη και μόνο τις ώρες αιχμής. Στον πίνακα 6.2 που ακολουθεί αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά στις αναστρέψιμων σταθμών.

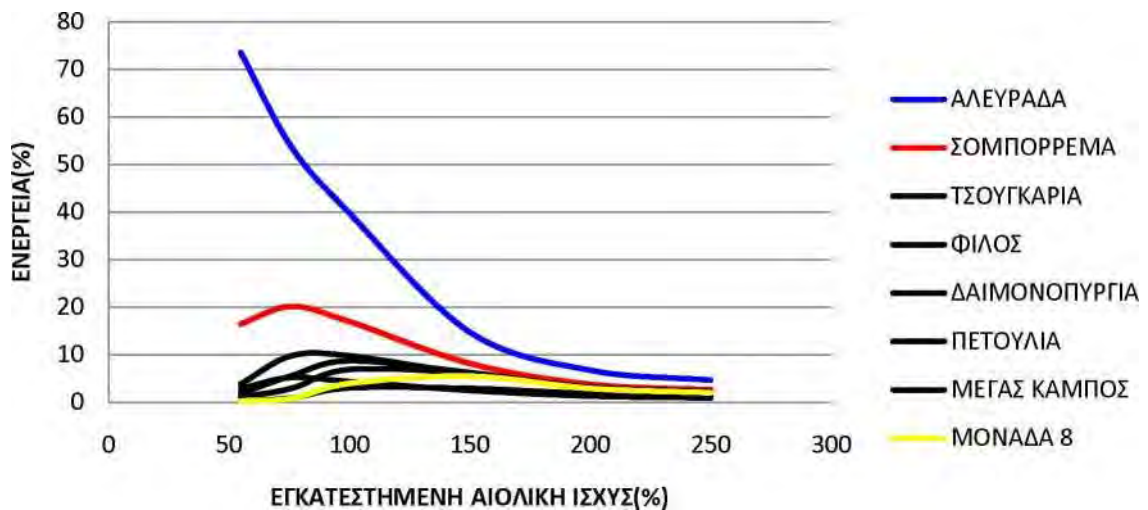
Σειρά Ένταξης	Κάτω δεξαμενή	Τύπος άνω δεξαμενής	Μέγιστη ισχύς άντλησης (MW)	Μέγιστη παραγόμενη ισχύς (MW)	Ώρες λειτουργίας
1	Καστράκι	Φράγμα Αλευράδα	272	183	24,0
2	Καστράκι	Φράγμα Σομπόρρεμα	153	110	12,1
3	Καστράκι	Δεξαμενή Τσουγκάρια	52	37	12,1
4	Καστράκι	Δεξαμενή Φίλος	131	91	5,8
5	Καστράκι	Φράγμα Δαιμονοπούργια	124	83	5,9
6	Καστράκι	Φράγμα Πετούλια	124	85	12,0
7	Καστράκι	Δεξαμενή Μέγας Κάμπος	74	52	12,0
8	Στράτος	Δεξαμενή Καστρακίου	117	80	5,9

Πίνακας 6.2: Ανάλυση των πιθανών αναστρέψιμων σταθμών

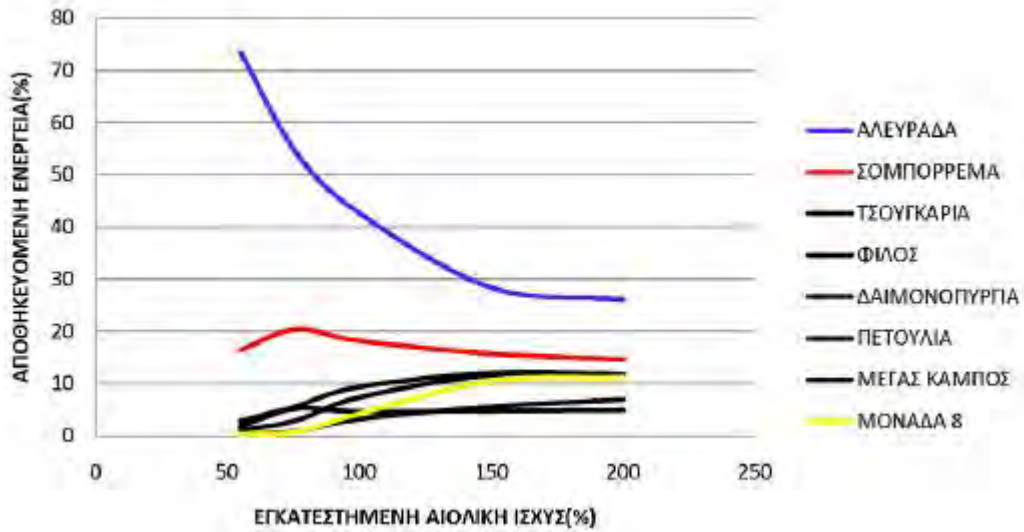
Βάσει του κώδικα, τα αποτελέσματα υπό μορφή διαγράμματος προκύπτουν ως εξής, όπως αποτυπώνονται στα σχήματα 6.9,6.10,6.11 και 6.12 :



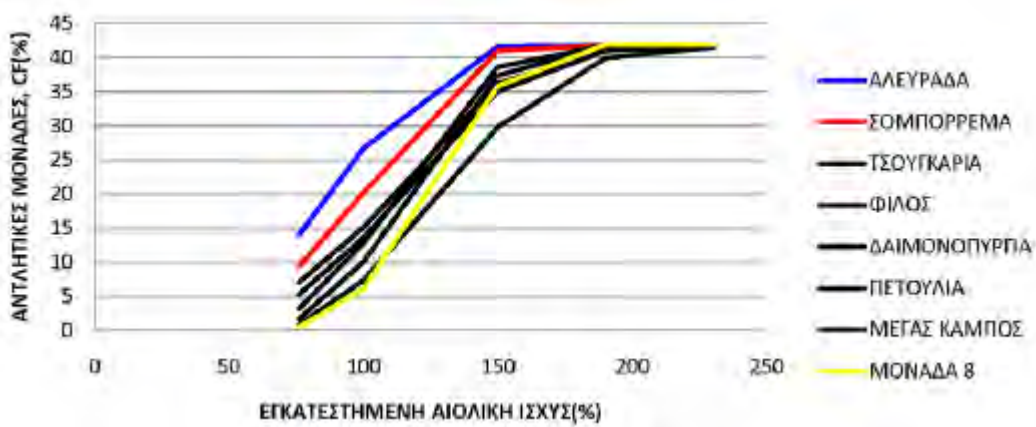
Σχήμα 6.10: Ποσοστό απορριπτόμενης παραγωγής αιολικής ενέργειας, συναρτήσεως της αιολικής ισχύος που είναι εγκατεστημένη ως ποσοστό % της μέσης ετήσιας ζήτησης φορτίου του δικτύου



Σχήμα 6.11: Ποσοστό απορριπτόμενης παραγωγής αιολικής ενέργειας, η οποία αποθηκεύεται από κάθε αναστρέψιμη μονάδα, συναρτήσεως της αιολικής ισχύος που έχει εγκατασταθεί



Σχήμα 6.12: Ποσοστό της απορριπτόμενης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία αποθηκεύεται από την κάθε αναστρέψιμη μονάδα προς το σύνολο της αποθηκευμένης ενέργειας, συναρτήσει της αιολικής ισχύος που έχει εγκατασταθεί



Σχήμα 6.13: Βαθμός Αξιοποίησης (CF-Capacity Factor) των αντλιών από τις αναστρέψιμες μονάδες του Καστρακίου συναρτήσει με την αιολική ισχύ που είναι εγκατεστημένη

Βάσει των παραπάνω διαγραμμάτων διακρίνουμε μια σημαντική μείωση των απορρίψεων αιολικής παραγωγής χρησιμοποιώντας τους αναστρέψιμους σταθμούς

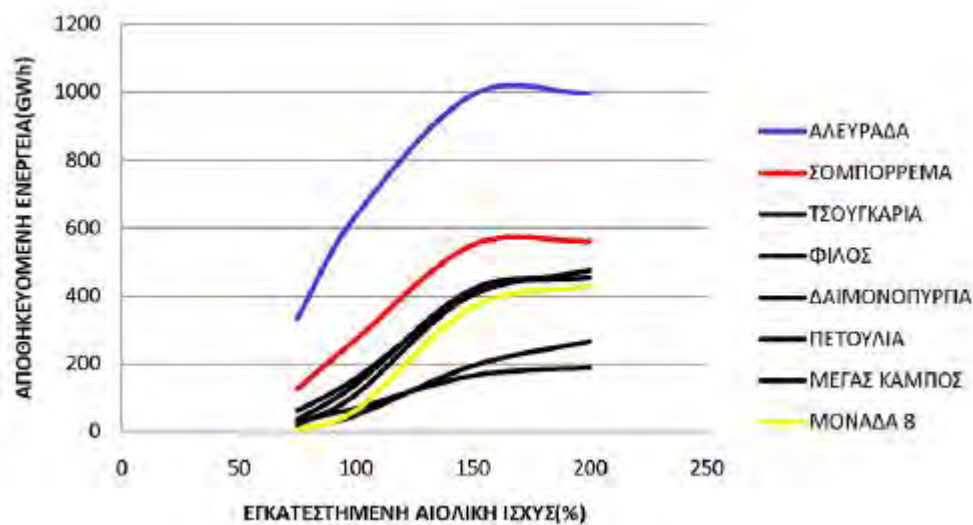
αποθήκευσης ενέργειας στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος αιολικής ενέργειας. Επιπροσθέτως, διακρίνεται από το ίδιο διάγραμμα ότι ακόμα και για εγκατεστημένη ισχύ η οποία ισούται με το μέσο ετήσιο φορτίο, υπάρχει αξιοποίηση όλης της απορριπτόμενης ενέργειας. Εν συνέχεια, υπάρχει αύξηση της απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας έως ότου να παραλληλιστούν οι δυο καμπύλες (ενν. για ποσοστό περίπου 180%) όπου φτάνει το σύστημα στο αποθηκευτικό όριο και δεν απορροφάται από αυτό περαιτέρω απορριπτόμενη αιολική ενέργεια.

Στο σχήμα 6.10, το διάγραμμα παρουσιάζει το ποσοστό της αποθηκευμένης ενέργειας ως προς τη συνολική απορριπτόμενη ενέργεια και διακρίνεται ότι για σχετική μικρή εγκατεστημένη αιολική ισχύ, αυτή που εντάσσεται πρώτη αναστρέψιμη μονάδα απορροφά το μεγαλύτερο ποσοστό των απορρίψεων. Γενικώς, είναι γνωστό ότι για όλες τις εγκατεστημένες ισχύεις οι αναστρέψιμες μονάδες που απορροφούν την μεγαλύτερη ποσότητα απορρίψεων είναι οι δυο πρώτες κατά την ένταξη. Σε μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ, όλες οι μονάδες τείνουν να συμπεριφέρονται αναλόγως με την αποθηκευτική τους ικανότητα. Στη συνέχεια, το διάγραμμα στο σχήμα 6.11, που εκφράζει και αυτό το ποσοστό της αποθηκευμένης ενέργειας ως προς τη συνολική απορριφθείσα αιολική ενέργεια, παρουσιάζει πως για μικρό ποσοστό εγκατεστημένου ισχύος αιολικής ενέργειας, η περισσότερη ενέργεια αποθηκεύεται από την πρώτη μονάδα, ενώ καθώς αυξάνεται η εγκατεστημένη αιολική ισχύς και για όσο συνέβη αυτό, αξιοποιούνται όλες οι αναστρέψιμες μονάδες και οι καμπύλες μετατρέπονται σε παράλληλες. Με άλλα λόγια, οι μονάδες φτάνουν στο πικ τους αναφορικά με την αποθηκευτική τους ικανότητα. Αυτό υφίσταται διότι για μεγάλα ποσοστά εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, έχουμε και μεγάλες αέριες απορρίψεις, οπότε από κάποιο σημείο και ύστερα οι μονάδες δεν είναι σε θέση να αποθηκεύουν περισσότερη ενέργεια.

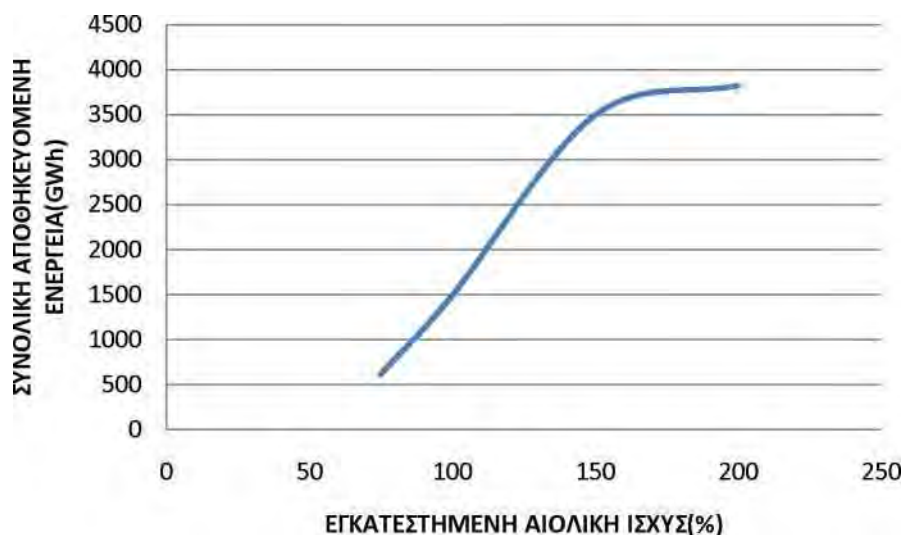
Αναλύοντας το Σχήμα 6.11, διακρίνεται ότι οι δυο πρώτες αναστρέψιμες μονάδες εκμεταλλεύονται καλύτερα, σε μεσαίες κυρίως τιμές εγκατεστημένης αιολικής ισχύος. Ο Βαθμός Αξιοποίησης (CF) δεν υπερβαίνει το ποσοστό της τάξεως του 43% και αυτό συμβαίνει γιατί όσο καταγράφεται αύξηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος τόσο οι μονάδες φτάνουν στο μέγιστο ποσοστό που είναι ικανές να εκμεταλλευθούν.

Η τελευταία μονάδα παρουσιάζει μια προοδευτική αυξανόμενη εκμετάλλευση, φτάνοντας τις υπόλοιπες και μάλιστα για σχετικά μεγάλη αιολική ισχύ υπερβαίνει ορισμένες από αυτές. Γενικώς, για μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ ο βαθμός αξιοποίησης όλων των μονάδων μεγαλώνει σημαντικά, ενώ για εγκατεστημένη ισχύ αιολικών κατά δυο φορές και παραπάνω μεγαλύτερη του μέσου ετήσιου φορτίου παραμένει σταθερός. Όταν επικρατεί το τελευταίο, υφίστανται πολλές ώρες και μέρες του χρόνου όπου η απορριπτόμενη αιολική ενέργεια απορροφάται όσο περισσότερο είναι εφικτό από το σύστημα, δηλαδή σημειώνεται μέγιστη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας που δεν αξιοποιείται. Από ενεργειακή σκοπιά, το συγκεκριμένο αποτελεί και το ζητούμενο μιας τέτοιας εγκατάστασης. Από το σχήμα, πηγάζει το συμπέρασμα ότι το όριο της αποθηκευτικής ικανότητας του συστήματος είναι $Rw-s-1,8$ περίπου, με άλλα λόγια για εγκατεστημένη ισχύ η οποία θα ανέρχεται στις 11500MW και ίσως τις ξεπερνάει, οι αντιστρέψιμες μονάδες θα καταφτάσουν στους επιδιωκόμενους στόχους, αποθηκεύοντας έτσι το μεγαλύτερο ποσοστό της αιολικής ενέργειας που απορρίπτεται.

Εν συνεχεία, αποτυπώνεται με διάγραμμα η απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται στην κάθε αναστρέψιμη μονάδα μετρημένη σε GWh. Διακρίνουμε ότι, όπως ήταν φυσικό και επόμενο, η πρώτη μονάδα που εντάσσεται στο συγκρότημα αποθηκεύει το μεγαλύτερο ποσοστό της ανεκμετάλλευτης αιολικής ενέργειας. Στην ουσία, το εν λόγω διάγραμμα, αποτελεί το διαπιστευτήριο των αποτελεσμάτων που σχολιάστηκαν πιο πάνω δίνοντας τα ακριβή ποσά ενέργειας που αποθηκεύει η εκάστοτε μονάδα ξεχωριστά, σε συνάρτηση του λόγου της εγκατεστημένης ισχύος αιολικής παραγωγής.



