



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΣΩ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ**

Διπλωματική Εργασία

Αραποστάθης Βασίλειος
Σαλτζίδης Χαράλαμπος

Επιβλέπων: Τσουκαλάς Ελευθέριος

Βόλος 2019



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

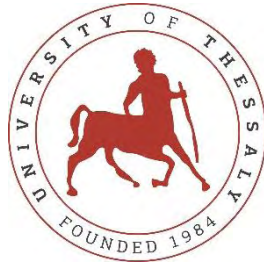
**ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΣΩ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗΣ**

Διπλωματική Εργασία

Αραποστάθης Βασίλειος
Σαλτζίδης Χαράλαμπος

Επιβλέπων: Τσουκαλάς Ελευθέριος

Βόλος 2019



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**STUDY OF HYDROELECTRIC ENERGY
PRODUCTION BY HYDROPUMP
SYSTEMS**

Diploma Thesis

Arapostathis Vasileios

Saltzidis Charalampos

Supervisor: Tsoukalas Eleftherios

Volos 2019

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους καθηγητές μας, οι οποίοι μας βοήθησαν και μας καθοδήγησαν ώστε να ολοκληρωθεί αυτή η διπλωματική εργασία. Πιο συγκεκριμένα, τον επιβλέποντα καθηγητή, Τσουκαλά Ελευθέριο για τη επιστημονική καθοδήγηση που μας προσέφερε στο κομμάτι του περιεχομένου με τη βαθιά του γνώση στον τομέα της ενέργειας. Επιπλέον, τον καθηγητή Μπαργιώτα Δημήτριο που με την κριτική του σκέψη και τις εύστοχες παρατηρήσεις-διορθώσεις βοήθησε να παρουσιαστεί η έρευνά μας όσο το δυνατόν καλύτερα και να πάρει η διπλωματική εργασία την τελική της μορφή, καθώς και την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε ώστε να ολοκληρωθεί με επιτυχία η παρούσα διπλωματική. Επίσης, την καθηγήτρια Δασκαλοπούλου Ασπασία που μας έκανε την τιμή να συμμετέχει στην επιτροπή και να παρακολουθήσει την παρουσίασή μας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για τη υλική και ηθική στήριξή τους, καθώς και τους φίλους μας για τις όμορφες στιγμές που περάσαμε στην πόλη του Βόλου.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

«Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής».

Ο Δηλών

(Υπογραφή)
Αραποστάθης Βασίλειος
Ημερομηνία

Ο Δηλών

(Υπογραφή)
Σαλτζίδης Χαράλαμπος
Ημερομηνία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενέργεια ανέκαθεν κατείχε έναν πάρα πολύ σημαντικό ρόλο στην καθημερινότητα των ανθρώπων. Η παραγωγή ενέργειας συνήθως γίνεται με τη χρησιμοποίηση ορυκτών καυσίμων, γεγονός όμως που οδηγεί στη μείωση των αποθεμάτων και ταυτόχρονα προκαλεί πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η τρύπα του όζοντος. Έτσι η λύση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας γίνεται όλο και πιο απαραίτητη.

Στη παρούσα διπλωματική θα εστιάσουμε σε μία από τις βασικότερες ΑΠΕ, την Υδροηλεκτρική Ενέργεια, της οποίας τα χαρακτηριστικά (φράγματα, αντλίες, τουρμπίνες) και τις μεθόδους παραγωγής θα παρουσιάσουμε αναλυτικά.

Εμβαθύνοντας στις μεθόδους παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας θα εξετάσουμε μία μορφή υδροηλεκτρικής ενέργειας, τη τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης. Αυτή η μορφή υδροηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιεί 2 ταμιευτήρες νερού (άνω και κάτω) και κύριο χαρακτηριστικό της είναι η αποθήκευση ενέργειας. Αυτό πραγματοποιείται με την άντληση νερού από τον κάτω ταμιευτήρα στον άνω σε περιόδους χαμηλής ζήτησης, εκμεταλλευόμενη το πλεόνασμα ή τη χαμηλή τιμή της ενέργειας, με σκοπό να το επαναχρησιμοποιήσει σε περιόδους αιχμής. Τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά αυτής της μεθόδου αναλύονται παρακάτω. Επίσης γίνεται αναφορά και σε μερικά υδροηλεκτρικά έργα αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα αλλά και στο Raccoon Mountain ένα από τα μεγαλύτερα έργα αντλησιοταμίευσης στον πλανήτη

Τέλος μελετάμε την αποθήκευση ενέργειας με τη χρήση υβριδικών έργων, δηλαδή έργων που βασίζονται στη συνεργασία δύο ειδών ΑΠΕ. Η πιο συχνή εφαρμογή που συναντάμε είναι ο συνδυασμός υδροηλεκτρικής και αιολικής ενέργειας σε έργα αντλησιοταμίευσης. Η λειτουργία του έργου αυτού βασίζεται στην άντληση νερού από την κάτω στην άνω δεξαμενή με τη χρήση ανεμογεννητριών, των οποίων συχνά η παραγόμενη ενέργεια περνούσε ανεκμετάλλευτη λόγω της μη προβλέψιμης λειτουργίας τους. Ακόμη παρουσιάζουμε δύο μεγάλα υβριδικά έργα, που συνδυάζουν την υδροηλεκτρική με την αιολική ενέργεια. Το ελληνικό έργο της Ικαρίας εν ονόματι ΝΑΕΡΑΣ και το Gorona del Viento project στο El Hierro των Κανάριων Νήσων.

ABSTRACT

Energy has always played a very important role in people's everyday lives. Energy is usually produced through the use of fossil fuels, but it leads to a fossil reduction and at the same time causes many environmental problems, such as greenhouse gases and the ozone hole. So the solution of Renewable Energy is becoming more and more necessary.

In this thesis we will focus on one of the most important renewable energy sources, Hydroelectric Energy, whose characteristics (dams, pumps, turbines) and production methods will be presented in detail.

While we delve into hydroelectricity production methods, we will focus on a form of hydropower, the pumped hydro energy storage technology. This form of hydropower uses 2 water reservoirs (up and down) and its main feature is energy storage. This is done by pumping water from the lower reservoir into the upper one at times of low energy demand, taking advantage of the surplus or low energy value in order to re-use it in peak periods. The technical and functional characteristics of this method are discussed below. Also, some of the hydro pumping systems in Greece and Raccoon Mountain, one of the largest pumping projects on the planet, will be presented.

Finally, we study energy storage using hybrid projects, projects based on the cooperation of two types of RES. The most common application we encounter is the combination of hydropower and wind energy in pumped hydro energy storage projects. The operation of this project is based on the pumping of water from the bottom tank into the upper tank using wind turbines, whose energy was often untapped due to their unpredictable operation. We also present two major hybrid projects that combine hydro with wind energy. The Greek NAERAS project of Ikaria island and the Gorona del Viento project in El Hierro of Canary Islands.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<i>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</i>	<i>vi</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>vii</i>
<i>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</i>	<i>viii</i>
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</i>	<i>1</i>
<i>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</i>	<i>1</i>
1.1 Ενέργεια - Σημασία για την καθημερινή ζωή και την οικονομική ανάπτυξη.....	1
1.2 Στροφή στις ΑΠΕ.....	3
1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ.....	6
1.4 Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα/Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής	8
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</i>	<i>11</i>
<i>ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ</i>	<i>11</i>
2.1 Υδροηλεκτρική Ενέργεια-Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί.....	11
2.2 Φράγματα	15
2.3 Πρόσθετα Τεχνικά Έργα	24
2.4 Υδραυλικοί Κινητήρες	27
2.5 Τύποι Υδροστρόβιλοι.....	29
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</i>	<i>34</i>
<i>ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ/ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΟΙ ΥΗΣ</i>	<i>34</i>
3.1 Εισαγωγή	34
3.2 Ιστορική Αναδρομή	38
3.3 Τεχνολογία Αντλιών και Στροβίλων	40
3.4 Σχεδιασμός Τεχνικών Χαρακτηριστικών Έργου Αντλησιοταμίευσης.....	43
3.5 Λειτουργίες Παραγωγής και Αντλησης.....	47
3.6 Αναστρέψιμοι ΥΗΣ στην Ελλάδα.....	49
3.7 Raccoon Mountain	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	57
ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΟΥΣ	57
4.1 Υβριδικόί Σταθμοί.....	57
4.2 Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας – Ναέρας Project.....	58
4.3 Υβριδικό Ενεργειακό Έργο El Hierro – Gorona del Viento Project	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	70
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ενέργεια - Σημασία για την καθημερινή ζωή και την οικονομική ανάπτυξη

Οι καθημερινές δραστηριότητες των ανθρώπων στο σύνολο τους (οικιακές εφαρμογές, εφαρμογές στη βιομηχανία, στις βιοτεχνίες και οπουδήποτε αλλού) πραγματοποιούνται με τη χρήση κάποιας μορφής ενέργειας (ηλεκτρισμός, χημική ενέργεια, θερμική ενέργεια κλπ.). Επομένως η ενέργεια αποτελεί βασικό παράγοντα για κάθε πράγμα στη ζωή μας και έχει άμεση σχέση με την οικονομική ανάπτυξη, με το πορτοφόλι και την καθημερινότητα του καθενός μας. Το γεγονός αυτό, αλλά και η σημερινή εξέλιξη της τιμής των υγρών και στερεών καυσίμων που έχει φτάσει σε απίστευτα ύψη και έχει κάνει πολύ δύσκολη τη ζωή μας, κάνει τη διαπίστωση αυτή κάτι περισσότερο από αυτονόητη.

Σχεδόν κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα εξαρτάται από την ενέργεια. Το επίπεδο ευημερίας που έχουμε σήμερα κατακτήθηκε χάρη στην άφθονη και φθηνή ενέργεια που απολαμβάνει σημαντικό τμήμα της ανθρωπότητας. Η ενέργεια μάς ζεσταίνει, μας δίνει φως, κινεί τα αυτοκίνητα, τα αεροπλάνα, τα εργοστάσια. Μεταβολές στην προσφορά της ενέργειας ή της τιμής της μπορεί να έχουν τεράστιες επιπτώσεις στην οικονομία και στην ποιότητα ζωής κάθε χώρας. Αυτό έγινε καθαρό με το σκληρότερο τρόπο στη δεκαετία του 70 με τις δύο ενεργειακές κρίσεις, όταν η ανθρωπότητα έμαθε με οδυνηρό τρόπο τη λέξη «ενέργεια».

Συγχρόνως, η ενεργειακή κατανάλωση συνδέεται άμεσα με την οικολογική ισορροπία του πλανήτη μας. Η παραγωγή ενέργειας σε όλα τα στάδιά της προκαλεί την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το φαινόμενο της όξινης βροχής όπως και αυτό της τρύπας του όζοντος είναι ειδήσεις που μας απασχολούν, ενώ προβάλλονται στα μαζικά μέσα ενημέρωσης. Οι επιπτώσεις αυτές που προκαλούνται από τη χρήση της

ενέργειας μπορούν να περιοριστούν σημαντικά με την εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη λήψη μέτρων για μαζική εξοικονόμηση ενέργειας.

Το πρόβλημα της ενέργειας, εκτός από τη τιμή της (υπάρχει ανάγκη για φθηνή ενέργεια για όλους) αλλά και των επιπτώσεων στο περιβάλλον (ενέργεια με το μικρότερο περιβαλλοντικό κόστος), υπάρχει και μια τρίτη συνιστώσα: η εξάντληση συμβατικών καυσίμων, όπως ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, αλλά και τα πυρηνικά καύσιμα. Η ενέργεια είναι μία απροσδιόριστη έννοια, την οποία όμως σε γενικές γραμμές μπορούμε να την αντιληφθούμε. Παραδείγματος χάρη, μπορούμε να αντιληφθούμε την μεταφοράς θερμότητας. Από φυσικής άποψης, ο όρος «ενέργεια» είναι η παραγωγή έργου μέσω ενός συστήματος σε ένα άλλο σύστημα, με τον όρο έργο να εννοούμε το γινόμενο μιας δύναμης επί της απόστασης στην οποία δρα αυτή η δύναμη.

Η οικονομική κατάσταση μιας κοινωνίας, όπως φαίνεται από το κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την κατανάλωση ενέργειας. Μετά το 2000 η ανθρωπότητα βρίσκεται αντιμέτωπη με ένα μεγάλο ενεργειακό αδιέξοδο, που αποτελείται από τις παρακάτω συνιστώσες: Ο πληθυσμός της Γης σήμερα έχει φτάσει πάνω από τα 7 δισεκατομμύρια και προβλέπεται ότι ίσως να ξεπεράσει τα 10 δισεκατομμύρια στα επόμενα 30 χρόνια. Το μεγαλύτερο ποσοστό των ανθρώπων ζουν σε συνθήκες που χαρακτηρίζονται από ανεπαρκείς έως και χειρίστες. Η σημερινή λογική που επικρατεί για την ανάπτυξη και τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου βασίσθηκε στην τεράστια χρήση μεγάλων ποσοτήτων φθηνών ενεργειακών πόρων.

Στις μέρες όμως, δύο είναι οι κύριες κατευθύνσεις που θα πρέπει να δώσουν κάποια σημαντική λύση στο να περιοριστεί το περιβαλλοντικό πρόβλημα ώστε να μπορέσουν και οι επόμενες γενιές να κληρονομήσουν σημαντικές ποσότητες ορυκτών καυσίμων. Τέτοιες κατευθύνσεις είναι: 1) Η σωστή διαχείριση της ενέργειας και η βελτίωση της απόδοσης των ενεργειακών μετατροπών, η μείωση απωλειών θερμότητας, η αντικατάσταση διεργασιών και συσκευών που καταναλώνουν πολλή ενέργεια κτλ. και 2) Η ανάπτυξη και εξέλιξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), ώστε να αντικαταστήσουν τουλάχιστον το 50% των ορυκτών καυσίμων. [1, 2, 3, 4]

1.2 Στροφή στις ΑΠΕ

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται καθαρά από φυσικά φαινόμενα, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, ο κύκλος του νερού και άλλοι. Ο όρος ανανεώνεται από τα δύο βασικά χαρακτηριστικά τους. Αρχικά, από το ότι για την εκμετάλλευσή τους δεν είναι απαραίτητη κάποια ενεργητική παρέμβαση όπως η άντληση, η εξόρυξη, η καύση, όπως συμβαίνει με τις υπόλοιπες πηγές ενέργειας, αλλά μόνο η εκμετάλλευση της ροής ενέργειας στη φύση, η οποία υπάρχει ήδη. Επίσης, οι ΑΠΕ είναι μορφές ενέργειας, χαρακτηριζόμενες ως πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς δεν απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα, τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως συμβαίνει με τις υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται ευρέως.

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια, η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης αλλά και οι πετρελαϊκές κρίσεις έχουν στρέψει το ενεργειακό ενδιαφέρον προς τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Το σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα έκανε το ενδιαφέρον αυτό πιο έντονο, καθώς οι ΑΠΕ είναι οι μοναδικές πηγές ενέργειας που δεν βλάπτουν το περιβάλλον από εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).