Σχήμα 6.14: Απορριπτόμενη ενέργεια η οποία αποθηκεύεται στην εκάστοτε μονάδα σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ

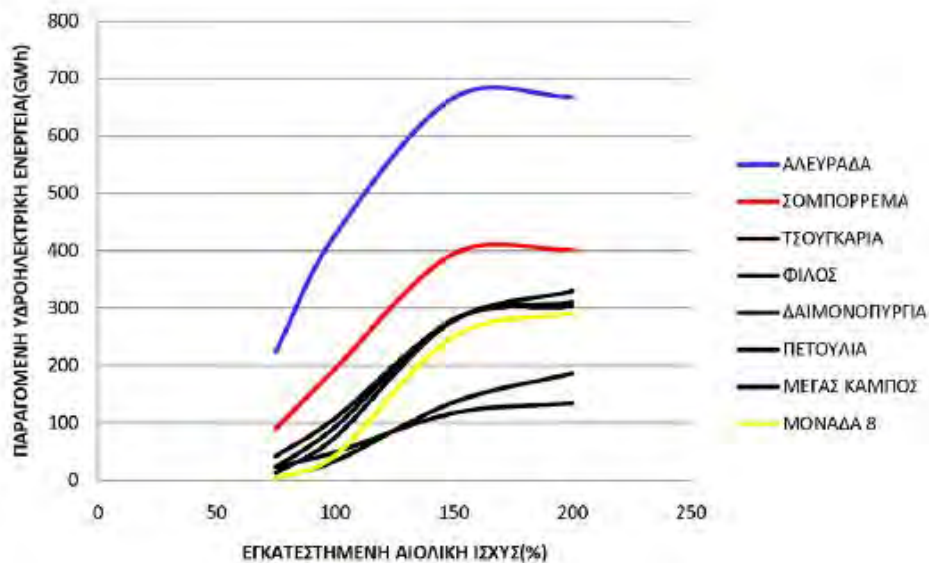


Σχήμα 6.15: Συνολική απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται από υδροηλεκτρικό σύστημα σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ

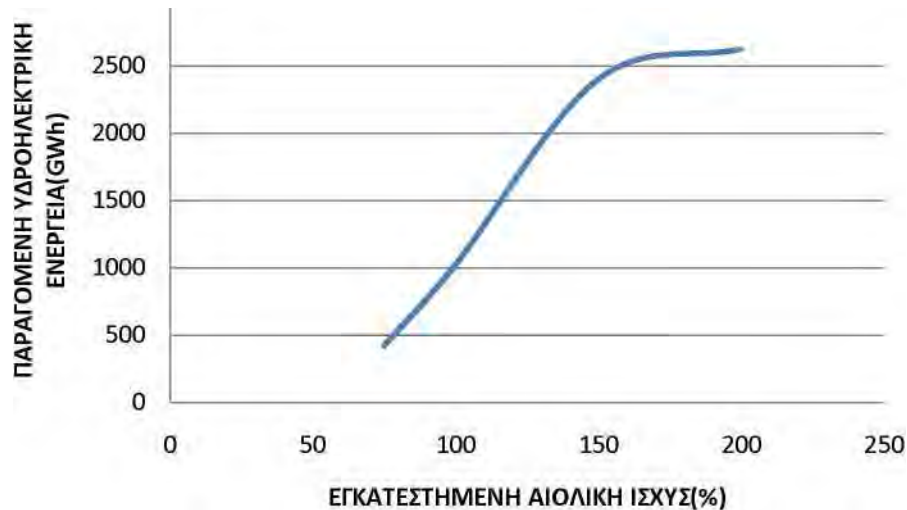
Εν κατακλείδι, η αιολική ενέργεια που απορρίπτεται η οποία αποθηκεύεται από τις αναστρέψιμες μονάδες που είναι ενταγμένες πρώτες, είναι σημαντικά υψηλότερη από την αποθηκευμένη των λοιπών μονάδων. Στον πρώτο αναστρέψιμο σταθμό (ενν. Καστράκι-Φράγμα Αλευράδα) αποθηκεύεται η μεγαλύτερη απορριπτόμενη αιολική ενέργεια για κάθε

εγκατεστημένη ισχύ η οποία υπερβαίνει το φράγμα των 1000GWh σε ετήσια βάση υπό συνθήκη περίπου $Rw-s=1,5$. Ενώ, υπό συνθήκη $Rw-s \geq 2$ η αποθηκευμένη ενέργεια παραμένει αμετάβλητη και ίση με 1000GWh. Γενικώς, αυτό που παρατηρείται και επισημαίνεται είναι ότι όλες οι μονάδες όσο υπάρχει αύξηση της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος αποθηκεύουν όλο και περισσότερη ενέργεια που απορρίπτεται, και όμοια με την πρώτη μονάδα για μεγάλα ποσοστά εγκατεστημένης ισχύος η ενέργεια που απορρίπτεται δεν μεταβάλλεται. Αυτό πραγματοποιείται γιατί όταν υπάρχει υπέρβαση μιας ορισμένης τιμής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, οι μονάδες άντλησης αποθηκεύουν τη μέγιστη δυνατή που ποσότητα ακόμα και αν οι απορρίψεις γίνονται μεγαλύτερες. Συνολικά, η απορριπτόμενη αιολική ενέργεια που αποθηκεύεται παρουσιάζει την ίδια εικόνα όπως αναμένεται, και φτάνει να αποθηκεύονται συνολικά 3833,98 GWh το χρόνο για μεγάλες εγκατεστημένες αιολικές ισχύς (υψηλότερο ποσό ενέργειας που δύναται να αποθηκεύσει το συγκρότημα).

Ομοίως, παράγεται ενέργεια από τους υδροστρόβιλους των αναστρέψιμων μονάδων.



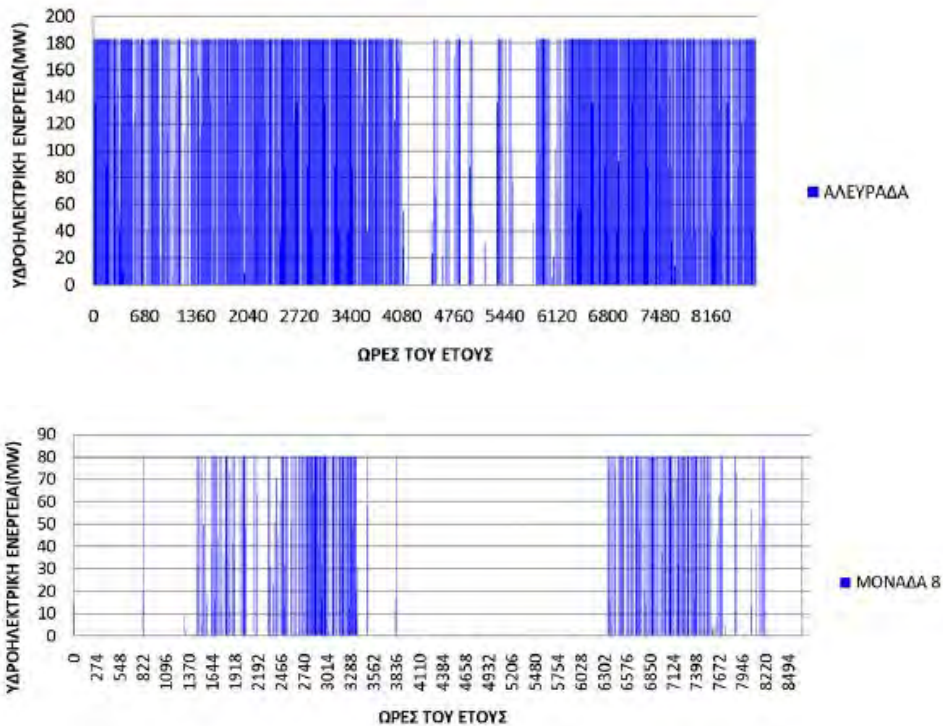
Σχήμα 6.16: Υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την εκάστοτε μονάδα σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ



Σχήμα 6.17: Η συνολική υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ

Όπως παρουσιάζει και το σχήμα 6.17, οι υδροστροβίλοι οι οποίοι εντάσσονται πρώτοι παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα υδροηλεκτρικής ενέργειας σε όλο το έτος για κάθε εγκατεστημένη αιολική ισχύ. Όπως είναι φυσικό και επόμενο, η παραγόμενη ενέργεια κάθε μονάδας είναι μικρότερη της ποσότητας της ενέργειας που αποθηκεύεται σε αυτή, λόγω του ότι η διαδικασία αποθήκευσης της ενέργειας και εν συνεχεία της επαναπόδοσης της προς την κατανάλωση πραγματοποιείται με την δημιουργία απωλειών έχοντας έτσι ως αποτέλεσμα η αποδιδόμενη ενέργεια να είναι μικρότερη της αποθηκευμένης. Ο λόγος της αποδιδόμενης ενέργειας προς την αποθηκευμένη ορίζεται ως βαθμός απόδοσης του συστήματος. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.13, το σύνολο της υδροηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται για εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη από τη διπλάσια του μέσου ετήσιου φορτίου και για μεγάλες εγκατεστημένες αιολικές ισχύς, ανέρχεται στα 2631,65 GWh. Συνεπώς, ο βαθμός απόδοσης του συστήματος θα έχει ως εξής: $2631,65/3834 = 0,68$.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι χρονοσειρές παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας για $Rw-s = 1$ για τον πρώτο σύστημα καθώς επίσης και για τον αναστρέψιμο σταθμό Καστρακίου – Στράτου.



Σχήμα 6.18: Ωριαία χρονοσειρά παραγωγής ενέργειας από υδροηλεκτρικό σύστημα 2 αναστρέψιμων μονάδων ($Rw-s=1$)

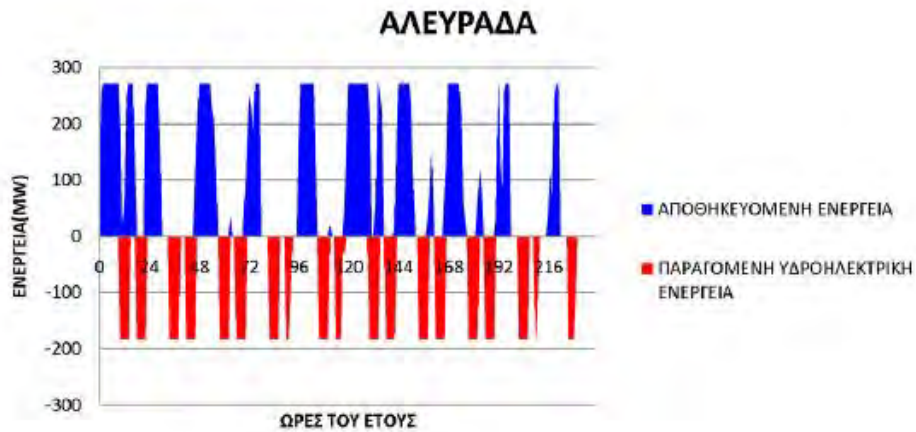
Για μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ, η παραγόμενη ενέργεια θα προερχόταν, για όλο το έτος, όχι μόνο από τον υδροστρόβιλο που εντάσσεται πρώτος αλλά από τις πιο πολλές μονάδες του συστήματος.

Ωστόσο, και για τον υδροστρόβιλο που εντάσσεται πρώτος στο συγκρότημα, κατά τη θερινή περίοδο σημειώνεται μηδενική σχεδόν παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας για την συγκεκριμένη εγκατεστημένη αιολική ισχύ κάτι το οποίο αναμενόταν μιας και από το σχήμα 6.18 φαίνεται ότι υπό συνθήκες $Rw-s = 1$ δεν καταγράφονται απορρίψεις κατά τη συγκεκριμένη περίοδο.

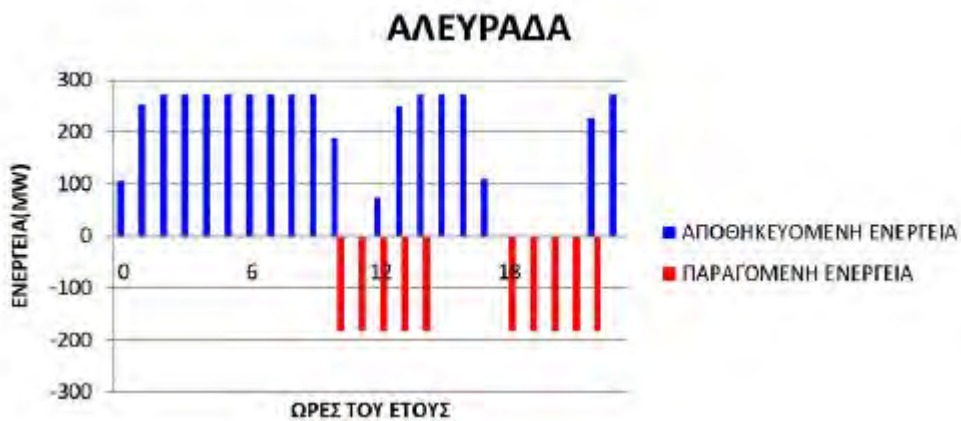
Για εγκατεστημένη ισχύ υψηλών ποσοστών, δηλαδή ίση με 12676 MWh, τη διπλάσια του μέσου ετήσιου φορτίου παρατηρείται ότι όλοι οι υδροστρόβιλοι παράγουν υδροηλεκτρική ενέργεια σε όλο το έτος. Είναι φυσικό και επόμενο, όσο μεγαλύτερη είναι η εγκατεστημένη αιολική ισχύς τόσο μεγαλύτερη παραγόμενη ενέργεια έχουμε έως ότου λάβει σταθερή τιμή για ένα ορισμένο υψηλό ποσοστό εγκατεστημένης ισχύος και άνω. Αυτό

πραγματοποιείται λόγω των μονάδων οι οποίες φτάνουν στο πικ της παραγωγικής τους ικανότητας ύστερα από μια ορισμένη εγκατεστημένη αιολική ισχύ ($Rw-s > 2$).

Τέλος, παρατίθενται τα διαγράμματα με τα οποία αποτυπώνεται η άντληση σε μικρότερες χρονικούς περιόδους και η παραγωγή από ενέργειας από την πρώτη αναστρέψιμη μονάδα (Φράγμα Αλευράδα) αντιστοίχως για $Rw-s=1$.



Σχήμα 6.19: Ωριαία χρονοσειρά της ενέργειας που αποθηκεύεται και παράγεται σε διάστημα 10 ημερών ($Rw-s=1$)



Σχήμα 6.20: Ωριαία χρονοσειρά της ενέργειας που παράγεται και αυτής που αποθηκεύεται σε βάθος 24ώρου για $Rw-s = 1$

Σημειώνεται ότι η άντληση ενέργειας και η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας όπως προαναφέρεται και στα κύρια στοιχεία του αλγορίθμου που εφαρμόζεται, δεν πραγματοποιείται στον ίδιο χρόνο με την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής.

6.5 Σενάριο 2^ο: Τροποποίηση της σειράς ένταξης των αναστρέψιμων μονάδων, με πρώτη την Μονάδα 8

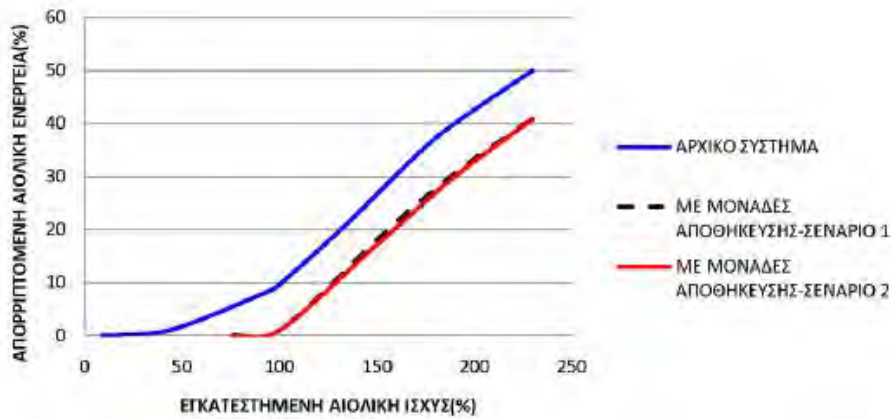
Στην παρούσα ενότητα, διεξάγεται ακριβώς η ίδια μελέτη με το 1ο Σενάριο με τροποποιημένη όμως σειρά ένταξης των αναστρέψιμων μονάδων. Λόγω του ότι οι αναστρέψιμες μονάδες είναι πολλές με αποτέλεσμα η σειρά ένταξης τους να διαφέρει, προχωρήσαμε στην ένταξη πρώτα του αναστρέψιμου σταθμού Καστρακίου, οι αντλήσεις του οποίου προέρχονται από τον ταμιευτήρα του έργου Στράτος. Οι υπόλοιπες μονάδες δεν αλλάζουν παραμένοντας στην ίδια σειρά, όπως παρατηρείται στον πίνακα 6.3.

	Κάτω δεξαμενή	Τύπος άνω δεξαμενής
1	Στράτος	Δεξαμενή Καστρακίου
2	Καστράκι	Φράγμα Αλευράδα
3	Καστράκι	Φράγμα Σομπόρρεμα
4	Καστράκι	Δεξαμενή Τσουγκάρια
5	Καστράκι	Δεξαμενή Δαιμονοπύργια
6	Καστράκι	Φράγμα Δαιμονοπύργια
7	Καστράκι	Φράγμα Πετούλια
8	Καστράκι	Δεξαμενή Μέγας Κάμπος

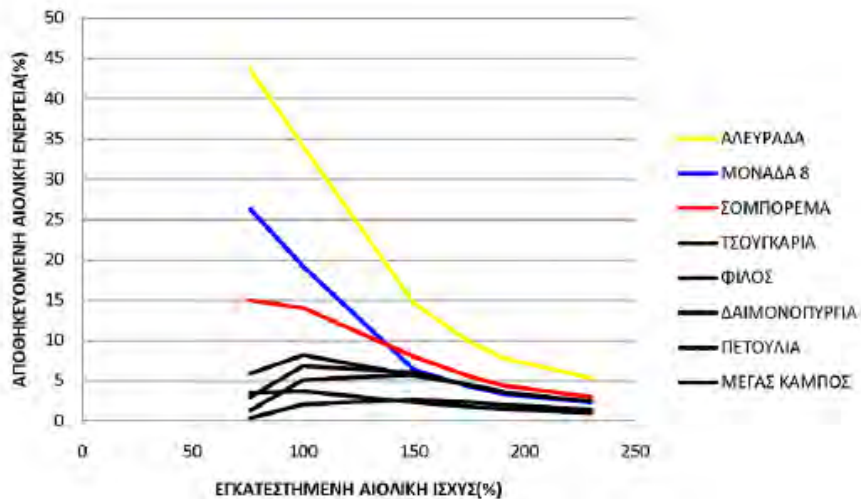
Πίνακας 6.3: Κάτω και άνω δεξαμενές συστήματος

Αξίζει να επισημανθεί ότι η λειτουργία των υδροστρόβιλων των αναστρέψιμων μονάδων εξακολουθεί να αφορά μόνο τις ώρες αιχμής.