Ακόμη οι κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο αναπτύσσουν νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας των τελευταίων ετών, που προωθούν αυτές τις εσωτερικές πολιτικές και θέτουν σημαντικές προσδοκίες στην ανανεώσιμη ενέργεια ως σημαντική τεχνολογία για τη μείωση του περιβαλλοντικού προβλήματος της ενέργειας και την αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής.

Αναπόφευκτα όμως στην χώρα μας υιοθετούνται οι πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, χωρίς όμως να προσαρμόζονται στα δεδομένα της χώρας. Κατά συνέπεια λοιπόν, έχουν υλοποιηθεί προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας, εισαγωγής και εκμετάλλευσης ΑΠΕ, παραγωγής βιοκαυσίμων, τα οποία όμως δεν είχαν το απαιτούμενο μέγεθος παρέμβασης, αλλά και ταυτόχρονα δεν συνοδεύονταν από συγκεκριμένους και ποσοτικοποιημένους στόχους, με αποτέλεσμα να μην προκύπτουν σημαντικές μεταβολές στο εγχώριο ενεργειακό ισοζύγιο. Είναι γεγονός πως η Ελλάδα διαθέτει σημαντικό δυναμικό σε ΑΠΕ ,

το οποίο είναι άμεσα απαραίτητο να αξιοποιηθεί σε συνδυασμό με σημαντικές δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Έτσι η σταδιακή αλλαγή του ενεργειακού συστήματος της χώρας από την εξοικονόμηση ενέργειας και από την ανάπτυξη των ΑΠΕ, δεν είναι μόνο αποτελεσματική αλλά και αναγκαία για τη συνολική αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος. Τα υπόλοιπα προβλήματα όπως ρύπανση του περιβάλλοντος, ανεπάρκεια και εξαντλησιμότητα του νερού, οι χαμηλοί ρυθμοί ανάπτυξης σπατάλη φυσικών πόρων κ.ά., θα αρχίσουν να υποχωρούν ανάλογα βέβαια και με το βαθμό της αλλαγής του ενεργειακού συστήματος.

Σήμερα, ο βασικός περιορισμός για την αξιοποίηση και τη διεύθυνση των ΑΠΕ αποτελεί το υψηλότερο αρχικό κόστος, το οποίο ασφαλώς εξαρτάται και από το επίπεδο της τεχνολογίας. Βέβαια, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σημαντική μείωση στο κόστος της ανανεώσιμης ενέργειας και πολλές τεχνολογίες ΑΠΕ είναι ανταγωνιστικές ακόμα και ως προς τα ορυκτά καύσιμα, πόσο μάλλον αν λάβουμε υπόψιν παραμέτρους όπως το περιβάλλον, η ασφάλεια, η ενεργειακή ανεξάρτηση κ.ά.

Οι ΑΠΕ χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κατά κύριο λόγο για θέρμανση) είτε μετατρέπομενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το εκμεταλλεύσιμο δυναμικό ενέργειας που προέρχεται από τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με την παγκόσμια συνολική κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο, η υψηλή τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής, αλλά και οι πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που σχετίζονται με τη διατήρηση της παρούσας κατάστασης στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού. Ειδικά στην Ελλάδα, όπου η μορφολογία και το κλίμα είναι κατάλληλα για νέες, τέτοιου είδους, ενεργειακές εφαρμογές, η εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα βοηθούσε σε σημαντικό βαθμό στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

Είδη ΑΠΕ

Τις διάφορες μορφές ΑΠΕ με βάση την προέλευση τους, την πυκνότητα τους αλλά και τον φορέα της ενέργειας μπορούμε να τις κατατάξουμε σε κατηγορίες. Θα αρκεστούμε

ωστόσο στην παρατήρηση πως εξαιρουμένης της παλιρροιακής ενέργειας των θαλασσών, η οποία οφείλεται στην περιστροφή της γης και την έλξη της από τους άλλους πλανήτες, οι υπόλοιπες μορφές προέρχονται από την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Έτσι στις ήπιες μορφές ενέργειας συμπεριλαμβάνονται οι εξής :

1. **Αιολική Ενέργεια** : ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η πηγή αυτής της ενέργειας είναι στην ουσία ανεξάντλητη, ανανεώνεται συνεχώς και για αυτό ονομάζεται ανανεώσιμη. Τα σύγχρονα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας αφορούν σχεδόν αποκλειστικά μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται ανεμογεννήτριες.
2. **Βιομάζα** : Χρησιμοποιεί υδατάνθρακες των φυτών (απόβλητα της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε από το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές, που θα χρησιμοποιηθεί ευρέως στο μέλλον.
3. **Γεωθερμική Ενέργεια** : ονομάζεται η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Η ενέργεια αυτή σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής.
4. **Ηλιακή Ενέργεια και Φωτοβολταϊκά**: Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές(ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια και, εδώ και πολλά χρόνια, χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση μη διασυνδεδεμένων στο ηλεκτρικό δίκτυο καταναλώσεων. Δορυφόροι, φάροι και απομονωμένα σπίτια χρησιμοποιούν παραδοσιακά τα φωτοβολταϊκά για την ηλεκτροδότησή τους.

5. **Υδροηλεκτρική ενέργεια** : είναι η ενέργεια που αποθηκεύεται ως δυναμική ενέργεια με τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά από τη συνέχιση της ροής του ελεύθερου νερού, και μετατρέπεται σε κινητική μέσω της υδατόπτωσης. Η κινητική ενέργεια, στη συνέχεια, μπορεί είτε να χρησιμοποιείται αυτούσια επιτόπου (π.χ. νερόμυλοι), είτε να μετατρέπεται σε ηλεκτρική ή άλλες μορφές, που την αποθηκεύουν, ώστε τελικά να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις. Στον κύκλο του νερού η ενέργεια προέρχεται κυρίως από τον ήλιο που εξατμίζει στην ατμόσφαιρα, μεγάλες ποσότητες νερού. Η εκμετάλλευση της ενέργειας στον κύκλο αυτό γίνεται με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων (υδατοταμιευτήρες, φράγματα, κλειστοί αγωγοί πτώσεως, υδροστρόβιλοι, ηλεκτρογεννήτριες, διώρυγες φυγής). [1, 2, 3, 4]

1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Οι ΑΕΠ συγκεντρώνουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα που αφορούν κυρίως τη οικονομική τους βιωσιμότητα και την επενδυτική τους απόδοση. Συνοπτικά μπορούμε να αναφέρουμε τα παρακάτω:

Πλεονεκτήματα

- Είναι ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στον περιορισμό της χρήσης εξαντλήσιμων ενεργειακών πόρων. Κατά συνέπεια δίνεται η δυνατότητα να υπάρχει ενεργειακή ανεξαρτησία των χωρών με περιορισμό των εισαγωγών ενέργειας και επιπλέον να δημιουργηθεί απόθεμα ορυκτών πόρων.
- Έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας.

- Προσφέρουν οικονομική ανάπτυξη των περιοχών στις οποίες κατασκευάζονται μονάδες ΑΠΕ, δημιουργώντας θέσεις εργασίας και προσελκύοντας νέες επενδύσεις.
- Μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, μειώνοντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας αλλά και για μεταφορά ενέργειας σε μακρινές αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός που χρειάζεται για την κατασκευή τους είναι σχετικά απλός, συντηρείται εύκολα και έχει μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η εκμετάλλευσή τους επικροτείται από το ευρύ κοινό.