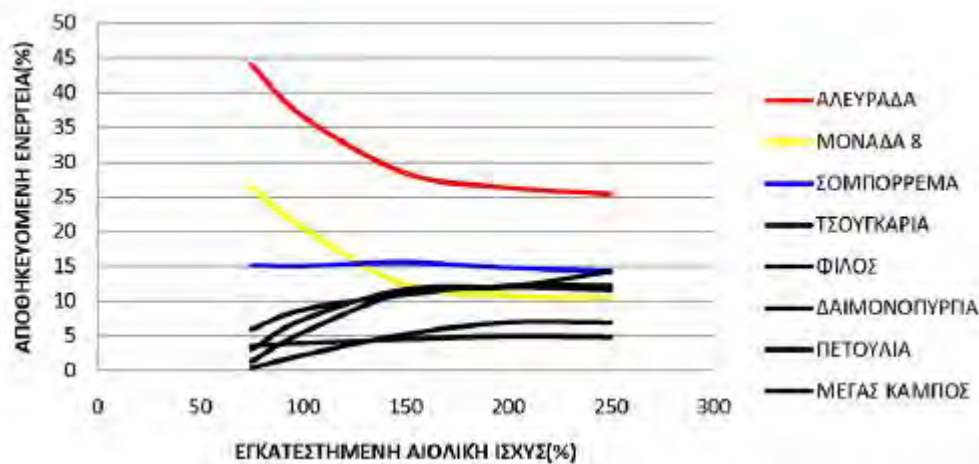
Παρουσιάζονται τα αντίστοιχα στοιχεία και αποτελέσματα υπό την μορφή διαγράμματος για την αποθηκευμένη ενέργεια από τις αντλίες των αναστρέψιμων μονάδων στα σχήματα 6.21, 6.22, 6.23 και 6.24.



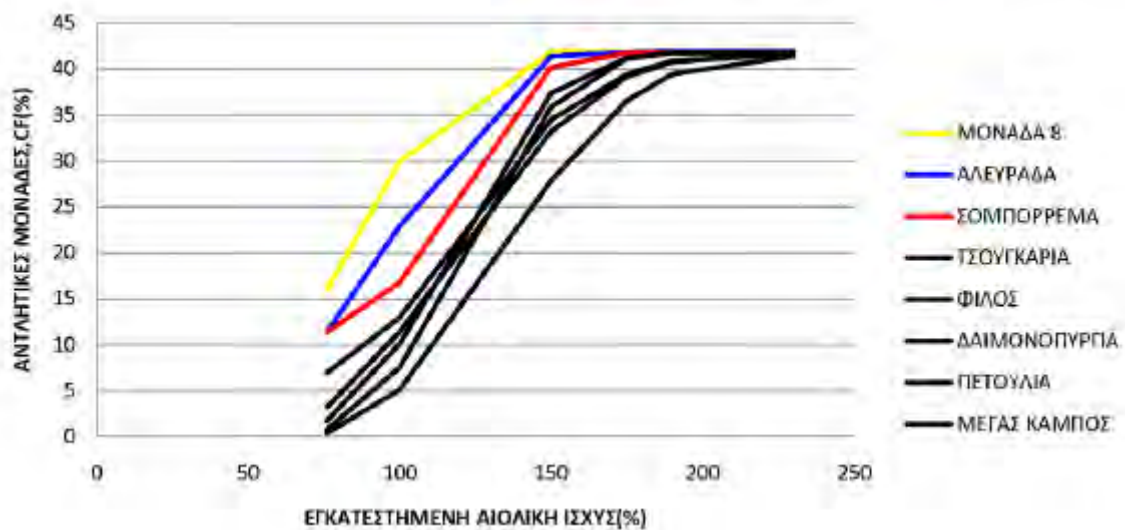
Σχήμα 6.21: Διάγραμμα απεικόνισης του ποσοστού της απορριπτόμενης παραγωγής ενέργειας από αιολικά σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ, ως ποσοστό (%) της μέσης ετήσιας ζήτησης φορτίου του δικτύου



Σχήμα 6.22: Διάγραμμα απεικόνισης της απορριπτόμενης παραγωγής ενέργειας από αιολικά που αποθηκεύεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ



Σχήμα 6.23: Διάγραμμα απεικόνισης της απορριπτόμενης παραγωγής ενέργειας από αιολικά που αποθηκεύεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό προς το σύνολο της αποθηκευμένης ενέργειας, σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ



Σχήμα 6.24: Διάγραμμα απεικόνισης του Βαθμού Αξιοποίησης (CF) των αντλιών των αναστρέψιμων σταθμών του Καστρακίου σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ

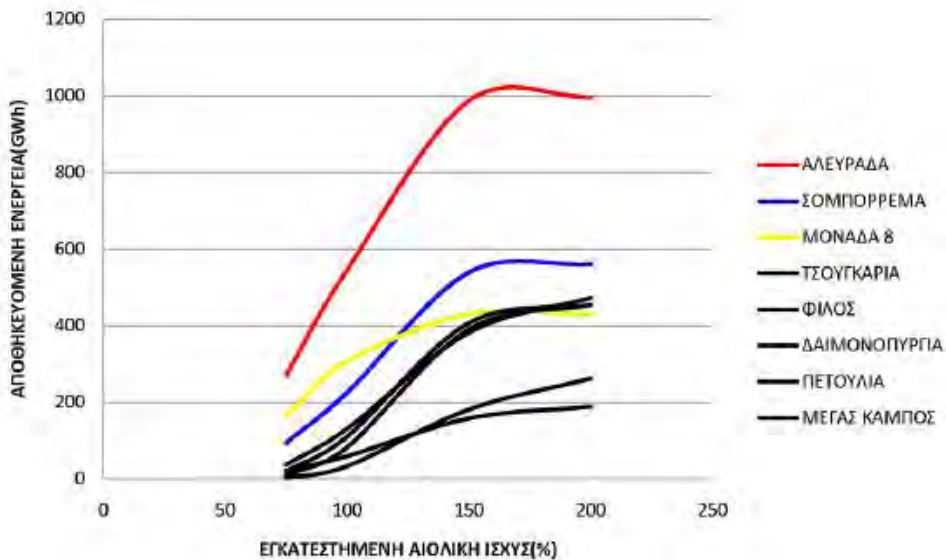
Στο Σχήμα 6.23, από το διάγραμμα, διακρίνεται ότι στην περίπτωση που εντάσσεται πρώτα η μονάδα 8, υπάρχει όμοια μείωση της απορριπτόμενης παραγωγής από αιολικά

χρησιμοποιώντας τους αναστρέψιμους σταθμούς αποθήκευσης ενέργειας, συγκριτικά με την μείωση που καταγράφηκε στον 1ο σενάριο.

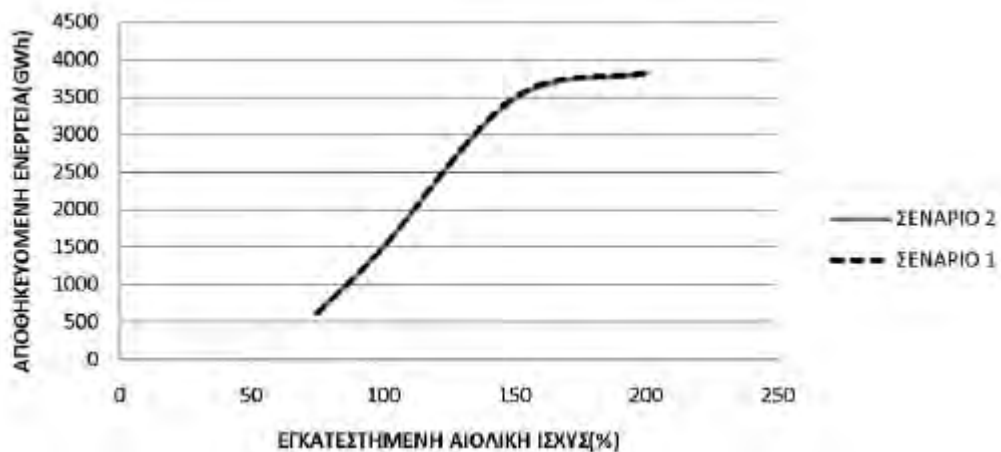
Στο αμέσως επόμενο διάγραμμα, Σχήμα 6.24, παρατηρείται ότι όμοια με το 1ο σενάριο για σχετικά μικρή εγκατεστημένη αιολική ισχύ ο αναστρέψιμος σταθμός που εντάσσεται πρώτος (μονάδα 8) απορροφά σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό απορριπτόμενης ενέργειας συγκριτικά με το 1ο σενάριο βάσει του οποίου η ένταξη της μονάδας στο σύστημα αφορούσε την τελευταία θέση.

Στο τελευταίο διάγραμμα φαίνεται ότι οι τρεις πρώτοι αναστρέψιμοι σταθμοί εκμεταλλεύονται ορθότερα, σε μεσαίες κυρίως τιμές της ισχύος των εγκατεστημένων αιολικών. Ο CF (Βαθμός Αξιοποίησης) των μονάδων και σε αυτό το σενάριο δεν υπερβαίνει το ποσοστό του 43%. Ο CF της μονάδα 8 στο εξεταζόμενο σενάριο 2, είναι αρκετά υψηλότερος για όλο το εύρος των εγκατεστημένων ισχύων από αιολικά που διερευνώνται εξαιτίας της σειράς που εντάσσονται στο σύστημα.

Στη συνέχεια, ακολουθούν τα αποτελέσματα (υπό μορφή διαγράμματος) της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας από τους στροβίλους των αναστρέψιμων μονάδων στα σχήματα 6.21 και 6.22:



Σχήμα 6.25: Διάγραμμα απεικόνισης των απορρίψεων της ενέργειας που αποθηκεύονται σε κάθε αναστρέψιμο σταθμό σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ



Σχήμα 6.26: Διάγραμμα απεικόνισης των συνολικών απορρίψεων της ενέργειας που αποθηκεύονται από το σύστημα σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ

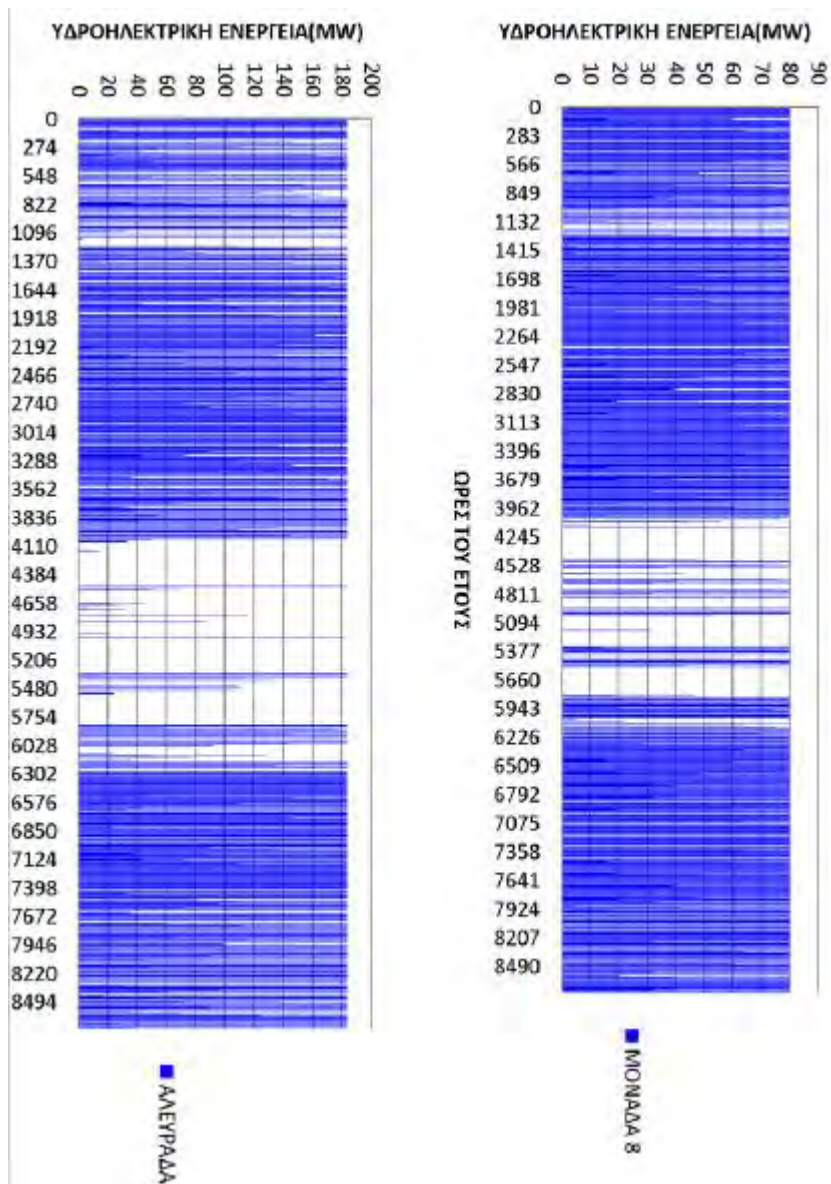
Από το Σχήμα 6.21, παρατηρούμε ότι το Φράγμα Αλευράδα συνεχίζει να αποθηκεύει περισσότερη ποσότητα απορρίψεων ενέργειας από τους λοιπούς σταθμούς, διαθέτοντας έτσι μεγαλύτερη αποθηκευτική ικανότητα. Από την άλλη, το Φράγμα Σομπόρρεμα, που η ένταξη του καταλαμβάνει την τρίτη θέση, για $Rw-s > 1,2$ περίπου, αποθηκεύει περισσότερες απορρίψεις ενέργειας από την Μονάδα 8 καθώς επίσης και από τους υπόλοιπους σταθμούς για όμοιο λόγο. Η Μονάδα 8, της οποίας η ένταξη της στο εν λόγω σενάριο αφορά την πρώτη θέση, για $Rw-s < 1.5$ αποθηκεύει περισσότερη απορριπτόμενη ενέργεια από τους υπόλοιπους 5 σταθμούς, ενώ στην αρχή αποθηκεύει μεγαλύτερη ποσότητα απορρίψεων ενέργειας από αυτή στο 1ο σενάριο για ίδια ισχύς εγκατεστημένων αιολικών.

Παρατηρώντας το Σχήμα 6.26 και το εικονιζόμενο διάγραμμα, φαίνεται ότι για ισχύ εγκατεστημένη έως και δυο φορές μεγαλύτερη του μέσου ετήσιου φορτίου και καθώς ο σταθμός που εντάσσεται πρώτος είναι η Μονάδα 8, η αποθηκευμένη ενέργεια του συγκροτήματος ισούται περίπου με την περίπτωση όπου η ένταξη της Μονάδας 8 αφορά την τελευταία θέση. Παραδείγματος χάρη, όταν υφίσταται υψηλό ποσοστό εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά, αποθηκεύεται σχεδόν το ίδιο ποσοστό απορρίψεων ενέργειας από το σύστημα και ειδικότερα, σε νούμερα είναι τα εξής: 3940,2009 GWh αποθηκευμένες έναντι 3833,9869 GWh που είναι αποθηκευμένες κατά το 1ο σενάριο.

Η παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια από τους στροβίλους των αναστρέψιμων μονάδων σημειώνει ανοδική πορεία όσο διαγράφεται αύξηση της εγκατεστημένης αιολικής δύναμης σε συνάρτηση με το μέσο ετήσιο φορτίο (όμοια με το προηγούμενο σενάριο).

Η υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται για υψηλότερο ποσοστό εγκατεστημένης αιολικής ισχύος ισούται με 6972,9 GWh, με άλλα λόγια είναι ελαφρώς υψηλότερη από την υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στο προηγούμενο σενάριο (ενν. 2631,65 GWh)

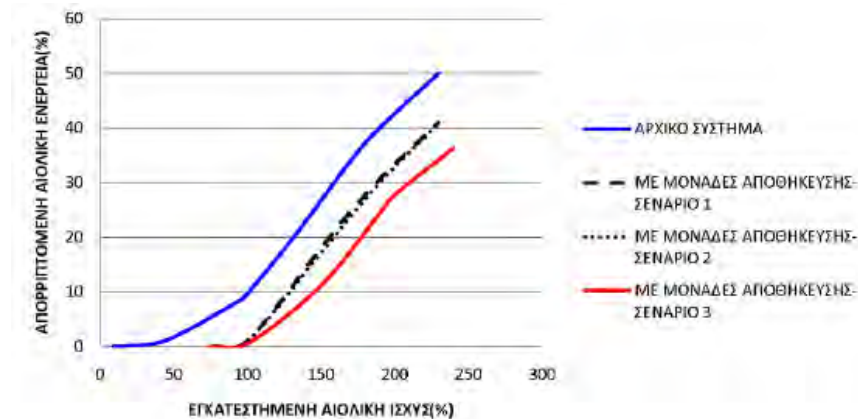
Παρακάτω, στο διάγραμμα που ακολουθεί, απεικονίζονται οι χρονοσειρές παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας από τους στροβίλους των αναστρέψιμων μονάδων. Πρόκειται για όμοιες χρονοσειρές με αυτές του 1ου σεναρίου. Ενδεικτικά, παρατίθενται τα στοιχεία για τη Μονάδα 8 και το Φράγμα Αλευράδα.



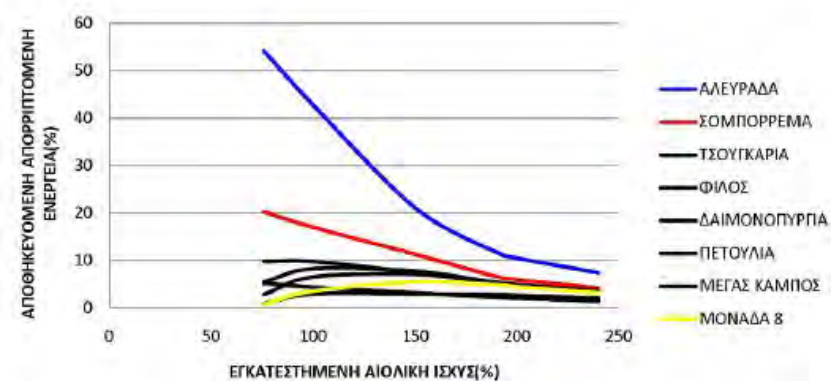
Σχήμα 6.27: Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς παραγωγής ενέργειας από 2 ανστρέψιμους υδροηλεκτρικούς σταθμούς (Αλευράδα, Μονάδα 8). Ισχύει $Rw-s = 1$.

6.6 Σενάριο 3^ο: Λειτουργία και ένταξη των στροβίλων των αναστρέψιμων μονάδων για διάστημα 14 ωρών καθημερινώς (9:00 π.μ. – 23:00 μ.μ.)

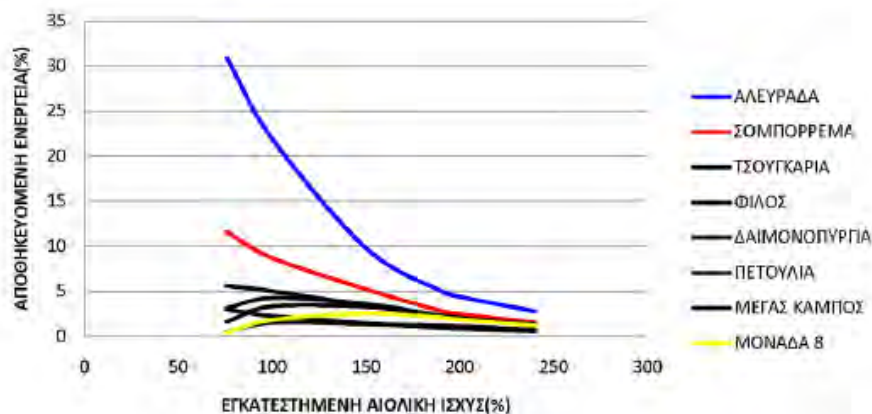
Στο σενάριο 3, γίνεται η υπόθεση πως οι αναστρέψιμες μονάδες εντάσσονται στο σύστημα για 14 ώρες ημερησίως, στο χρονικό διάστημα από τις 9 το πρωί έως και τις 11 το βράδυ, ένα διάστημα στο οποίο υπάρχει μεγάλη εισχώρηση μονάδων ΑΠΕ στο δίκτυο και ιδιαίτερα των σταθερών. Στα σχήματα 6.24, 6.25, 6.26 και 6.27 παρουσιάζονται τα σχήματα απορρίψεων ισχύος από αιολική ενέργεια σε σχέση με την εγκατεστημένη ισχύ.



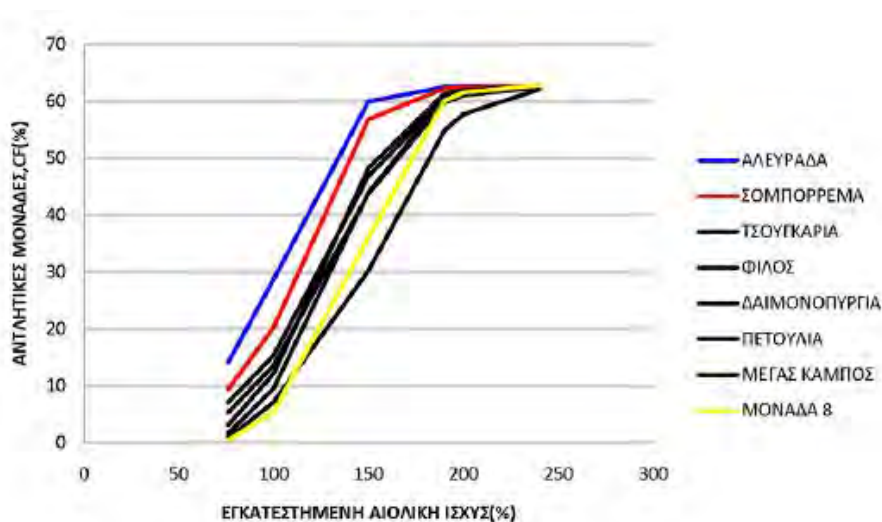
Σχήμα 6.28: Διάγραμμα απεικόνισης των απορρίψεων ενέργειας από αιολική παραγωγή, σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ, ως ποσοστό της μέσης ετήσιας ζήτησης φορτίου του δικτύου



Σχήμα 6.29: Διάγραμμα απεικόνισης των απορρίψεων της ενέργειας από την αιολική παραγωγή που αποθηκεύεται σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά



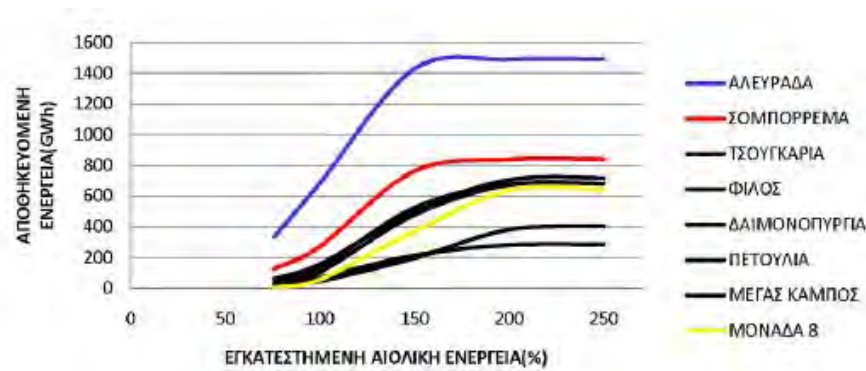
Σχήμα 6.30: Διάγραμμα απεικόνισης του ποσοστού των απορρίψεων της παραγωγής από αιολικά η οποία αποθηκεύεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό προς το σύνολο της αποθηκευμένης ενέργειας, σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ αιολικών



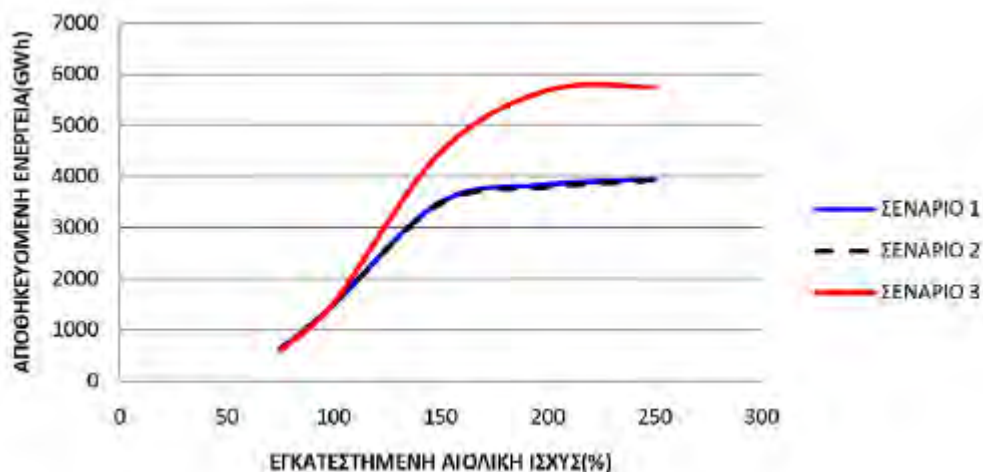
Σχήμα 6.31: Διάγραμμα απεικόνισης του Βαθμού Αξιοποίησης (CF) των αντλιών των αναστρέψιμων σταθμών του Καστρακίου, σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά

Από τα παραπάνω σχήματα, από 6.30 έως 6.31, διακρίνεται ότι το ποσοστό των απορρίψεων ενέργειας που αποθηκεύονται στο σύστημα καθώς αυτό λειτουργεί το διάστημα 09:00 π.μ. έως 23:00 μ.μ (14 ώρες καθημερινώς) είναι σημαντικά υψηλότερο από αυτό που

αποθηκεύεται στο 1ο και 2ο σενάριο. Ο Βαθμός αξιοποίησης (CF) των αντλιών των αναστρέψιμων σταθμών αγγίζει το ποσοστό του 63%, ποσοστό το οποίο υπερβαίνει κατά πολύ το 43% που έφτασε στα δυο προηγούμενα σενάρια.

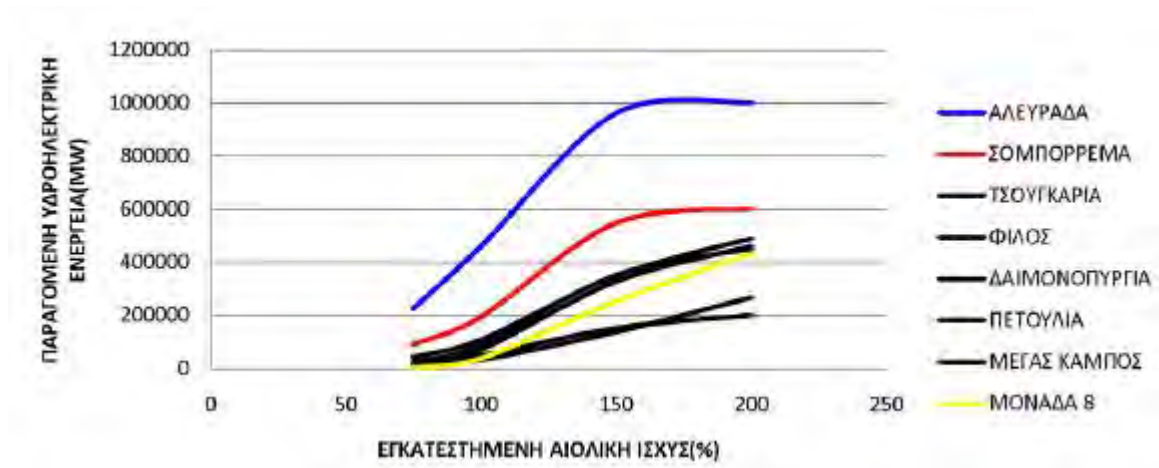


Σχήμα 6.32: Διάγραμμα απεικόνισης απορρίψεων ενέργειας που αποθηκεύεται στον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό σε συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά

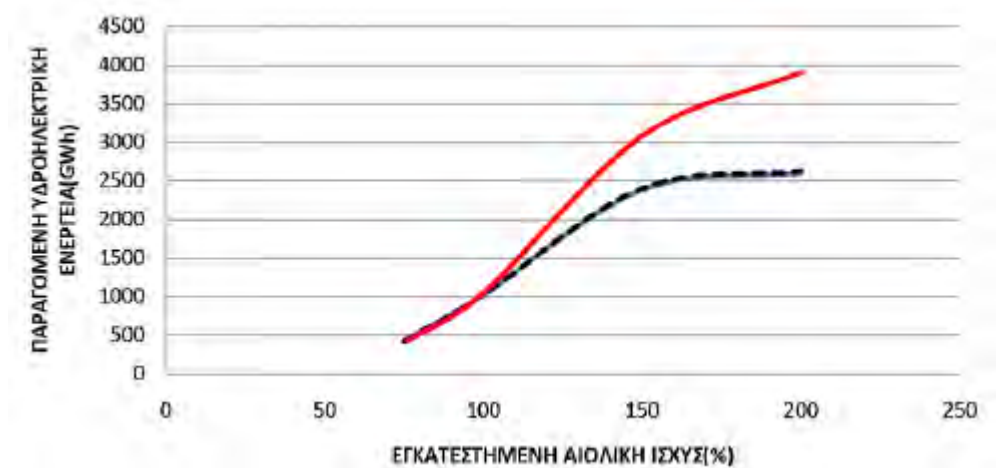


Σχήμα 6.33: Διάγραμμα απεικόνισης των συνολικών απορρίψεων ενέργειας που αποθηκεύονται από το σύστημα σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ αιολικών

Η υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται καταγράφει σαφώς υψηλότερες τιμές στο 3ο σενάριο εξαιτίας των περισσότερων ωρών λειτουργίας. Αυτό συμπεραίνεται ύστερα από τον έλεγχο των διαγραμμάτων που ακολουθούν.



Σχήμα 6.34: Διάγραμμα απεικόνισης υδροηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά



Σχήμα 6.35: Διάγραμμα απεικόνισης του συνόλου της υδροηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος που παράγεται σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά



Σχήμα 6.36: Διάγραμμα απεικόνισης της ωριαίας χρονοσειράς αποθηκευόμενης και παραγόμενης ενέργειας σε διάστημα 10 ημερών για $Rw-s=1$



Σχήμα 6.37: Διάγραμμα απεικόνισης ωριαίας χρονοσειράς αποθηκευόμενης και παραγόμενης ενέργειας σε διάστημα 24 ωρών για $Rw-s=1$

Μελετώντας τα διαγράμματα των σχημάτων 6.36 και 6.37, διακρίνεται ότι όταν πρόκειται για ένταξη των στροβίλων των αναστρέψιμων μονάδων σε περίοδο 14 ωρών καθημερινώς (09:00 π.μ. – 23:00 μ.μ.), η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σημειώνεται περισσότερες ώρες καθημερινώς. Επιπρόσθετα, παρατηρείται ότι το ποσό των απορρίψεων ενέργειας που αποθηκεύεται δεν αγγίζει φτάνει το μέγιστο (ενν. 272MW) για κάθε ώρα άντλησης.

6.7 Συγκεντρωτική παρουσίαση και ανάλυση τελικών αποτελεσμάτων

6.7.1. Σενάριο 1ο: Συγκεντρωτικά Τελικά Αποτελέσματα παραγόμενης και απορριπτόμενης ενέργειας

Στον πίνακα 6.4 και 6.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραγόμενης και της απορριπτόμενης ενέργειας.

Αποθηκευόμενη Ενέργεια (GWh)									
Rw-s	Αλευράδα	Σομπόρεμμα	Τσουγκαριά	Φίλος	Δαίμονοπύργια	Πετούλιο	Μέγας Κάμπος	Μονάδα 8	Σύνολο
0,75	333,621	125,2153	32,09472	60,63192	34,28019	18,08877	5,390489	4,822524	614,1449
1,0	635,5059	270,5993	68,74206	155,7889	138,7963	190,154	47,46186	62,64695	1488,695
1,5	992,1302	549,2008	164,7376	402,4092	419,1175	405,828	193,2438	366,8429	2102,84
2,0	996,0912	560,301	188,8862	475,1495	453,84	453,84	265,3861	429,6207	3823,115
2,5	996,0912	560,3013	190,1016	478,9229	454,088	454,088	270,5366	429,858	3833,988
3,0	996,0912	560,3013	190,1016	478,4229	454,088	454,088	270,5366	429,858	3833,98

Πίνακας 6.4: Αποθηκευόμενη απορριπτόμενη ενέργεια στον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό

Παραγόμενη Ενέργεια (GWh)									
Rw-s	Αλευράδα	Σομπόρεμμα	Τσουγκαριά	Φίλος	Δαίμονοπύργια	Πετούλιο	Μέγας Κάμπος	Μονάδα 8	Σύνολο
0,75	224,4582	90,02406	22,83663	42,11836	22,94561	12,39956	3,787911	3,297453	421,8678
1,0	427,5646	194,5485	48,91262	108,2198	92,90398	74,82334	33,35158	42,83552	1023,16
1,5	666,4274	394,3993	117,1802	279,4807	280,3723	278,0186	135,7929	249,8438	2401,515
2,0	667,95	401,5	134,2217	329,6848	302,95	310,25	186,2847	292	2624,841
2,5	667,95	401,5	135,05	332,15	302,95	310,25	189,8	292	2631,65
3,0	667,95	401,5	135,05	332,15	302,95	310,25	189,8	292	2631,65

Πίνακας 6.5: Υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό

6.7.2. Σενάριο 2ο: Συγκεντρωτικά Τελικά Αποτελέσματα παραγόμενης και απορριπτόμενης ενέργειας

Στον πίνακα 6.6 και 6.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραγόμενης και της απορριπτόμενης ενέργειας.