Μειονεκτήματα

- Είναι αδύνατον λόγω της άμεσης εξάρτησής τους από τα καιρικά φαινόμενα και τις αλλαγές των εποχών, να καλύψουν αποκλειστικά την ποσότητα ζήτησης του συστήματος.
- Το κόστος επένδυσης τους είναι μεγαλύτερο από αυτό των συμβατικών μονάδων καθώς και ο συντελεστής απόδοσής τους είναι της τάξης του 30%.
- Υπάρχει περίπτωση πιθανής δυσκολίας στην εύρεση περιοχών που να καλύπτουν προϋποθέσεις (κατάλληλες κλιματολογικές και γεωλογικές συνθήκες) ώστε να κατασκευαστεί μία μονάδα ΑΠΕ.
- Υπάρχει η άποψη πως σχετικά με τις ανεμογεννήτριες προκαλούν θόρυβο και θάνατο πουλιών, γεγονός που μπορεί να αντιμετωπιστεί με την καλύτερη επιλογή τοποθεσίας εγκατάστασης όπως σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα.

- Οι υδροηλεκτρικές μονάδες υπάρχει η πεποίθηση πως συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου μέσω της έκλυσης μεθανίου που προκαλεί η αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό. [1, 2, 3, 4]

1.4 Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα / Σύστημα Ηλεκτροπαραγωγής

Από το 1965 έως και σήμερα η Ελλάδα παρουσιάζει μια αύξηση στην κατανάλωση της πρωτογενούς ενέργειας. Η ζήτηση της ενέργειας στη χώρα μας μέσα σε αυτό το διάστημα έγινε 5 φορές μεγαλύτερη με την αντίστοιχη αύξηση στην ΕΕ να είναι στο 1,8 και 2,7 σε όλο τον κόσμο.

Στη χώρα μας υπάρχει μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση από την εισαγωγή πετρελαίου (Ιράν, Ρωσία, Σαουδική Αραβία), το οποίο στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας συμμετέχει στο 55%, ενώ ταυτόχρονα η παραγωγή πετρελαίου στη χώρα καλύπτει ένα πολύ μικρό ποσοστό της ζήτησης. Επίσης η Ελλάδα εκτός από πετρέλαιο εισάγει και φυσικό αέριο (Ρωσία, Αζερμπαϊτζάν, Αλγερία) το οποίο συμμετέχει με ένα ποσοστό κοντά στο 10% στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η χώρα μας να παράγει μόλις το 35% της ενέργειας που καταναλώνει με τον λιγνίτη να είναι το μοναδικό εγχώριο ορυκτό καύσιμο που χρησιμοποιείται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια οι ΑΠΕ αλλά και οι μονάδες φυσικού αερίου έχουν περιορίσει τον ρόλο των λιγνιτικών μονάδων.

➤ *Θερμικές Μονάδες*

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα ανέρχεται σε 17,5 GW. Η πλειονότητα του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (53% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος) αποτελείται

από θερμικές μονάδες, οι οποίες περιλαμβάνουν λιγνιτικές μονάδες και μονάδες φυσικού αερίου. Οι μονάδες αυτές καλύπτουν και το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι κύριοι λιγνιτικοί σταθμοί βρίσκονται, στη βόρεια Ελλάδα, στην περιοχή της Πτολεμαΐδας και στη περιοχή της Μεγαλόπολης της Πελοποννήσου. Οι μονάδες φυσικού αερίου βρίσκονται κυρίως στην Αττική, όπου συγκεντρώνεται περίπου το 30% της συνολικής κατανάλωσης του συστήματος .

➤ *Υδροηλεκτρικές Μονάδες*

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί βρίσκονται κυρίως στη βόρεια και δυτική Ελλάδα. Ενώ η εγκατεστημένη ισχύς των υδροηλεκτρικών μονάδων στο Ελληνικό σύστημα είναι της τάξης του 18%, η συνεισφορά τους στο ενεργειακό ισοζύγιο είναι σχετικά μικρή. Η περιορισμένη διαθεσιμότητα νερών έχει ως αποτέλεσμα οι υδροηλεκτρικές μονάδες να χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την κάλυψη των ωρών αιχμής.

➤ ΑΠΕ

Η Ελλάδα τα τελευταία χρόνια χάρη σε μια σειρά αλλαγών στο θεσμικό πλαίσιο αδιοδότησης και χρήσης συστημάτων ΑΠΕ έχει καταφέρει να παρουσιάσει ανάπτυξη στον τομέα της αξιοποίησης των τεχνολογιών αυτών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύνολο παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ το 2017 φτάνει περίπου στις 9,4εκ MWh όπως φαίνεται στο Γράφημα 1.1. [1, 2, 4]



Γράφημα 1.1: Σύνολο παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ ανά τα χρόνια[4]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ

2.1 Υδροηλεκτρική Ενέργεια-Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί

Το 72% της επιφάνειας της Γης καλύπτεται από νερό, γεγονός που μας δείχνει πόσο σημαντικό είναι ο άνθρωπος να εκμεταλλευτεί την ύπαρξη και τις ιδιότητες του νερού για να καλύψει τις ενεργειακές του ανάγκες και όχι μόνο. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί το νερό είναι η υδροηλεκτρική ή υδραυλική ενέργεια που αποτελεί και την συνηθέστερη και πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια στηρίζεται στη μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια, της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας των ποταμών, αποτελώντας ουσιαστικά μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.

Οι μονάδες παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας βασίζονται στην κύλιση του νερού που περιστρέφει μια τουρμπίνα η οποία θέτει σε λειτουργία μια γεννήτρια. Οι περισσότερες υδροηλεκτρικές μονάδες χρησιμοποιούν ένα φράγμα το οποίο συγκρατεί μια μεγάλη ποσότητα νερού δημιουργώντας έτσι μια μεγάλη δεξαμενή. Οι θύρες του φράγματος ανοίγουν και λόγω το νερό εκμεταλλεζόμενο τη βαρύτητα περνάει σε έναν αγωγό μέσω του οποίου οδηγείται σε μια τουρμπίνα. Όταν το νερό περνάει μέσα από τον αγωγό αποκτά μεγάλη πίεση και πέφτει πάνω στις φτερωτές της τουρμπίνας και την οδηγεί σε περιστροφή. Η περιστροφική κίνηση της τουρμπίνας μεταφέρεται στην γεννήτρια με την οποία είναι συνδεδεμένη με ένα άξονα. Η τουρμπίνα συνήθως ζυγίζει μέχρι 172 τόνους και κάνει ακόμη και 90 περιστροφές το λεπτό. Με την περιστροφή της τουρμπίνας, οι μαγνήτες της γεννήτριας γυρίζουν με τη σειρά τους γύρω από ένα πηνίο κινητοποιώντας ηλεκτρόνια και δημιουργώντας εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Ο μετασχηματιστής στη συνέχεια μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε ρεύμα υψηλής τάσης. Έξω από κάθε υδροηλεκτρική μονάδα υπάρχουν τέσσερα καλώδια που αποτελούνται από τις τρεις φάσεις

του ρεύματος που δημιουργούνται ταυτόχρονα και τη γείωση. Το νερό που υπάρχει στη δεξαμενή θεωρείται ένα είδος αποθηκευμένης ενέργειας. Όταν ανοίξουν οι θύρες του φράγματος το νερό το οποίο περνά μέσα από τον αγωγό γίνεται κινητική ενέργεια λόγω της κίνησής του. Έτσι η ποσότητα του ηλεκτρισμού που παράγεται καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες. Ο ένας από αυτούς είναι ο όγκος του νερού που πέφτει και ένας άλλος η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του νερού και της τουρμπίνας. Όσο ο όγκος του νερού αυξάνεται και η απόσταση αυτή μεγαλώνει τόσο αυξάνεται και το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Το μέγεθος της απόστασης της επιφάνειας του νερού και της τουρμπίνας και κατά επέκταση η ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που υπάρχει στη δεξαμενή. Επομένως οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί κατασκευάζονται σε περιοχές που παρατηρούνται πολλές βροχοπτώσεις, είναι πλούσιες πηγές νερού και με κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες.

Τύποι Υδροηλεκτρικών Σταθμών

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί διακρίνονται στις εξής κατηγορίες :

1) Ροής ποταμού

Τέτοιου είδους σταθμοί δεν χρησιμοποιούν αποθηκευμένο νερό για την περιστροφή του στροβίλου. Αποτέλεσμα αυτού είναι να παρατηρούνται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και την αλλαγή των εποχών διακυμάνσεις στην παραγόμενη ισχύ. Τέτοιοι σταθμοί κατασκευάζονται σε περιοχές που δεν μπορούν να κατασκευαστούν φράγματα και σε ποτάμια με μεγάλη ροή.

2) Αποθήκευσης νερού

Είναι σταθμοί οι οποίοι εκμεταλλεύονται την ύπαρξη συνήθως μίας τεχνητής λίμνης με φράγμα, στην οποία αποθηκεύεται νερό ώστε ο σταθμός να παράγει σταθερή ισχύ ηλεκτρικού ρεύματος όλο το έτος ασχέτως των εποχιακών μεταβολών. Τέτοιου είδους υδροηλεκτρικοί

σταθμοί είναι και οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί αποθήκευσης νερού με άντληση, που θα εξετάσουμε αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να επαναχρησιμοποιήσουν το νερό. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διάθεση δύο ταμιευτήρων. Το νερό φεύγει από τον πρώτο υψηλό ταμιευτήρα περνάει και περιστρέφει τον στρόβιλο παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα και καταλήγει στον δεύτερο, χαμηλό ταμιευτήρα όπου αποθηκεύεται και πάλι. Σε περιόδους μικρής ζήτησης ηλεκτρισμού το ίδιο νερό επιστρέφει στον άνω ταμιευτήρα με αντίστροφη λειτουργία των στροβίλων που λειτουργούν ως αντλίες.

Υπολογισμός Δυναμικού

Σε μία υδροηλεκτρική μονάδα όπως αναλύσαμε πιο πάνω, το νερό το οποίο βρίσκεται σε ένα υψηλό επίπεδο ύψους H , πέφτει και η δυναμική του ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική μέσω της περιστροφής του στροβίλου και στη συνέχεια ο άξονας που περιστρέφεται οδηγεί την ηλεκτρική ενέργεια παράγοντας ηλεκτρισμό. Ο υπολογισμός της ισχύος που διαθέτει μία μάζα νερού που πέφτει από ένα ύψος υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο :

$$P = Q * \rho * g * H$$

Όπου

- P: ισχύς
- Q: Παροχή όγκου νερού
- g: Επιτάχυνση της βαρύτητας
- ρ : Πυκνότητα νερού
- H: Ύψος

Από τον παραπάνω τύπο συμπεραίνουμε πως πρέπει να υπάρχει σταθερή παροχή νερού ώστε να έχουμε σταθερή παραγόμενη ισχύς. Γεγονός που σημαίνει πως είναι αναγκαία η ύπαρξη ενός φράγματος και στάθμη βροχόπτωσης συνήθως όχι μικρότερη από 400mm/έτος.

Κύρια μέρη υδροηλεκτρικού σταθμού

Τα βασικά τμήματα μίας υδροηλεκτρικής μονάδας είναι τα εξής :

- Φράγμα: κατασκευάζεται για να ανακόψει τη ροή του νερού με σκοπό την δημιουργία ταμιευτήρα και την αποθήκευση νερού για μελλοντική χρήση.
- Ταμιευτήρας : είναι η δεξαμενή αποθήκευσης του νερού, δηλαδή του διαθέσιμου ενεργειακού δυναμικού.
- Σύστημα μεταφοράς, το οποίο περιλαμβάνει την υδροληψία και όλο το κύκλωμα μεταφοράς του νερού (κανάλι μεταφοράς, αγωγός πτώσης, σήραγγες, έξοδος). Σε αυτή τη φάση γίνεται η μετατροπή της διαθέσιμης δυναμικής ενέργειας σε κινητική.
- Στρόβιλος: εκεί όπου η κινητική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε μηχανική
- Γεννήτρια: η μηχανική ενέργεια προκαλεί την περιστροφή του στροφέα της γεννήτριας και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, εκμεταλλευόμενοι τους ηλεκτρομαγνητικούς νόμους.
- Γραμμή σύνδεσης με το δίκτυο: η ηλεκτρική ενέργεια μέσω του μετασχηματιστή μετασχηματίζεται και συνδέεται με το δίκτυο. [5, 6]

Στο Σχήμα 2.1 μπορούμε να διακρίνουμε τα κύρια μέρη ενός Υδροηλεκτρικού σταθμού.



Σχήμα 2.1: Τα κύρια μέρη ενός Υ/Η σταθμού[5]

2.2 Φράγματα

Φράγμα είναι τεχνικό έργο που κατασκευάζεται κάθετα στην κοίτη της φυσικού ρεύματος για να ανακόψει τη συνέχεια της ροής με σκοπό την αποθήκευση του νερού για μελλοντική χρησιμοποίησή του.

Πιθανοί λόγοι της κατασκευής φράγματος είναι:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Υδρευση οικισμών, αστικών και ημιαστικών περιοχών και βιομηχανικών μονάδων
- Άρδευση αγροτεμαχίων
- Αντιπλημμυρική προστασία
- Έλεγχος της παροχής των υδατορευμάτων

Πολύ συχνά συναντώνται τα φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας, δηλαδή φράγματα τα οποία εξυπηρετούν περισσότερους από ένα απ' τους παραπάνω σκοπούς. Για παράδειγμα,

το φράγμα του Ταυρωπού στην Καρδίτσα χρησιμοποιεί το νερό της λίμνης που δημιουργήθηκε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (υδροηλεκτρικός σταθμός Ταυρωπού), για την ύδρευση της πόλης της Καρδίτσας και των γύρω περιοχών και για την άρδευση 150.000 στρεμμάτων της πεδιάδας της Καρδίτσας.

Από τα προϊστορικά χρόνια ο άνθρωπος κατασκεύαζε φράγματα, ανάγοντάς τα σε ένα απ' τα πρώτα τεχνικά επιτεύγματα του. Τα φράγματα στους ποταμούς Ιορδάνη και Τίγρη θεωρούνται απ' τα παλαιότερα φράγματα. Στον ποταμό Νείλο της Αιγύπτου το 4.000 π.χ. δημιουργήθηκε φράγμα, το οποίο διατηρήθηκε περίπου 4.500 χρόνια.

Παρότι τα φράγματα είναι δαπανηρά έργα, μακροπρόθεσμα εμφανίζουν μεγάλα οικονομικά οφέλη και γι' αυτό επιδιώκεται η κατασκευή τους.

Για να κατασκευαστεί ένα φράγμα γίνεται μελέτη, ανάλογα και με ποιον σκοπό θα εξυπηρετήσει, ώστε να βρεθεί ο καλύτερος τύπος φράγματος καθώς και οι διαστάσεις του. Κάθε φράγμα αποτελεί διαφορετικό έργο εξαιτίας των διαφορετικών γεωλογικών καταστάσεων, του σκοπού του φράγματος και των διαθέσιμων υλικών, οπότε τα φράγματα είναι έργα που διαφοροποιούνται σε κάθε περίπτωση.