Αποθηκευόμενη Ενέργεια (GWh)									
Rw-s	Αλευράδα	Σομπόρεμμα	Τσουγκαριά	Φίλος	Δαίμονοπύργια	Πετούλιο	Μέγας Κάμπος	Μονάδα 8	Σύνολο
0,75	163,6043	270,9217	93,25122	21,64411	36,60442	18,64921	8,257446	2,336274	615,3436
1,0	306,4727	544,8686	224,4642	58,95156	130,476	109,2349	81,56725	32,85599	1488,991
1,5	429,3143	986,1098	538,6457	156,954	381,0299	406,0986	389,6117	180,466	3814,881
2,0	429,858	996,0419	560,0348	187,8557	472,0996	453,84	453,8247	261,3262	3833,115
2,5	429,858	996,0912	560,3013	190,1016	478,9229	454,088	560,3013	270,5366	3940,201
3,0	429,858	996,0912	560,3013	190,1016	478,9229	454,088	560,3013	270,5366	3940,201

Πίνακας 6.6: Αποθηκευόμενη απορριπτόμενη ενέργεια στον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό

Παραγόμενη Ενέργεια (GWh)									
Rw-s	Αλευράδα	Σομπόρεμμα	Τσουγκαριά	Φίλος	Δαίμονοπύργια	Πετούλιο	Μέγας Κάμπος	Μονάδα 8	Σύνολο
0,75	224,4582	90,02406	22,83663	42,11836	22,94561	12,39956	3,787911	3,297453	421,8678
1,0	427,5646	194,5485	48,91262	108,2198	92,90398	74,82334	33,35158	42,83552	1023,16
1,5	666,4274	394,3993	117,1802	279,4807	280,3723	278,0186	135,7929	249,8438	2401,515
2,0	667,95	401,5	134,2217	329,6848	302,95	310,25	186,2847	292	2624,841
2,5	667,95	401,5	135,05	332,15	302,95	310,25	189,8	292	2631,65
3,0	667,95	401,5	135,05	332,15	302,95	310,25	189,8	292	2631,65

Πίνακας 6.7: Υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό

6.7.3. Σενάριο 3ο: Συγκεντρωτικά Τελικά Αποτελέσματα παραγόμενης και απορριπτόμενης ενέργειας

Στον πίνακα 6.8 και 6.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραγόμενης και της απορριπτόμενης ενέργειας.

Αποθηκευόμενη Ενέργεια (GWh)									
Rw-s	Αλευράδα	Σομπόρεμμα	Τσουγκαριά	Φίλος	Δαιμονοπύργια	Πετούλιο	Μέγας Κάμπος	Μονάδα 8	Σύνολο
0,75	336,6198	125,9362	32,33392	60,99142	33,86452	17,73321	5,233857	4,435471	617,1484
1,0	684,3601	271,5289	69,91753	156,131	131,8679	103,622	46,17519	56,13327	1519,736
1,5	1428,757	761,814	213,3356	501,9275	524,0096	477,2962	195,9723	369,5113	4472,623
2,0	1491,75	838,144	280,9332	705,0079	675,0517	672,2206	381,285	636,7308	5681,124
2,5	1492,491	839,5263	285,0016	717,9979	680,388	680,388	404,5566	643,383	5743,733
3,0	1492,491	839,5263	285,0016	717,9979	680,388	680,388	404,5566	643,383	5743,733

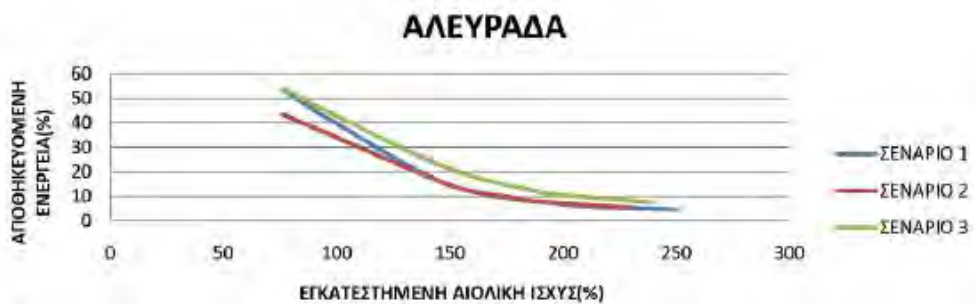
Πίνακας 6.8: Αποθηκευόμενη απορριπτόμενη ενέργεια στον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό

Παραγόμενη Ενέργεια (GWh)									
Rw-s	Αλευράδα	Σομπόρεμμα	Τσουγκαριά	Φίλος	Δαιμονοπύργια	Πετούλιο	Μέγας Κάμπος	Μονάδα 8	Σύνολο
0,75	226,4758	90,54233	23,00683	42,36809	22,66738	12,15583	3,677864	3,0328	423,927
1,0	460,4335	195,2168	49,74901	108,4574	88,2664	71,03124	32,44743	38,38173	1043,983
1,5	960,9784	547,5994	151,7595	348,6118	350,7484	327,1789	137,7103	252,6573	3077,244
2,0	1001,427	601,2562	199,7261	489,4485	451,1021	460,2298	267,878	434,0709	3905,138
2,5	1001,925	602,25	202,575	498,225	454,425	465,375	283,9762	438	3946,751
3,0	1001,925	602,25	202,575	498,225	454,425	465,375	284,7	438	3947,575

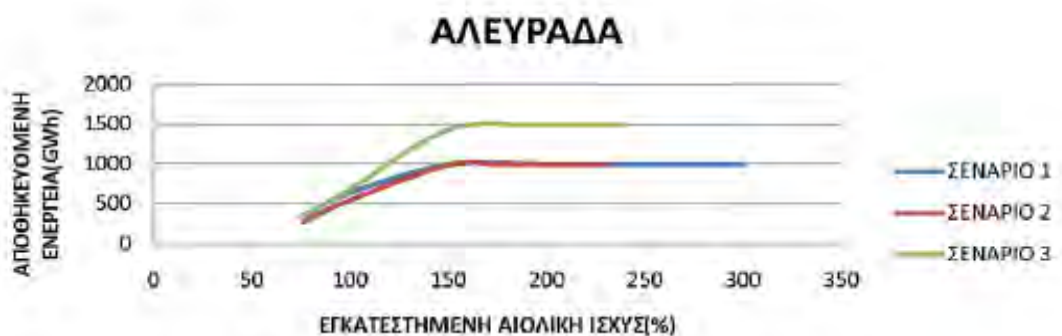
Πίνακας 6.9: Υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό

6.7.4. Συγκεντρωτικά Τελικά Διαγράμματα παραγόμενης και απορριπτόμενης ενέργειας που αποθηκεύεται

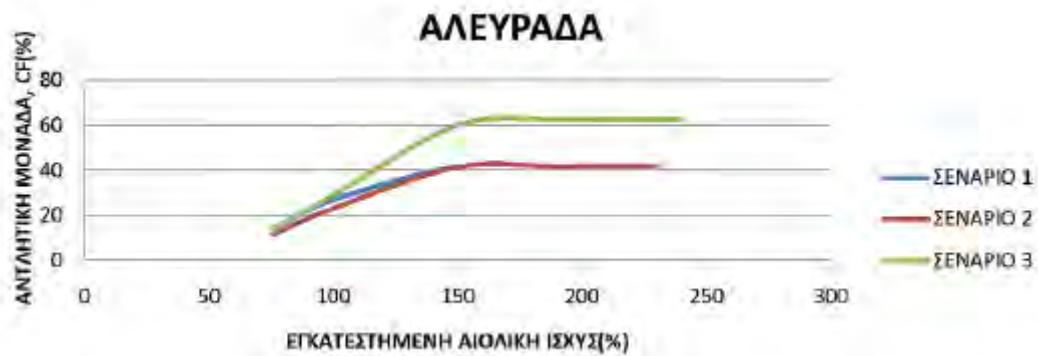
Στην παρούσα υπο-ενότητα αναπαρίστανται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα (όλων των σεναρίων που εξετάστηκαν) ενδεικτικά για τους τρεις αναστρέψιμους σταθμούς (Φράγμα Αλευράδα, Φράγμα Σομπόρρεμα και αναστρέψιμο έργο Καστρακίου-Στράτου).



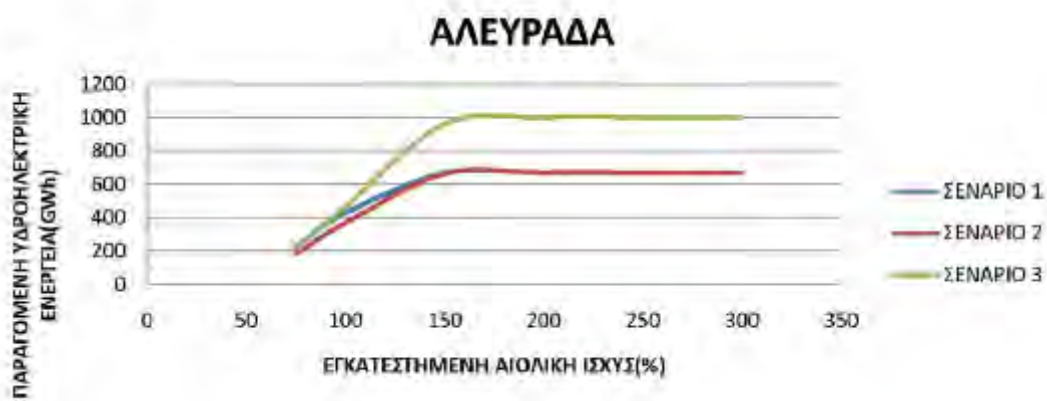
Σχήμα 6.38: Διάγραμμα το οποίο αναπαριστά το ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής που αποθηκεύεται συναρτήσει της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά



Σχήμα 6.39: Διάγραμμα που αναπαριστά την απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται, σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά



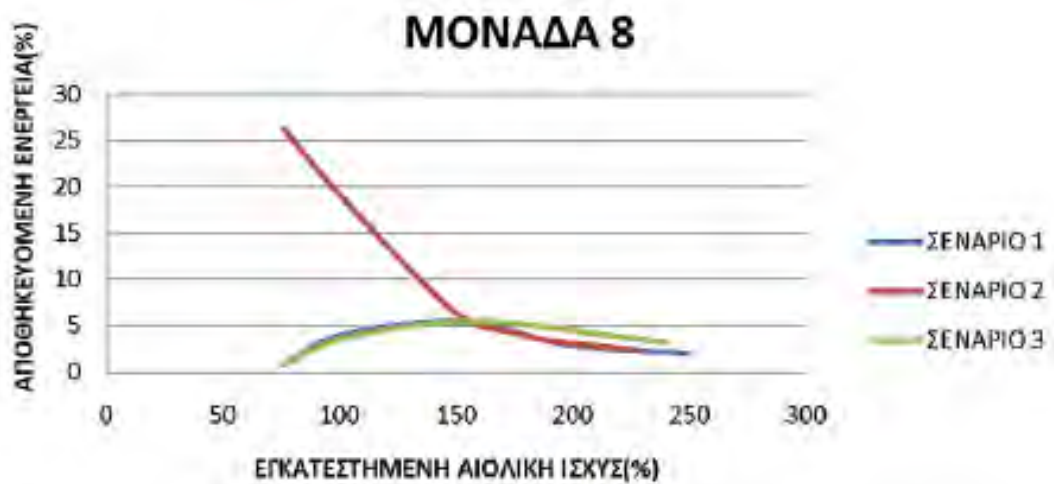
Σχήμα 6.40: Διάγραμμα βαθμού αξιοποίησης (CF) των αντλιών, σε συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά



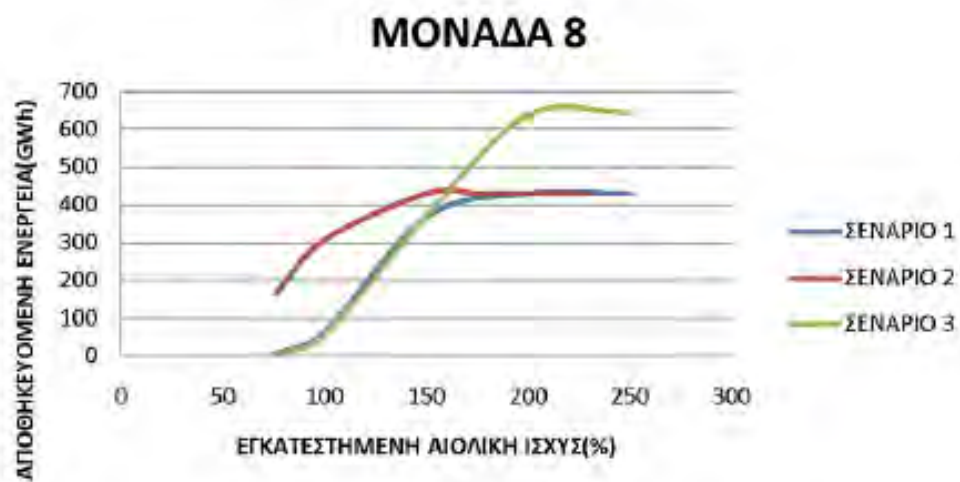
Σχήμα 6.41: Διάγραμμα υδροηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά

Όπως διακρίνεται από τα σχήματα 6.40 έως και 6.41, για τον αναστρέψιμο έργο Καστράκι – Φράγμα Αλευράδα, στο 1ο και το 2ο σενάριο αποθηκεύονται και παράγονται περίπου όμοια ποσά ενέργειας (αποθηκεύεται και παράγεται ελαφρώς υψηλότερο ποσό ενέργειας στο 1ο σενάριο μιας και ο εν λόγω σταθμός εντάσσεται πρώτος στο σύστημα εν συγκρίσει με το 2ο σενάριο όπου εντάσσεται δεύτερος). Στο 3ο όμως σενάριο, η αναστρέψιμη μονάδα αντλεί και παράγει υψηλότερα ποσά ενέργειας, κάτι το οποίο αναμένεται αφού λειτουργεί περισσότερες ώρες ημερησίως.

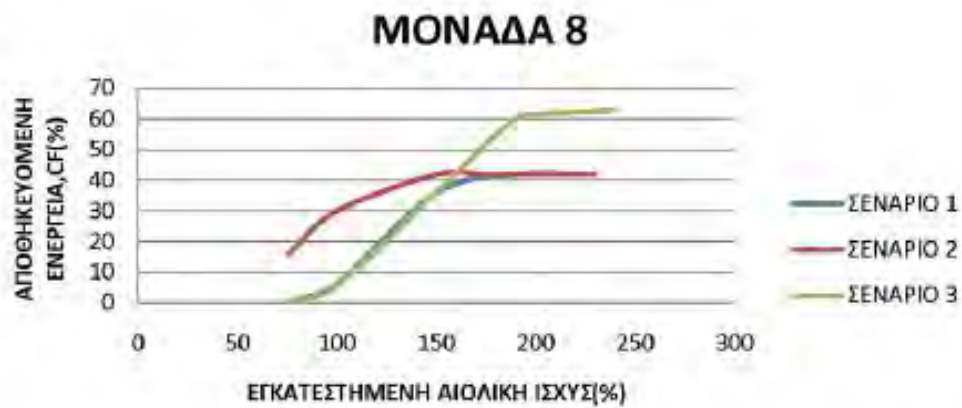
Σχεδόν όμοια με τον πρώτο συμπεριφέρεται και αυτός ο αναστρέψιμος σταθμός όπως παρουσιάζεται στα σχήματα 6.42, 6.43, 6.44 και 6.45.



Σχήμα 6.42: Διάγραμμα το οποίο αναπαριστά το ποσοστό της απορριπτόμενης αιολικής παραγωγής που αποθηκεύεται συναρτήσε της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά



Σχήμα 6.43: Διάγραμμα που αναπαριστά την απορριπτόμενη ενέργεια που αποθηκεύεται, σε συνάρτηση με την εγκατεστημένη ισχύ από αιολικά



Σχήμα 6.44: Διάγραμμα βαθμού αξιοποίησης (CF) των αντλιών, σε συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά



Σχήμα 6.45: Διάγραμμα υδροηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε συνάρτηση της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά

Αναφορικά με την αναστρέψιμη μονάδα 8, αποθηκεύει και παράγει σημαντικά υψηλότερο ποσό ενέργειας εφαρμόζοντας το 2ο σενάριο και για $Rw-s < 1,5$ μιας και από τελευταία (1ο σενάριο), εντάσσεται πρώτη στο σύστημα. Αντίθετα, όταν καταγράφεται υψηλό ποσοστό εγκατεστημένης ισχύος αιολικών σε συσχέτιση με το μέσο ετήσιο φορτίο, η καμπύλη της ενέργειας που αντλείται αλλά και της παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας ταυτίζονται μιας και η μονάδα έχει αποθηκεύσει και κατά συνέπεια παράγει το ύψιστο δυνατό ποσό ενέργειας. Εφόσον εφαρμοσθεί το 3ο σενάριο, και ο σταθμός 8 παρουσιάζει υψηλότερα ποσοστά αποθήκευσης και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό αναμένεται άλλωστε.

Κεφάλαιο 7. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

7.1 Συγκεντρωτικά Τελικά Διαγράμματα παραγόμενης και απορριπτόμενης ενέργειας που αποθηκεύεται

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον αναφορικά με την πιθανή αναστρέψιμη εγκατάσταση που μελετάμε, είναι αν εν τέλει συμφέρει οικονομικά μια τέτοια εγκατάσταση. Ο δείκτης που κρίνεται ως ο βασικός παράγοντας της απόδοσης του επενδυτικού προγράμματος είναι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης IRR. Με τη χρήση του υπολογιστικού κώδικα Matlab και πρωτίστως, για ένα συγκεκριμένο ποσοστό εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά ($Rw-s=2$), υπολογίζεται η σειρά με την οποία μας συμφέρει οικονομικά να προβούμε στην εγκατάσταση των αναστρέψιμων μονάδων καθώς επίσης και οι ώρες λειτουργίες σε μια ημέρα. Αξίζει να επισημανθεί και δοθεί έμφαση στο ότι ο αναστρέψιμος σταθμός ο οποίος θα εγκατασταθεί πρώτα είναι ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός Καστρακίου. Αυτό οφείλεται στο ότι ο εν λόγω σταθμός υπάγεται στην φάση Α της μελέτης του Ι. Στεφανάκου, η οποία έχει αναλυθεί στα πρώτα κεφάλαια της εργασίας.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, στη μελέτη υφίσταται ένας Υδροηλεκτρικός Σταθμός (ζεύγος Καστρακίου – Στράτου) που υπάγεται στη φάση Α όπως προαναφέρθηκε, ενώ τα υπόλοιπα ΥΗΕ είναι μεμονωμένα δηλαδή υπάγονται στη φάση Β. Οι δυο αυτές φάσεις και τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5 του παρόντος.