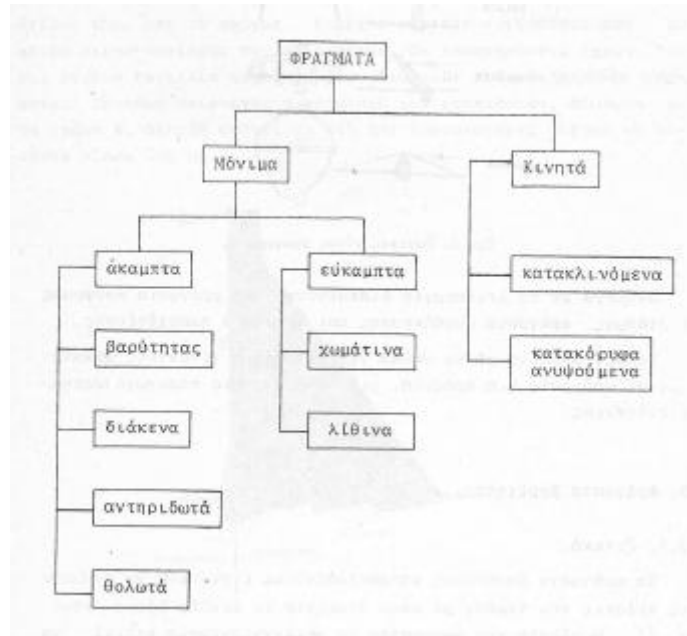
Όταν κατασκευάζεται ένα φράγμα και παράλληλα δημιουργείται μια τεχνητή λίμνη πραγματοποιούνται μεγάλες και έντονες διαταραχές στο φυσικό περιβάλλον, εξαιτίας της συσσώρευσης τεράστιας ποσότητας νερού, η οποία επιφέρει καταπόνηση του υπεδάφους λόγω των αναπτυσσόμενων πιέσεων. Αυτή η συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων νερού μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα διαβρώσεων, διαρροών ή ακόμα και κατολισθήσεων στην περιοχή του φράγματος, φαινόμενα τα οποία αν δεν προβλεφθούν ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, μπορούν να οδηγήσουν στην καταστροφή του φράγματος.

Κατηγοριοποίηση Φραγμάτων

Τα φράγματα διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την κατασκευή τους, τη λειτουργία τους, τη σκοπιμότητά τους (όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα).

Ανάλογα με τη λειτουργία διακρίνονται σε φράγματα ανύψωσης της στάθμης , φράγματα αποθήκευσης και φράγματα παροχέτευσης.

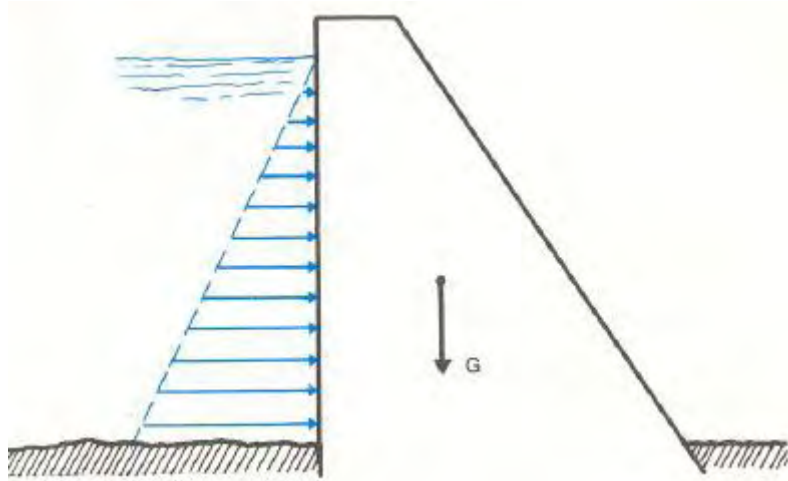
Από κατασκευαστική πλευρά κατατάσσονται σύμφωνα με το Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2: Η κατηγοριοποίηση των φραγμάτων[7]

Φράγματα βαρύτητας

Τα φράγματα βαρύτητας έχουν συνήθως ως βασικό υλικό κατασκευής το σκυρόδεμα και το σχήμα μιας κατακόρυφης τομής ενός αντιστοιχεί περίπου στην κατανομή των υδροστατικών πιέσεων. Η ευστάθεια του φράγματος βαρύτητας επιτυγχάνεται από την πρόσφυσή του στο έδαφος, που οφείλεται στο ίδιο του το βάρος. Το πλάτος της βάσης ενός φράγματος βαρύτητας, κυμαίνεται μεταξύ 70 και 100% του ύψους του, με πιο συνηθισμένη τιμή το 80% του ύψους. Σε κάτοψη, παρουσιάζουν καμπύλη ή ευθύγραμμη μορφή. Η καμπύλη μορφή δεν προσφέρει μεγάλα πλεονεκτήματα, γι' αυτό το λόγο στη σημερινή εποχή κατασκευάζονται σε ευθύγραμμη μορφή, η οποία είναι ευκολότερη κ φθηνότερη. Το Σχήμα 2.3 δείχνει την τομή ενός φράγματος βαρύτητας.



Σχήμα 2.3: Τομή φράγματος βαρύτητας[7]

Τα φράγματα βαρύτητας είναι συμπαγείς σχεδόν τριγωνικές κατασκευές που εξαιτίας του βάρους τους αντέχουν τις οριζόντιες και κατακόρυφες αναπτυσσόμενες δυνάμεις.

Σε ένα φράγμα βαρύτητας ασκούνται οι εξής δυνάμεις:

- 1) Βάρος του φράγματος: Αποτελεί τη μεγαλύτερη δύναμη με διεύθυνση κατακόρυφη, η οποία με την ύπαρξή της, αντισταθμίζει όσες δυνάμεις τείνουν να καταστρέψουν το φράγμα.
- 2) Η πίεση του νερού : Η συνισταμένη δύναμη που ασκείται στο κατακόρυφο πλευρικό τοίχωμα του φράγματος.
- 3) Άνοση : Οφείλεται στην υποπίεση του νερού που δημιουργείται κάτω από το φράγμα. Ανεξάρτητα από τα μέτρα στεγανοποίησης που παίρνονται, υπάρχει πάντοτε. Παρατηρείται μεγάλη ποικιλία αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφόρων περιπτώσεων φραγμάτων.
- 4) Πίεση των φερτών υλών. (Δεν υπολογίζεται, καθώς είναι συνήθως μικρή)
- 5) Πίεση των πάγων

6) Σεισμικές δονήσεις

7) Σεισμική πίεση του νερού

Στον πίνακα 2.1 φαίνονται μερικά από τα μεγαλύτερα φράγματα βαρύτητας στον κόσμο.