Στο συμπέρασμα που καταλήγουμε λοιπόν είναι ότι, σύμφωνα και με τα χαρακτηριστικά των δυο φάσεων όπου υπάγονται οι μονάδες μας, ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός Καστρακίου θα έχει σημαντικά μικρότερο κόστος υλοποίησης από τους 7 άλλους. Ωστόσο, για την κατασκευή των πιθανών αναστρέψιμων σταθμών με μια σειρά, μελετάμε τις ώρες λειτουργίας τους (αναλόγως με τις ποσότητες που μπορούν να αποθηκεύουν) καθώς επίσης και την παραγωγική τους ισχύ, στοιχεία που απεικονίζονται στον πίνακα 7.1 που ακολουθεί.

Όνομασία αναστρέψιμου έργου	Ισχύς παραγωγής	Ώρες λειτουργίας
1 .Καστράκι	80	24,0
2.Αλευράδα	183	12,1
3.Σομπόρρεμα	110	12,1
4.Τσουγκάρια	37	5,8
5. Φίλος	91	5,9
6. Δαιμονοπύργια	83	12,0
7.Πετούλια	85	12,0
8.Μέγας Κάμπος	52	5,9

Πίνακας 7.1: Υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό

Στη συνέχεια, ο πίνακας 7.2 απεικονίζει την παραγόμενη ενέργεια του εκάστοτε σταθμού σε ημερήσια βάση, η οποία έχει υπολογιστεί με τον πολλαπλασιασμό της παραγωγικής ισχύος με τις ώρες λειτουργίας της.

Όνομασία αναστρέψιμου έργου	Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)
1 .Καστράκι	1920
2.Αλευράδα	2214,3
3.Σομπόρρεμα	1331
4.Τσουγκάρια	214,6
5. Φίλος	536,9
6. Δαιμονοπύργια	996
7.Πετούλια	1020
8.Μέγας Κάμπος	306,8

Πίνακας 7.2: Καθημερινή Παραγόμενη Ενέργεια από κάθε μονάδα

Για την εύρεση της αποδοτικότερης επένδυσης, στην ενότητα που ακολουθεί, γίνεται εφαρμογή τριών διαφορετικών σεναρίων αναλόγως με τις ώρες λειτουργίας των αναστρέψιμων μονάδων. Η εγκατεστημένη ισχύς αιολικών θεωρείται κατά δύο φορές μεγαλύτερη του μέσου ετήσιου φορτίου. Η εν λόγω τιμή της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος είναι κατάλληλη για την μελέτη λόγω του ότι είναι η ενδεικτική τιμή για τον ενεργειακό στόχο της χώρας τα επόμενα χρόνια. Αξίζει να επισημανθεί επίσης, ότι η κατασκευή υδροηλεκτρικού έργου που συμβαίνει πάντα πρώτη είναι του ζεύγους Καστρακίου – Στράτου λόγω του μικρότερου κόστους κατασκευής που έχει εκτιμηθεί ότι έχει.

7.2 Σενάριο 1ο: Οι αναστρέψιμες μονάδες να λειτουργούν καθημερινά για 4 ώρες

Στο πρώτο σενάριο, θέτουμε τους υδροστρόβιλους των αναστρέψιμων μονάδων σε λειτουργία 4 ωρών καθημερινά και αναλυτικότερα, τα διαστήματα 12:00 π.μ. – 14:00 μ.μ. και 20:00 – 22:00. Οι συγκεκριμένες ώρες θεωρούνται ώρες υψηλής ζήτησης. Όπως προαναφέρθηκε, η μελέτη πραγματοποιείται για $Rw-s=2$ και πρώτο στην κατάταξη μπαίνει το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό έργο Καστρακίου – Στράτου. Όσον αφορά την εγκατάσταση των υπολοίπων έργων, γίνεται κατά αύξουσα σειρά παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας καθημερινώς. Περισσότερα στοιχεία για την σειρά κατασκευής των αναστρέψιμων μονάδων για το 1ο Σενάριο, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.3.

Όνομασία αναστρέψιμου έργου	Παραγόμενη Ενέργεια (MWh)
1 .Καστράκι	1920
2.Αλευράδα	214,6
3.Σομπόρρεμα	306,8
4.Τσουγκάρια	536,9
5. Φίλος	996
6. Δαμνοπούργια	1020
7.Πετούλια	1331
8.Μέγας Κάμπος	2214,3

Πίνακας 7.3: Καθημερινή Παραγόμενη Ενέργεια από κάθε μονάδα

Φυσικό και επόμενο για τους σταθμούς μικρότερης αποθηκευτικής ικανότητας, οι οποίοι κατά συνέπεια ακολουθούνται και από μικρότερα ποσά παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας ημερησίως, να έχουν και χαμηλότερο κατασκευαστικό κόστος. Για το λόγο αυτό, για να είναι εφικτός και εν συνεχεία ορθός ο υπολογισμός του IRR της επένδυσης προσθέτουμε σαν δεδομένο στον κώδικα υπολογισμού, την σειρά κατάταξης των μονάδων όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 7.4. Επιπροσθέτως, ο κώδικας στην είσοδο του κάνει ανάγνωση ορισμένων πρόσθετων στοιχείων προκειμένου να υπολογίσει τα παρακάτω μεγέθη. Ειδικότερα, θέτουμε για τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας τα 20€/MWh και για τιμή πώλησης τα 80€/MWh. Τα κατασκευαστικά κόστη των μονάδων ισούνται με 500€/KW για τον σταθμό που εγκαθίστανται πρώτος και 1500€/KW για όλους τους υπόλοιπους. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τον εσωτερικό συντελεστή απόδοσης της επένδυσης, έτσι όπως υπολογίστηκαν μέσω του υπολογιστικού προγράμματος λαμβάνοντας υπόψη όμως και ότι κάθε φορά γίνεται εγκατάσταση ενός ακόμη σταθμού.

Εγκατεστημένοι αναστρέψιμοι σταθμοί	Τιμή αγοράς	Τιμή πώλησης	Καθαρά Ετήσια Έσοδα	IRR (%)
Καστράκι	5,18	14,02	8,83	11,3
Καστράκι, Τσουγκάρια	7,46	20,49	13,03	5,99
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος	10,71	29,61	18,89	3,89
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος	16,46	45,55	29,08	2,6
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια	21,93	60,09	38,16	2,0
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια, Πετούλια	27,39	74,98	47,59	1,7
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια, Πετούλια,	34,123	94,25	60,13	1,5
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια, Πετούλια,	46,11	126,32	80,21	1,2

Πίνακας 7.4: Σενάριο 1^ο: Οικονομικά Στοιχεία

Από τον παραπάνω πίνακα διακρίνεται ότι τα IRR είναι σχετικώς μικρά. Η περίπτωση όπου έχει εγκατασταθεί μόνο ο πρώτος σταθμός αποτελεί την μοναδική περίπτωση όπου το IRR υπερβαίνει το ποσοστό του 10%. Συνεπώς, φαίνεται ξεκάθαρα ότι στην περίπτωση εγκατεστημένης ισχύος αιολικών κατά δυο φορές μεγαλύτερης του μέσου ετήσιου φορτίου, είναι οικονομικά ασύμφορη μια επένδυση στην κατασκευή περισσότερων του ενός σταθμού για λειτουργία 4 ωρών καθημερινώς. Πόσο μάλλον στην εγκατάσταση και των οχτώ μονάδων, την εγκατάσταση δηλαδή ολόκληρου του υδροηλεκτρικού συστήματος.

7.3 Σενάριο 2ο: Οι αναστρέψιμες μονάδες να λειτουργούν καθημερινά για 8 ώρες

Στο 2ο σενάριο διακρίνονται δυο περιπτώσεις κατάταξης των μονάδων: α) αναλόγως με το κατασκευαστικό κόστος τους (κατά αύξουσα σειρά) και β) αναλόγως την ποσότητα που μπορούν να αποθηκεύσουν, συνδυαστικά βέβαια και με το κατασκευαστικό κόστος τους (με άλλα λόγια, τις πρώτες θέσεις της κατάταξης λαμβάνουν οι μονάδες που λειτουργούν περισσότερες ώρες καθημερινά και όσες λειτουργούν τα ίδια ωράρια τοποθετούνται όμοια με την περίπτωση α).

Η λειτουργία των αναστρέψιμων μονάδων πρόκειται να είναι τα διαστήματα 11:00 π.μ. – 15:00 μ.μ. και 19:00 μ.μ. – 23:00 μ.μ., δηλαδή ώρες αιχμής. Τα δεδομένα που λαμβάνει ο υπολογιστικός κώδικας είναι ίδια σε όλα τα σενάρια. Με άλλα λόγια, θέτουμε για τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας τα 20€/MWh και για τιμή πώλησης τα 80€/MWh. Στη συνέχεια, αναφορικά με τα κατασκευαστικά κόστη των μονάδων, για την εγκατάσταση του πρώτου σταθμού (Υδροηλεκτρικός Σταθμός Καστρακίου) λαμβάνει την τιμή 500€/KW ενώ για τους υπόλοιπους σταθμούς την τιμή 1500€/KW. Τέλος, παραμένει σε ισχύ το $Rw-s=2$.

7.3.1 Περίπτωση 1η: Κατασκευή των αναστρέψιμων μονάδων αναλόγως με το κατασκευαστικό κόστος τους.

Στην περίπτωση (α) του 2ου σεναρίου η κατασκευή των μονάδων πραγματοποιείται αναλόγως με την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια και κατά συνέπεια το κατασκευαστικό κόστους τους, με άλλο λόγια η σειρά κατασκευής τους είναι όμοια με αυτή που παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.3 στο 1ο σενάριο. Τα αποτελέσματα του υπολογιστικού προγράμματος για λειτουργία των μονάδων για χρονικό διάστημα 8 ωρών καθημερινώς, παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Εγκατεστημένοι αναστρέψιμοι σταθμοί	Τιμή αγοράς	Τιμή πώλησης	Καθαρά Ετήσια Έσοδα	IRR (%)
Καστράκι	8,59	23,36	14,76	19,8
Καστράκι, Τσουγκάρια	12,39	34,16	21,76	12,0
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος	17,89	49,35	31,54	9,1
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος	27,38	75,92	48,53	7,39
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια	36,47	100,16	63,68	6,59
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια, Πετούλια	45,55	124,97	79,42	6,19
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια, Πετούλια,	56,76	157,09	100,34	5,99
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια, Πετούλια,	76,68	210,53	133,85	5,59

Πίνακας 7.5: Σενάριο 2^ο, Περίπτωση 1^η: Οικονομικά Στοιχεία

Διακρίνεται ότι στην περίπτωση που οι αναστρέψιμες μονάδες λειτουργούν για 8 ώρες καθημερινώς, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης IRR αυξάνεται σημαντικά για όλες τις μονάδες, συνεπάγεται έτσι ότι η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα. Ωστόσο, ο ικανοποιητικός βαθμός απόδοσης IRR (άνω του 8%) διακρίνεται για την εγκατάσταση των τριών πρώτων μονάδων.

7.3.2 Περίπτωση 2η: Κατασκευή των αναστρέψιμων μονάδων αναλόγως με το κατασκευαστικό κόστος τους και το ωράριο λειτουργίας τους

Στην 2η περίπτωση του 2ου σεναρίου, διαφοροποιείται η σειρά κατασκευής των μονάδων. Πρώτη κατασκευή όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις είναι αυτή του Υδροηλεκτρικού Σταθμού Καστρακίου. Ωστόσο, ακολουθούν οι κατασκευές των μονάδων οι οποίες λειτουργούν, διαθέτουν μεγαλύτερη αποθηκευτική ικανότητα και άρα λειτουργούν για περισσότερες ώρες καθημερινώς (όσες λειτουργούν για ίδιο ωράριο περίπου, δηλαδή ακριβώς ίδιες ώρες ή με αμελητέα διαφορά 6 λεπτών καθημερινώς – 1/10 της ώρας -, η κατάταξη τους γίνεται με αύξουσα σειρά υδροηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν). Ο Πίνακας 7.6 που ακολουθεί, απεικονίζει την σειρά κατασκευής των μονάδων.

Εγκατεστημένοι αναστρέψιμοι σταθμοί	Ισχύς παραγωγής	Ώρες λειτουργίας	Παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια
1 .Καστράκι	80	24,0	1920
2.Αλευράδα	83	12,0	996
3.Σομπόρρεμα	85	12,0	1020
4.Τσουγκάρια	110	12,1	1331
5. Φίλος	183	12,1	2214,3
6. Δαιμονοπύργια	37	5,8	214,6
7.Πετούλια	52	5,9	306,8
8.Μέγας Κάμπος	91	5,9	536,9

Πίνακας 7.6: Σενάριο 2^ο, Περίπτωση 2^η, Σειρά κατασκευής μονάδων

Ο Πίνακας 7.7, παρουσιάζει τα οικονομικά αποτελέσματα όπως αυτά προέκυψαν από το υπολογιστικό πρόγραμμα.

Εγκατεστημένοι αναστρέψιμοι σταθμοί	Τιμή αγοράς	Τιμή πώλησης	Καθαρά Ετήσια Έσοδα	IRR (%)
Καστράκι	8,59	23,36	14,76	19,8
Καστράκι, Τσουγκάρια	17,67	47,59	29,91	8,69
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος	26,76	72,41	45,65	7,09
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος	37,96	104,53	66,56	6,59
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια	57,88	157,97	100,08	5,79
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια, Πετούλια	61,69	168,77	107,08	5,79
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια, Πετούλια	67,11	183,96	116,85	5,69
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαιμονοπύργια, Πετούλια	76,67	210,53	133,85	5,59

Πίνακας 7.7: Σενάριο 2^ο, Περίπτωση 2^η: Οικονομικά Στοιχεία

Στην εξεταζόμενη περίπτωση διακρίνεται ελαχιστοποίηση του εσωτερικού βαθμού απόδοσης για την κατασκευή όλων των σταθμών (πλην της πρώτης) σχετικά με την 1η περίπτωση του ίδιου σεναρίου. Το IRR ξεπερνάει το 10% μόνο για τον πρώτο σταθμό, ακολουθεί η μείωση του στο 8,69% κατασκευάζοντας τον δεύτερο σταθμό και συνεχίζει να ελαχιστοποιείται. Όσον αφορά την κατασκευή των υπόλοιπων και τελευταίων 4 σταθμών, το

IRR παραμένει περίπου ίδιο, δηλαδή κοντά στο 6%. Αυτό υφίσταται διότι παρά το γεγονός ότι τοποθετήθηκαν πρώτοι οι σταθμοί που δουλεύουν περισσότερες ώρες καθημερινώς αναλόγως με την αποθηκευτική τους ικανότητα, όλοι αυτοί οι σταθμοί είναι μεγάλης χωρητικότητας και κατά συνέπεια συνοδεύονται και από υψηλό κατασκευαστικό κόστος. Σε αυτό οφείλεται και η μείωση του εσωτερικού βαθμού απόδοσης της επένδυσης.

7.4 Σενάριο 3^ο: Οι αναστρέψιμες μονάδες να λειτουργούν καθημερινώς για 12 ώρες

Το 3ο σενάριο, όπως και στα δυο προηγούμενα σενάρια κατάταξης των σταθμών, υπάρχουν δυο περιπτώσεις κατάταξης: α) αναλόγως με το κατασκευαστικό κόστος τους (κατά αύξουσα σειρά) και β) αναλόγως με την ποσότητα που μπορούν να αποθηκεύουν, συνδυαστικά βέβαια και με το κατασκευαστικό κόστος τους (με άλλα λόγια κατατάσσονται πρώτα οι σταθμοί που λειτουργούν περισσότερες ώρες καθημερινώς και όσοι από αυτούς λειτουργούν το ίδιο ωράριο τοποθετούνται όμοια με την περίπτωση α)

Η λειτουργία των σταθμών θα είναι το διάστημα 9:00 π.μ. έως 21:00 μ.μ. Όπως έχει προαναφερθεί, σχετικά με τα δεδομένα εισαγωγής στον υπολογιστικό κώδικα, είναι τα ίδια και στα τρία σενάρια. Δηλαδή, για τιμή αγοράς παίρνουμε την τιμή 20€/MWh και για τιμή πώλησης της ενέργειας την 80€/MWh. Όσον αφορά τα κατασκευαστικά κόστη των σταθμών αυτά λαμβάνονται ως εξής: 500€/KW για την μονάδα που κατασκευάζεται πρώτα (ενν. Υδροηλεκτρικός Σταθμός Καστρακίου) και 1500€/KW για όλες τις υπόλοιπες μονάδες. Τέλος, ισχύει και σε αυτό το σενάριο ότι $Rw-s=2$.

7.4.1 Περίπτωση 1^η: Εγκατάσταση των αναστρέψιμων μονάδων αναλόγως με το κατασκευαστικό κόστος τους.

Και εδώ, όπως και στην πρώτη περίπτωση του 2^{ου} σεναρίου, οι μονάδες κατασκευάζονται αναλόγως με την παραγόμενη υδροηλεκτρική ενέργεια και κατά συνέπεια το κατασκευαστικό κόστος τους, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η σειρά εγκατάστασης τους είναι όμοια με αυτή του Πίνακα 20 του 1^{ου} σεναρίου όπως και στην περίπτωση (α) του 2^{ου} σεναρίου. Ο Πίνακας 7.8 που ακολουθεί περιέχει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το υπολογιστικό πρόγραμμα για 12 ώρες λειτουργίας καθημερινώς.

Εγκατεστημένοι αναστρέψιμοι σταθμοί	Τιμή αγοράς	Τιμή πώλησης	Καθαρά Ετήσια Έσοδα	IRR (%)
Καστράκι	11,16	30,368	19,21	26
Καστράκι, Τσουγκάρια	16,10	44,41	28,31	16,1
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος	23,13	64,15	41,02	12,6
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος	35,57	98,69	63,12	10,5
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια	47,37	130,20	82,83	9,8
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια, Πετούλια	59,17	162,47	103,29	9,5
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια, Πετούλια,	73,73	204,22	130,49	9
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια, Πετούλια,	99,61	273,69	174,08	8,5

Πίνακας 7.8: Σενάριο 3^ο, Περίπτωση 1^η: Οικονομικά Στοιχεία

Αντιλαμβανόμαστε πως στην περίπτωση που οι μονάδες 2 λειτουργούν 12 ώρες καθημερινώς ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης IRR αυξάνεται σημαντικά για όλες τις αναστρέψιμες μονάδες, συνεπώς η επένδυση είναι πιο συμφέρουσα. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι το IRR υπερβαίνει το 8% εγκαθιστώντας ακόμα και τις 8 αναστρέψιμες μονάδες ενώ το 10% (ποσοστό το οποίο πολλοί από τους επενδυτές το θεωρούν ικανοποιητικό προκειμένου να προχωρήσουν στην επένδυση) σημειώνεται με την κατασκευή 4 από τις 8 μονάδες. Άρα, μια τέτοιου είδους επένδυση θεωρείται πιθανώς οικονομικά συμφέρουσα.

7.4.2 Περίπτωση 2η: Εγκατάσταση των αναστρέψιμων μονάδων αναλόγως με το κατασκευαστικό κόστος το ωράριο λειτουργίας τους

Στην προκειμένη περίπτωση, διαφοροποιείται η σειρά κατασκευής των μονάδων και είναι όμοια με αυτή που περιγράφεται στον Πίνακα 7.6. Αναλυτικότερα, ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός αποτελεί, όπως και στα προηγούμενα σενάρια, την μονάδα η οποία κατασκευάζεται πρώτα. Ωστόσο, ακολουθεί η κατασκευή των μονάδων οι οποίοι λειτουργούν περισσότερες ώρες καθημερινώς (όσοι λειτουργούν ίδιες ώρες περίπου, δηλαδή ακριβώς ίδιο ωράριο ή με μηδαμινή διαφορά των 6 λεπτών καθημερινώς – 1/10 της ώρα-, κατατάσσονται κατά αύξουσα σειρά υδροηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν). Ο πίνακας 7.9 παρουσιάζει

λεπτομερώς τα οικονομικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τις επεξεργασίες του υπολογιστικού προγράμματος γλώσσας Matlab (όπως και στα προηγούμενα)

Εγκατεστημένοι αναστρέψιμοι σταθμοί	Τιμή αγοράς	Τιμή πώλησης	Καθαρά Ετήσια Έσοδα	IRR (%)
Καστράκι	11,15	30,36	19,29	26
Καστράκι, Τσουγκάρια	16,06	44,32	28,25	16,1
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος	23,04	63,90	40,86	12,5
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος	35,37	98,12	62,75	10,4
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια	47,15	129,57	82,43	9,5
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια, Πετούλια	58,92	161,76	102,84	9
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια, Πετούλια,	73,42	203,36	129,94	8,79
Καστράκι, Τσουγκάρια, Μέγας Κάμπος, Φίλος, Δαίμονοπύργια, Πετούλια,	11,15	30,36	19,29	26

Πίνακας 7.9: Σενάριο 3^ο, Περίπτωση 2^η: Οικονομικά Στοιχεία

Από τον Πίνακα 7.9 και τα οικονομικά αποτελέσματα που προκύπτουν από το υπολογιστικό πρόγραμμα, διακρίνεται ότι και στην εξεταζόμενη περίπτωση το IRR είναι ικανοποιητικό για την εγκατάσταση και των 8 αναστρέψιμων σταθμών. Ως προς την περίπτωση (α) του ίδιου σεναρίου, παρατηρείται ότι διαφέρει ελάχιστα. Άρα, με οποιαδήποτε σειρά γίνει η κατασκευή των αναστρέψιμων σταθμών, εφόσον λειτουργούν για 12 ώρες καθημερινώς, τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι παρόμοια.

7.5 Πως και πόσο επηρεάζεται το IRR από το R_{w,s}

Και τα 3 σενάρια που αναλύθηκαν παραπάνω, αναφέρονται σε εγκατεστημένη ισχύ αιολικών κατά δύο φορές μεγαλύτερη του μέσου ετήσιου φορτίου (6338 MW). Για το έτος 2010, η εγκατεστημένη ισχύς αιολικών ανέρχεται στα 1200MW περίπου, ενώ ο εθνικός στόχος της χώρας μας για το 2020 αφορά τα 5000 - 8000MW. Διακρίνεται ξεκάθαρα ότι λόγος R_{w,s} είναι μικρότερος της μονάδας, ενώ ακόμα και το έτος 2020 δεν θα υπερβαίνει το 1,2. Άρα, θα πραγματοποιηθεί έλεγχος του πόσο επηρεάζει ο λόγος εγκατεστημένης αιολικής ισχύος το μέσο ετήσιο φορτίο στον εσωτερικό βαθμό απόδοσης, δηλαδή πόσο αυξάνεται το IRR όταν αυξάνεται το R_{w,s}. Για την περίπτωση που εξετάζουμε, επιλέγουμε να λειτουργεί αρχικά 1 αναστρέψιμος σταθμός (Καστράκι – Στράτος), εν συνεχεία 2 αναστρέψιμοι σταθμοί

(Καστράκι – Στράτος και Τσουγκάρια – Καστράκι) και τέλος, επιλέγουμε και τους 8 αναστρέψιμους σταθμούς οι οποίοι θα λειτουργούν 12 ώρες καθημερινώς.

- Λαμβάνουμε ως δεδομένο την κατασκευή μόνο του αναστρέψιμου Υδροηλεκτρικού Σταθμού Καστρακίου:

Rw-s	IRR(%)
0,5	0,1
0,7	4,7
0,8	7,69
1	15,2
1,5	25,9
2	26

Πίνακας 7.10: Επίδραση Rw-s στο IRR

- Στη συνέχεια, με την υπόθεση ότι έχουν εγκατασταθεί δυο αναστρέψιμοι σταθμοί (Καστράκι – Στράτος και Τσουγκάρια – Καστράκι)

Rw-s	IRR(%)
0,5	0,1
0,7	0,5
0,8	2,7
1	7,5
1,5	15,5
2	16,065

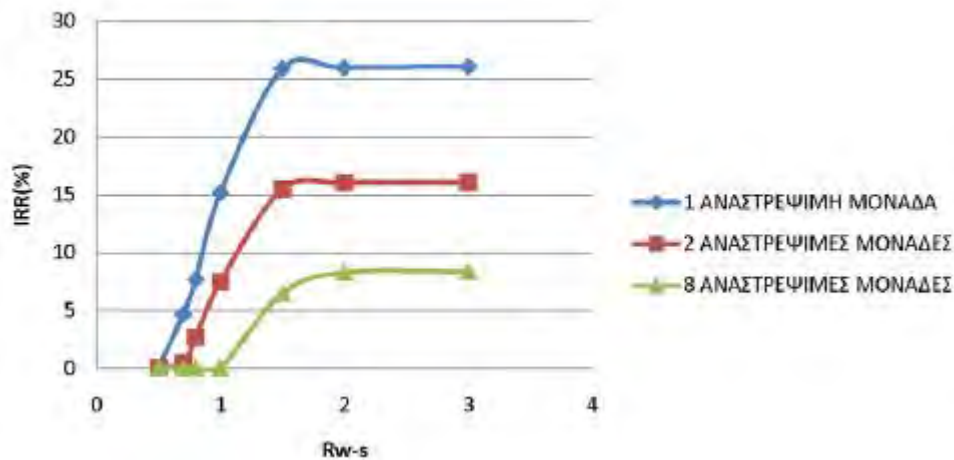
Πίνακας 7.11: Επίδραση Rw-s στο IRR

- Τέλος, λαμβάνουμε ως δεδομένο, την περίπτωση που να έχουν κατασκευαστεί και οι 8 αναστρέψιμοι σταθμοί:

Rw-s	IRR(%)
0,5	0,1
0,7	0,1
0,8	0,1
1	0,1
1,5	6,5
2	8,39

Πίνακας 7.13: Επίδραση Rw-s στο IRR

Στο σχήμα 7.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται υπό μορφή διαγράμματος τα αποτελέσματα των παραπάνω 3 περιπτώσεων και των αντίστοιχων πινάκων τους.



Σχήμα 7.1: Υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τον εκάστοτε αναστρέψιμο σταθμό

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω στοιχεία είναι ότι όσο αυξάνεται η εγκατεστημένη αιολική ισχύς τόσο αυξάνεται και ο IRR (εσωτερικός βαθμός απόδοσης). Άρα, όσο περισσότερες μονάδες κατασκευαστούν τόσο μικρότερος θα είναι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης. Αυτό υφίσταται διότι το κατασκευαστικό κόστος των μονάδων θα είναι

πολύ υψηλότερο, ακόμα και στην περίπτωση που τα καθαρά κέρδη μεγεθύνουν με αυτό τον τρόπο.

Άρα, αντιλαμβανόμαστε ότι εφόσον αποφασιστεί η υλοποίηση του παραπάνω έργου, η εγκατάσταση όλων των σταθμών δεν πρέπει να λάβει χώρα την ίδια χρονική στιγμή, αλλά σταδιακά. Με άλλα λόγια, αναλόγως με την εγκατεστημένη αιολική ισχύ που θα σημειώνεται κατά τη διάρκεια ενός έτους (εθνικός στόχος της χώρας μας), θα πρέπει να κατασκευάζονται και οι αντίστοιχες μονάδες προκειμένου να πραγματοποιείται ορθή ενεργειακή εκμετάλλευση καθώς επίσης και η επένδυση να χαρακτηρίζεται από βιωσιμότητα.

Κεφάλαιο 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Κατά την εν λόγω διπλωματική εργασία, όπως άλλωστε έχει τονιστεί αρκετές φορές στην έκταση της, μελετάται η έννοια της ανάπτυξης αποθηκευτικών συστημάτων σε ήδη υπάρχοντες υδροηλεκτρικούς σταθμούς, προκειμένου να υποστηρίζεται η υψηλή διείσδυση των ΑΠΕ στα ηλεκτρικά δίκτυα της χώρας. Αυτό επιτυγχάνεται διεξάγοντας αριθμητική προσομοίωση και ανάλυση μιας πιθανής εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων σε ένα σύστημα ήδη υπάρχοντων υδροηλεκτρικών έργων παραγωγής ενέργειας στην Ελλάδα, στοχεύοντας την ανάκτηση της απορριπτόμενης αιολικής ενέργειας στο σύστημα. Η συγκεκριμένη μελέτη προσδιορίζει ορισμένες από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την εκμετάλλευση της απορριφθείσας ενέργειας καθώς επίσης και για την βιωσιμότητα της συγκεκριμένης επένδυσης, οι οποίες αφορούν τη συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύ, τις ώρες λειτουργίας των ενδεχόμενων αναστρέψιμων μονάδων και τη σειρά κατασκευής τους αναλόγως με το κατασκευαστικό κόστος τους. Μια ευρεία άποψη που επικρατεί για αυτού του είδους των επενδύσεων είναι ότι θα μετατραπούν σε πιο ελκυστικές και κερδοφόρες τις επόμενες δεκαετίες, όταν ο αέρας και οι λοιπές εγκαταστάσεις ΑΠΕ μπορούν να πληθύνουν πολύ άνω από το μέσο επίπεδο ζήτησης του συστήματος. Προκειμένου να διογκωθεί η ενεργειακή και οικονομική αποδοτικότητα το συστήματος, κρίνεται σκόπιμο η αιολική ενέργεια που απορρίπτεται να βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα.

8.1 Συμπεράσματα

Για τη βιωσιμότητα της επένδυσης απαιτείται:

- Αρκετές λειτουργικές ώρες των μονάδων καθημερινών (>12)
- Η σειρά κατασκευής των αναστρέψιμων μονάδων να πραγματοποιείται κατά αύξουσα σειρά του κατασκευαστικού κόστους τους.
- Καταγραφή υψηλού ποσοστού εγκατεστημένης ισχύος αιολικών ($Rw-s > 2$)

Όταν πρόκειται για μικρότερα ποσοστά εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, η κατασκευή του συστήματος να πραγματοποιείται σταδιακά.

Το υδροηλεκτρικό ζεύγος Καστρακίου – Στράτου συμφέρει να μετατραπεί σε αναστρέψιμη μονάδα (ισχύει για όλες τις περιπτώσεις)

Η ορθότερη επιλογή πιθανώς είναι η να μετατρέπονται υφιστάμενοι ΥΗΣ σε σειρά σε αναστρέψιμες μονάδες και όχι τόσο η προσθήκη αναστρέψιμων μονάδων σε μεμονωμένους ΥΗΣ.

8.2. Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες - μελέτες

1. Διερεύνηση και Εξέταση του έργου για περισσότερα έτη
2. Εκπόνηση παραμετρικής έρευνας – μελέτης τιμολόγησης βάσει της τιμής αποζημίωσης
3. Εντοπισμός βέλτιστης λύσης εφαρμόζοντας αλγόριθμο βελτιστοποίησης (μέγιστη δυνατή ενεργειακή και οικονομική απόδοση)

- [1] Sarbu, I. & Valea, E. (2015). *Energy Savings Potential for Pumping Water in District Heating Stations. Sustainability*. 7. 5705-5719. 10.3390/su7055705
- [2] Sorin, P. & Aldea, A. (2018). Energy and Cost Savings through Pumping Stations Rehabilitation. Case Study in Bucharest. *Proceedings*. 2. 593. 10.3390/proceedings2110593
- [3] Hakimi, Seyed M. & Moghaddas-Tafreshi, S.M.. (2014). Optimal Planning of a Smart Microgrid Including Demand Response and Intermittent Renewable Energy Resources. *Smart Grid, IEEE Transactions on*. 5. 2889-2900. 10.1109/TSG.2014.2320962
- [4] Dadar, S., Đurin, B., Alamatian, E. & Plantak, L. (2021). Impact of the Pumping Regime on Electricity Cost Savings in Urban Water Supply System. *Water*. 13. 1141. 10.3390/w13091141.
- [5] Bonja, P., Kusakana, K., Markus, E. (2020). Energy savings configuration for a water-pumping system. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*. 10.12720/sgce.9.4.805-812.
- [6] Tricarico, C., Morley, M., Gargano, R., Kapelan, Z., Savic, D., Santopietro, Granata, F. & DE MARINIS, G. (2017). Optimal energy recovery by means of pump as turbines (PATs) for improved WDS management. *Water Science and Technology: Water Supply*. 18. ws2017202. 10.2166/ws.2017.202.
- [7] Izquierdo, M.D.Z., Jimenez, J. & Sol, A. (2008). *Matlab Software to Determine the Saving in Parallel Pumps Optimal Operation Systems, by Using Variable Speed*. 1 - 8. 10.1109/ENERGY.2008.4780991.
- [8] Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (2019), Μελέτη Επάρκειας Ισχύος για την Περίοδο 2020 – 2030 [https://www.admie.gr/sites/default/files/users/dssas/meleti-eparkeias-ishyos-2020-2030.pdf, ανακτήθηκε 10/02/2023]
- [9] Ν. Βέττας, Σ. Danchev, Γ. Μανιάτης, Ν. Παρατσιώκας και Κ. Βαλάσκας (2021), Ο Τομέας Ενέργειας στην Ελλάδα: Τάσεις, Προοπτικές και Προκλήσεις, VERSION 30.06.2021 [http://iobe.gr/docs/research/RES_05_25042021_REP_GR.pdf, ανακτήθηκε 10/02/2023]
- [10] Hossain, M. (2022). Extreme Level of CO2 Accumulation into the Atmosphere Due to the Unequal Global Carbon Emission and Sequestration. *Water, Air, & Soil Pollution*. 233. 10.1007/s11270-022-05581-1
- [11] Ololade, O. (2017), *Sustainable Development: An Overview*.
- [12] Greenpeace(2022), [http://www.greenpeace.org/raw/content/greece/press/18523/32557.pdf, ανακτήθηκε 07/12/2022]
- [13] PPCR. (2022). ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε [https://bit.ly/3iluKaV, ανακτήθηκε 07/12/2022]
- [14] WindEnergy (2022), [https://bit.ly/3VEpcgc, ανακτήθηκε 07/12/2022]
- [15] Αναγνωστόπουλος, Ι., Μουτάφης, Κ., Παπαντώνης, Γ. & Στεφανάκος, Ι. (2010). *Τελική έκθεση παραδοτέου προς ΡΑΕ έργου με τίτλο «Διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής έργων αποταμίευσης ενέργειας μέσω άντλησης σε περιοχές του Ελληνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας»* [https://bit.ly/3uOKTyт, ανακτήθηκε 07/12/2022]
- [16] Hossain, M. (2022). Extreme Level of CO2 Accumulation into the Atmosphere Due to the Unequal Global Carbon Emission and Sequestration. *Water, Air, & Soil Pollution*. 233. 10.1007/s11270-022-05581-1.
- [17] Διαχειριστής ΑΠΕ & Εγγυήσεων Προέλευσης Α.Ε. (2022), Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο Α.Π.Ε. & ΣΗΘΥΑ, Μάιος 2022 [https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/2022/06/Ενημερωτικό%20Δελτίο%20Μάιος%202022.pdf?_t=1656580542, ανακτήθηκε 07/12/2022]