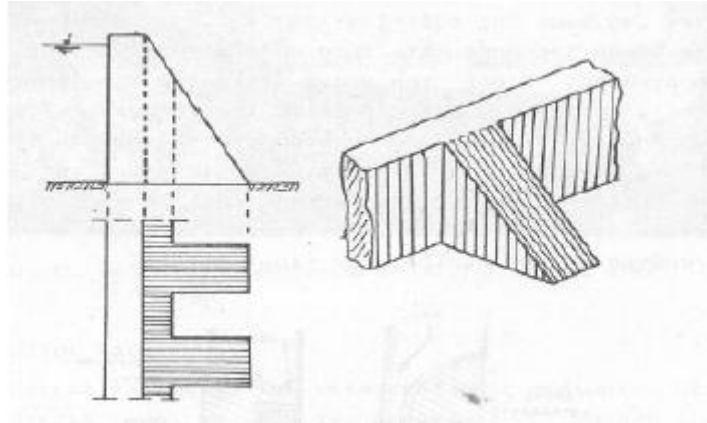
Πίνακας 2.1: Μερικά απ' τα μεγαλύτερα φράγματα βαρύτητας στον κόσμο[7]

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΧΩΡΑ	ΟΓΚΟΣ ΣΕ 10 ³ Μ ³	ΥΨΟΣ ΣΕ Μ	ΜΗΚΟΣ ΣΕ Μ	ΠΛΑΤΟΣ ΣΤΕΨΗΣ ΣΕ Μ	ΠΛΑΤΟΣ ΒΑΣΗΣ ΣΕ Μ	ΟΓΚΟΣ ΛΙΜΝΗΣ ΣΕ Μ ³
Grand coulee	Η.Π.Α.	7.450	168	1.270	9,2	122	11,7*10 ⁹
Bratsk	Ρωσία	4.800	125	1.500	-	-	169*10 ⁹
Shasta	Η.Π.Α.	4.765	184	1.055	9,2	173	5,4*10 ⁹
Solina	Πολωνία	2.034	80	805	-	-	4,94*10 ⁸
Friant	Η.Π.Α.	1.550	97	1.060	6,1	82	6,4*10 ⁸
Guri	Βενεζου.	1.470	106	695	-	-	17,6*10 ⁸
Norris	Η.Π.Α.	916	81	480	6,1	62	3,35*10 ⁸
New Croton	Η.Π.Α.	654	73	217	6,7	57	1,05*10 ⁸
Warsak	Πακιστάν	369	72	198	-	-	2,46*10 ⁸
Beaumont	Καναδάς	242	72	405	-	-	4,24*10 ⁸
Parambikulam	Ινδία	230	73	320	-	-	9,03*10 ⁸
Somerset	Αυστραλ.	205	50	282	-	-	8,92*10 ⁸
Λούρος	Ελλάδα	12	23	97	-	5,8	37*10 ⁷

Φράγματα βαρύτητας διάκενα

Όπως αναφέρθηκε, το μεγάλο βάρος των φραγμάτων βαρύτητας είναι το βασικό στοιχείο με το οποίο τα φράγματα αυτά αντέχουν τις πιέσεις του νερού. Παράλληλα όμως επειδή και ο όγκος τους είναι πολύ μεγάλος, γεγονός που δυσκολεύει σε κάποιες περιπτώσεις την κατασκευή τους, έγιναν προσπάθειες ώστε να μειωθεί χωρίς βέβαια να προκύψει μείωση της ευστάθειας του έργου (Σχήμα 2.4). Η μείωση αυτή επετεύχθη με την αφαίρεση όγκου σκυροδέματος από το κατάντη τμήμα του φράγματος. Η αφαίρεση αυτή, εκτός από τη μείωση του όγκου του φράγματος, μειώνει παράλληλα την επιφάνεια έδρασης στην οποία ασκούνται οι υποπίεσεις του νερού.

Οπότε όσο μεγαλύτερα είναι τα διάκενα αυτά τόσο μεγαλύτερη είναι η ασφάλεια απέναντι στις υποπίεσεις του νερού. Φράγμα βαρύτητας διάκενο στην Ελλάδα είναι το φράγμα στον ποταμό Λάδωνα της Πελοποννήσου.



Σχήμα 2.4: Κάτοψη, τομή και προοπτικό σκίτσο ενός φράγματος βαρύτητας με διάκενα[7]

Φράγματα αντηριδωτά

Η προοδευτική αύξηση των κενών στα διάκενα δίνει μετά από ένα όριο τα αντηριδωτά φράγματα.

Τα αντηριδωτά φράγματα αποτελούνται από δύο μέρη:

α) Ένα λεπτό τοίχωμα με σχετικά μικρό βάρος, κάθετα στον άξονα του ρεύματος και κεκλιμένο ως προς την κατακόρυφο, το οποίο παραλαμβάνει την υδροστατική πίεση και την μεταβιβάζει στις αντηρίδες.

β) Τις αντηρίδες, με διεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα του ρεύματος, οι οποίες παραλαμβάνουν τις δυνάμεις από το παραπάνω λεπτό τοίχωμα και τις μεταφέρουν στο έδαφος. Με αυτό τον τρόπο ο όγκος του φράγματος μειώνεται μέχρι και στο 1/6 του αντίστοιχου όγκου ενός φράγματος βαρύτητας. Γενικά, αξίζει να κατασκευαστεί αντηριδωτό αντί για φράγμα βαρύτητας, όταν το προς κατασκευή φράγμα πρέπει να έχει μεγάλο μήκος και σχετικά μικρό ύψος εξαιτίας του τριγύρω φυσικού περιβάλλοντος.

Έτσι, αυτά τα φράγματα, λόγω του μικρού τους βάρους σε σχέση με τα προηγούμενα, προσφέρονται για τοποθεσίες όπου το έδαφος δεν αντέχει πολύ μεγάλο βάρος. Για να υπάρξει σχετική οικονομία στο κόστος του έργου, υπάρχει η δυνατότητα ένας υδροηλεκτρικός σταθμός να τοποθετηθεί μεταξύ των αντηρίδων του φράγματος

Ένα παράδειγμα αντηριδωτού φράγματος και συγκεκριμένα αυτό του Navann παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.5 .



Σχήμα 2.5: Το αντηριδωτό φράγμα Navann στη Νορβηγία.[7]

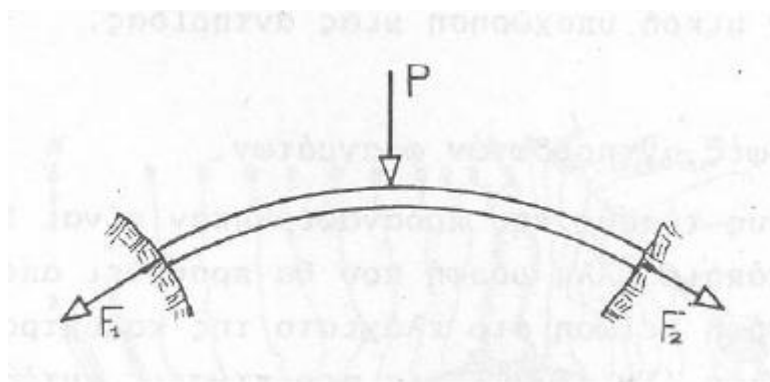
Στο πίνακα 2.2 εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά μερικών από τα μεγαλύτερα αντηριδωτά φράγματα στον κόσμο

Πίνακας 2.2: Μερικά από τα μεγαλύτερα αντηριδωτά φράγματα στο κόσμο[7]

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΧΩΡΑ	ΥΨΟΣ ΣΕ Μ	ΜΗΚΟΣ ΣΕ Μ	ΟΓΚΟΣ ΣΕ $10^3 M^3$	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΝΤΗΡΙΔΩΝ ΣΕ Μ	ΟΓΚΟΣ ΛΙΜΝΗΣ ΣΕ $10^6 M^3$
Topolnitsa	Βουλγαρία	86	338	350	-	137
Possum	Η.Π.Α.	58	500	248	12	1220
Caia	Πορτογαλία	52	376	-	-	220
Cruacham	Αγγλία	47	316	92	-	11
La Prele	Η.Π.Α.	45	101	18	5,5	29
Stony Gorge	Η.Π.Α.	42	265	29	5,5	62
Bristol	Η.Π.Α.	30	160	-	4,6	-
Tiger Creek	Η.Π.Α.	30	144	11	5,5	2

Φράγματα θολωτά

Τα θολωτά φράγματα, μια άλλη κατηγορία φραγμάτων, έχουν σε κάτοψη τοξοειδή μορφή και λειτουργούν ως αμφίπακτα τόξα. Η πίεση του νερού ασκείται στη κυρτή επιφάνεια του φράγματος και μεταβιβάζεται στα πλευρά της κοίλης περιοχής με μορφή κυρίως οριζόντιων δυνάμεων (Σχήμα 2.6). Έτσι από το έδαφος ασκούνται τάσεις που το μέγεθος τους είναι το ίδιο με τις τάσεις που δέχεται το σκυρόδεμα. Οι δυνάμεις που μεταφέρει το φράγμα στο έδαφος είναι πολύ μεγαλύτερες από εκείνες που δέχεται το έδαφος από ένα φράγμα βαρύτητας με το ίδιο ύψος.