- [18] ΕΛΕΤΑΕΝ (2022), Wind Energy Statistics Greece– H1 2022 [<https://eletaen.gr/wp-content/uploads/2022/07/2022-26-07-H1-2022-HWEA-Statistics-Greece.pdf> ανακτήθηκε 07/12/2022]
- [19] WWEA (2022), *Half-year Report 2022: Worldwide Windpower Boom Continues* [<https://wwindea.org/worldwide-windpower-boom-continues-in-2022/#:~:text=WWEA%20Halfyear%20Report%202022%3A%20Worldwide%20Windpower%20Boom%20Continues%20in%202022,November%2015%2C%202022&text=While%20in%20the%20first%20half,and%20end%20of%20June%202021.> ανακτήθηκε 07/12/2022]
- [20] Manzella, A. (2017). Geothermal energy. *EPJ Web of Conferences*. 148. 00012. 10.1051/epjconf/201714800012.
- [21] Dragoljub, L., Mirjanić, L., Pavlovic, T., Radonjic, I., Pirsl, D., Sazhko, G., Stanković, A. (2020). *Renewable energy sources and society*.
- [22] Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας (2022), [<http://www.iea.org/>, ανακτήθηκε 07/12/2022]
- Denholm, P., Short, W., & Florita, A. (2011). Energy storage for grid applications. *National Renewable Energy Laboratory*. [<https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/50689.pdf>, ανακτήθηκε 07/12/2022]
- [23] International Energy Agency, (2014). Energy storage: A key to a more secure, sustainable and competitive energy system [<https://www.iea.org/reports/energy-storage-a-key-to-a-more-secure-sustainable-and-competitive-energy-system>, ανακτήθηκε 07/12/2022]
- [24] Παπαντώνης, Δ. (2009), *Νέες προοπτικές για την Ανάπτυξη της αντλιοσταμείωσης στην Ελλάδα Τεχνολογία και Τεχνολογικοί Περιορισμοί*, Βιβλιοθήκη ΤΕΕ, Ιωάννινα
- [25] Παπαντώνης, Δ. (2005), *Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα*, Εκδόσεις Συμείων, Αθήνα
- [26] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (2020), [<http://www.cres.gr/cres/index.html>, ανακτήθηκε 07/12/2022]
- [27] Aneke, M. & Wang, M. (2016). Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review. *Applied Energy*. 179. 350-377. 10.1016/j.apenergy.2016.06.097.
- [28] Landry, M. & Gagnon, Y. (2015). Energy Storage: Technology Applications and Policy Options. *Energy Procedia*. 79. 315-320. 10.1016/j.egypro.2015.11.494.
- [29] Kusko, A. & Dedad, J. (2007). Stored energy - Short-term and long-term energy storage methods. *Industry Applications Magazine*, IEEE. 13. 66 - 72. 10.1109/MIA.2007.4283511.
- [30] Energy Storage Council, [www.energystoragecouncil.org, ανακτήθηκε 12/02/2022]
- [31] Balcioglu, H., Soyer, K., & EL-Shimy, M. (2017). *Renewable Energy– Background*. 10.6084/m9.figshare.6169460.
- [32] Tolmachev, Y. (2022). *Flow batteries from 1879 to 2022 and beyond..* 10.5599/jese.0000.
- [33] Λέρης, Γ. (2005). *Αντιμετώπιση πλημμύρων στα φράγματα της ΔΕΗ Α.Ε. στους ποταμούς Αχελώο, Άραχθο και Νέστο*
- [34] Wang, Y., & Kintner-Meyer, M. C. W. (2019). *Energy storage integration into power systems: A review of technologies, benefits, and challenges*. *Applied Energy*, 243, 991-1009
- [35] Βούλγαρης, Ι. (2005). *Πηγές Ενέργειας και Μετατροπή τους σε Ηλεκτρική Ενέργεια* [<https://bit.ly/3BijoAN>, ανακτήθηκε 07/12/2022]
- [36] Heimes, H., Kampker, A., Dorn, B., Offermanns, C., Wennemar, S., Sasse, K., Vienenkötter, J., Locke, M., Soldan C., Natalia & Niklas C.(2022). *Battery Atlas 2022 Shaping the European lithium-ion battery industry*.
- [37] Kintner-Meyer, M. C. W., & Gao, L. (2018). The role of energy storage in power systems: A review of recent developments and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 982-1003.
- [38] Παπαντώνης, Δ., (1998). *Υδροδυναμικές Εγκαταστάσεις*, Εκδόσεις Συμείων, Αθήνα

- [39] Sánchez, S., & Martínez-Velasco, J. A. (2017). Energy storage systems for renewable energy integration: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 597-614.
- [40] Στεφανάκος, Ι. (2010). *Τεχνική Έκθεση 3ου παραδοτέου προς ΠΑΕ ερευνητικού έργου «Διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής έργων αποταμίευσης ενέργειας μέσω άντλησης σε περιοχές του Ελληνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας»*
- [41] European Association for Storage of Energy (2015), *Pumped Hydro Storage* [https://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2016/07/EASE_TD_Mechanical_PHS.pdf, ανακτήθηκε 09/02/2023]
- [42] Wang, S., Chen, G., Fang, M. & Wang, Q. (2006). A new compressed air energy storage refrigeration system. *Energy Conversion and Management - ENERG CONV MANAGE*. 47. 3408-3416. 10.1016/j.enconman.2006.01.007
- [43] Alberta Energy Storage Symposium (2013), *ASIS Project, A CAES Study of Energy Storage for Alberta Presented to the Alberta Energy Storage Symposium*
- [44] RACS Revolutionary A/C Solutions [<https://racs.gr/αντλίες-ύδρευσης-άρδευσης-γεωτρήσεων>, ανακτήθηκε 02/10/2022]
- [45] ACS CONTROL-SYSTEM [<https://www.acs-controlsystem.de/en/presse/leak-monitoring-of-kaplan-turbines/>, ανακτήθηκε 02/10/2022]
- [46] Harlaw Hydro Ltd, [<https://www.harlawhydro.org.uk/proposal/design-overview/#.Y-gHPcJBy5c>, ανακτήθηκε 02/10/2022]
- [47] Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi [<https://aybu.edu.tr/muhendislik/makina/contents/files/MCE%20403-Pelton%20Turbine%20Experiment%20Sheet.pdf>, ανακτήθηκε 02/10/2022]
- [48] Ελληνικός Σύνδεσμος Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων [<http://www.microhydropower.gr>, ανακτήθηκε 02/10/2022]
- [49] NS ENERGY [<https://www.nsenergybusiness.com/projects/grand-maison-hydroelectric-power-plant/>, ανακτήθηκε 02/10/2022]
- [50] ECONNEWS [<http://www.econews.gr/wp-content/uploads/2012/10/>, ανακτήθηκε 02/10/2022]
- [51] Google Maps [<https://bit.ly/3Y4WkPS>, ανακτήθηκε 02/10/2022]
- [52] Google Maps [<https://bit.ly/3Y4WkPS>, ανακτήθηκε 02/10/2022]
- [53] Google Maps [<https://bit.ly/3Y4WkPS>, ανακτήθηκε 02/10/2022]
- [54] Agriniopress [<http://www.agriniopress.gr/>, ανακτήθηκε 02/10/2022]

Κώδικας Matlab

```
% Load data from text file
data = load(energy_data.txt);

% Extract wind energy data
wind_energy = data(:,1);

% Calculate total energy production
total_energy_production = sum(wind_energy);

% Calculate rejected wind energy
rejected_wind_energy = sum(wind_energy(wind_energy < 0));

% Calculate percentage of rejected wind energy
percentage_rejected_wind_energy = 100 * rejected_wind_energy /
total_energy_production;

% Display results
fprintf('Total energy production: %d\n', total_energy_production);
fprintf('Rejected wind energy: %d\n', rejected_wind_energy);
fprintf('Percentage of rejected wind energy: %.2f%%\n',
percentage_rejected_wind_energy);
```

Σημείωση: Αυτός ο κωδικός προϋποθέτει ότι το αρχείο δεδομένων "energy_data.txt" περιέχει τα ωριαία δεδομένα ενέργειας στην πρώτη στήλη. Ο κώδικας υποθέτει επίσης ότι οι αρνητικές τιμές στα δεδομένα αιολικής ενέργειας αντιπροσωπεύουν την απορριφθείσα αιολική ενέργεια. Ο κώδικας υπολογίζει τη συνολική παραγωγή ενέργειας, την απορριφθείσα αιολική ενέργεια και το ποσοστό της απορριφθείσας αιολικής ενέργειας με βάση τα δεδομένα.

Κώδικας Matlab για την επεξεργασία των ενεργειακών δεδομένων και τον υπολογισμό της εκμετάλλευσης της ενέργειας που απορρίπτεται από το δίκτυο για τα τρία σενάρια που περιγράφονται:

```
% Load data from text file
data = load(energy_data.txt);

% Extract wind energy data
wind_energy = data(:,1);

% Define number of hours for each scenario
scenario1_hours = [11:14, 19:22];
scenario2_hours = [9:22];
scenario3_hours = [9:22];

% Define order of inclusion of reversible units for scenario 2
scenario2_order = [8, 1:7];

% Initialize variables for storing results
stored_wind_energy = zeros(3,1);
turbine_production = zeros(3,1);
degree_of_utilization = zeros(3,1);

% Loop through each scenario
for i = 1:3
    % Select hours and order of inclusion based on scenario
    if i == 1
        hours = scenario1_hours;
        order = 1:7;
    elseif i == 2
        hours = scenario2_hours;
        order = scenario2_order;
    else
        hours = scenario3_hours;
```

```

    order = 1:7;
end

% Initialize variables for storing scenario results
scenario_stored_wind_energy = 0;
scenario_turbine_production = 0;

% Loop through each hour
for j = 1:24
    % Check if current hour is in the selected hours for the scenario
    if ismember(j, hours)
        % Calculate wind energy production for the hour
        wind_energy_production = wind_energy(j);

        % Loop through each reversible unit in order of inclusion
        for k = 1:7
            % Get current unit
            unit = order(k);

            % Check if wind energy production can be absorbed by the units pumps
            if wind_energy_production < 0
                % Increment scenario stored wind energy
                scenario_stored_wind_energy = scenario_stored_wind_energy -
wind_energy_production;

                % Decrement wind energy production
                wind_energy_production = 0;

                % Break loop, as no more wind energy can be absorbed
                break;
            end

            % Calculate turbine production for the unit

```

```

        unit_turbine_production = ... % code to calculate turbine production based
on unit and wind energy production

        % Increment scenario turbine production
        scenario_turbine_production = scenario_turbine_production +
unit_turbine_production;

        % Decrement wind energy production
        wind_energy_production = wind_energy_production -
unit_turbine_production;
    end
end
end

% Store results for scenario
stored_wind_energy(i) = scenario_stored_wind_energy;
turbine_production(i) = scenario_turbine_production;
degree_of_utilization(i) = scenario_turbine_production /
(scenario_turbine_production + scenario_stored_wind_energy);
end

% Display results
fprintf(Scenario 1: Stored wind energy = %d, Turbine production = %d, Degree of
utilization = %.2f%%\n, stored_wind_energy(1), turbine_production(1),
degree_of_utilization(1) * 100);

fprintf(Scenario 2: Stored wind energy = %d, Turbine production = %d, Degree of
utilization = %.2f%%\n, stored_wind_energy(2), turbine_production(2),
degree_of_utilization(2) * 100); fprintf(Scenario 3: Stored wind energy = %d, Turbine
production = %d, Degree of utilization = %.2f%%\n, stored_wind_energy(3),
turbine_production(3), degree_of_utilization(3) * 100);

    Σημείωση: Αυτός ο κωδικός προϋποθέτει ότι το αρχείο δεδομένων "energy_data.txt"
περιέχει τα ωριαία δεδομένα αιολικής ενέργειας στην πρώτη στήλη. Ο κώδικας υποθέτει

```

επίσης ότι οι αρνητικές τιμές στα δεδομένα αιολικής ενέργειας αντιπροσωπεύουν τις εκκενώσεις αιολικής ενέργειας από το δίκτυο. Ο κώδικας υπολογίζει την εκμετάλλευση της ενέργειας που απορρίπτεται από το δίκτυο για καθένα από τα τρία σενάρια που περιγράφονται, συμπεριλαμβανομένης της αποθηκευμένης αιολικής ενέργειας, της παραγωγής τουρμπίνας και του βαθμού χρήσης. Ο υπολογισμός της παραγωγής στροβίλου για κάθε μονάδα και ο βαθμός χρήσης παραλείπεται για λόγους απλότητας, αλλά μπορεί εύκολα να προστεθεί βάσει των ειδικών απαιτήσεων του έργου.

Ο πρώτος κώδικας Matlab επεξεργάζεται τα ενεργειακά δεδομένα και υπολογίζει τη συνολική παραγωγή ενέργειας και την απορριπτόμενη αιολική ενέργεια για το έτος αναφοράς (2008). Ο κώδικας ξεκινά με τη φόρτωση των ενεργειακών δεδομένων από ένα αρχείο κειμένου σε μια μεταβλητή που ονομάζεται δεδομένα. Στη συνέχεια, τα δεδομένα αιολικής ενέργειας εξάγονται από την πρώτη στήλη δεδομένων και αποθηκεύονται σε μια μεταβλητή που ονομάζεται wind_energy. Στη συνέχεια, η συνολική παραγωγή ενέργειας υπολογίζεται ως το άθροισμα όλων των τιμών στην αιολική_ενέργεια. Η απορριφθείσα αιολική ενέργεια υπολογίζεται ως το άθροισμα όλων των αρνητικών τιμών στο wind_energy, καθώς οι αρνητικές τιμές αντιπροσωπεύουν τις εκκενώσεις αιολικής ενέργειας από το δίκτυο. Τέλος, το ποσοστό της απορριφθείσας αιολικής ενέργειας υπολογίζεται ως ο λόγος της απορριφθείσας αιολικής ενέργειας προς τη συνολική παραγωγή ενέργειας, πολλαπλασιαζόμενη επί 100. Τα αποτελέσματα του υπολογισμού, συμπεριλαμβανομένης της συνολικής παραγωγής ενέργειας, της απορριφθείσας αιολικής ενέργειας και του ποσοστού της απορριφθείσας αιολικής ενέργειας, εμφανίζονται στη συνέχεια στο παράθυρο εντολών του Matlab. Ο δεύτερος κώδικας Matlab υπολογίζει την εκμετάλλευση της ενέργειας που απορρίπτεται από το δίκτυο για τρία διαφορετικά σενάρια. Ο κωδικός ξεκινά φορτώνοντας τα δεδομένα αιολικής ενέργειας με τον ίδιο τρόπο όπως ο πρώτος κωδικός. Στη συνέχεια, ο κωδικός ορίζει τον αριθμό των ωρών για κάθε σενάριο, καθώς και τη σειρά συμπερίληψης των αναστρέψιμων μονάδων για το σενάριο 2. Ο κώδικας αρχικοποιεί μεταβλητές για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων του υπολογισμού, συμπεριλαμβανομένης της αποθηκευμένης αιολικής ενέργειας, της παραγωγής τουρμπίνας και του βαθμού χρήσης. Στη συνέχεια, ο κώδικας περνά μέσα από κάθε σενάριο, χρησιμοποιώντας μια δομή ένθετου βρόχου για τον υπολογισμό της αποθηκευμένης αιολικής ενέργειας, της παραγωγής τουρμπίνας και του βαθμού χρήσης για κάθε ώρα στο σενάριο. Στον πιο εσωτερικό βρόχο, ο κωδικός ελέγχει εάν η τρέχουσα ώρα είναι στις επιλεγμένες ώρες για το σενάριο. Εάν είναι, ο κωδικός υπολογίζει την παραγωγή αιολικής

ενέργειας για την ώρα και περνά μέσα από κάθε αναστρέψιμη μονάδα κατά σειρά συμπερίληψης. Για κάθε μονάδα, ο κωδικός ελέγχει εάν η παραγωγή αιολικής ενέργειας μπορεί να απορροφηθεί από τις αντλίες της μονάδας. Εάν μπορεί, ο κωδικός υπολογίζει την παραγωγή του στροβίλου για τη μονάδα και αυξάνει την αποθηκευμένη αιολική ενέργεια και την παραγωγή τουρμπίνας στο σενάριο. Ο υπολογισμός της παραγωγής του στροβίλου παραλείπεται στον κώδικα για λόγους απλότητας, αλλά μπορεί εύκολα να προστεθεί με βάση τις συγκεκριμένες απαιτήσεις του έργου. Μετά την αναζήτηση όλων των σεναρίων, τα αποτελέσματα του υπολογισμού, συμπεριλαμβανομένης της αποθηκευμένης αιολικής ενέργειας, της παραγωγής τουρμπίνας και του βαθμού χρήσης για κάθε σενάριο, εμφανίζονται στο παράθυρο εντολών του Matlab. Αυτοί οι δύο κωδικοί Matlab παρέχουν έναν τρόπο επεξεργασίας ενεργειακών δεδομένων και υπολογισμού διαφόρων μετρήσεων που σχετίζονται με την παραγωγή και τη χρήση ενέργειας, δίνοντας τη δυνατότητα ανάλυσης και σύγκρισης διαφορετικών σεναρίων βελτιστοποίησης της παραγωγής και χρήσης ενέργειας στον Υδροηλεκτρικό Σταθμό Καστράκι - Στράτος.