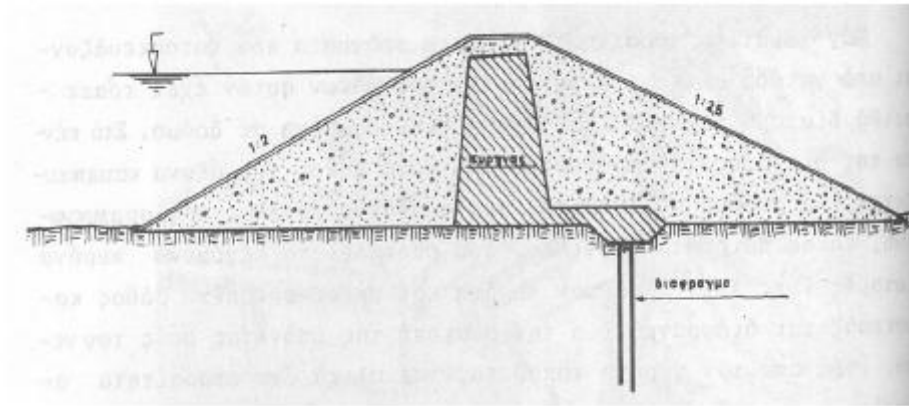
Σχήμα 2.6: Μορφή θολωτού φράγματος σε κάτοψη.[7]

Τα θολωτά φράγματα κατασκευάζονται σε βραχώδες έδαφος, το οποίο πρέπει να αποτελείται από πέτρωμα εξαιρετικής ποιότητας. Ένα θολωτό φράγμα αποτελείται από μία πλάκα απλής ή σε αρκετές περιπτώσεις διπλής καμπυλότητας μικρού πάχους, (τουλάχιστον 1,50 m), πακτωμένη στις δύο στηρίξεις της, τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το φράγμα του Ταυρωπού της Καρδίτσας. Η διατομή ενός θολωτού φράγματος είναι αρκετά λεπτή και μπορεί να φτάσει μέχρι και το 60 % του όγκου ενός φράγματος βαρύτητας.

Φράγματα χωμάτινα

Τα χωμάτινα φράγματα είναι αναχώματα κατά κάποιο τρόπο, τα οποία κατασκευάζονται από χωμάτινα και χαλικώδη υλικά με στοιχεία φυσικού ή τεχνητού υλικού αδιαπέρατου

από το νερό, ώστε να σχηματιστεί η λίμνη. Τα χωμάτινα φράγματα αποτελούν τον πρώτο τύπο φραγμάτων που έγινε γνωστός, καθώς η κατασκευή τους απαιτεί ελάχιστη γνώση μεθόδων και τεχνικών μέσων. (Σχήμα 2.7)



Σχήμα 2.7: Διατομή χωμάτινου φράγματος[7]

Κινητά φράγματα

Τα μόνιμα φράγματα επηρεάζουν το περιβάλλον στο οποίο χτίζονται και μάλιστα κάποιες φορές με αρνητικές συνέπειες. Για να αποφευχθούν, λοιπόν, κατασκευάζονται τα λεγόμενα κινητά φράγματα, δηλαδή φράγματα τα οποία λειτουργούν συγκεκριμένα μόνο χρονικά διαστήματα. Οι χειρισμοί λειτουργίας των κινητών φραγμάτων είναι γρήγοροι, σαφείς και γίνονται αυτόματα μέσω κατάλληλων διατάξεων.

Οι θυρίδες των κινητών φραγμάτων μπορεί να είναι:

α. Κατακόρυφα ανυψούμενες θυρίδες ή συρτοθύρες

β. Κυλινδρικές θυρίδες.

γ. Κατακλινόμενες θυρίδες. [7, 8, 9]

2.3 Πρόσθετα τεχνικά έργα ενός ΥΗΣ

Προκειμένου να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία ενός φράγματος σε έναν υδροηλεκτρικό σταθμό είναι αναγκαία κάποια βοηθητικά τεχνικά έργα :

- **Υπερχειλιστής:** είναι μία κατασκευή η οποία προσφέρει προστασία σε περιπτώσεις μεγάλων παροχών νερού που έχουν ως αποτέλεσμα την ανύψωση της στάθμης του νερού στον ταμιευτήρα με κίνδυνο υπερκάλυψης και τη καταστροφή των φραγμάτων. Αυτό εξασφαλίζεται επιτρέποντας το πέρασμα μεγάλων ποσοτήτων νερού από τους υπερχειλιστές. Υπάρχουν διάφοροι τύποι υπερχειλιστών με κυριότερες κατηγορίες του απλούς και τους ρυθμιζόμενους, με τους τελευταίους να διαθέτουν κινητά διαφράγματα και να δίνουν τη δυνατότητα ελέγχου της ποσότητας του νερού που πρέπει να διαφύγει. Η μορφή του υπερχειλιστή διαφέρει ανάλογα το είδος του φράγματος και της ασφάλειας που απαιτεί.(Σχήμα 2.8)



Σχήμα 2.8: Παράδειγμα υπερχειλιστή[28]

- **Εκκενωτής:** είναι σήραγγα ή αγωγός τοποθετημένος στο χαμηλότερο σημείο του ταμιευτήρα που χρησιμεύει στη ταπείνωση της στάθμης του ταμιευτήρα ή και στην εκκένωση αυτού. Ο αγωγός αυτός ενεργοποιείται όταν υπάρχει πρόβλημα στο έργο και υπάρχει ανάγκη εκκένωσης του. Σε αρκετές περιπτώσεις η σήραγγα

αυτή κατά τη κατασκευή του έργου χρησιμοποιείται και ως σήραγγα εκτροπής. Επίσης σε πολλά φράγματα έχει κοινό μήκος με τις σήραγγες υπερχειλίσης.

- **Υδροληψία:** είναι εγκαταστάσεις που ελέγχουν και ρυθμίζουν τη ποσότητα του νερού που φεύγει από το ταμιευτήρα προς το σύστημα προσαγωγής. Οι υδροληψίες αποτελούνται από τα παρακάτω εξαρτήματα:

α) σχάρες που συγκρατούν τα φερτά και τα εμποδίζουν να περάσουν στο σύστημα προσαγωγής.

β) θύρες που ρυθμίζουν τη ποσότητα του νερού που διοχετεύεται.

γ) δοκούς που φράζουν όταν χρειάζεται τη ροή του νερού.

δ) αεραγωγό

ε) σύστημα καθαρισμού των εσχαρών και

στ) πλωτό σύστημα προστασίας.

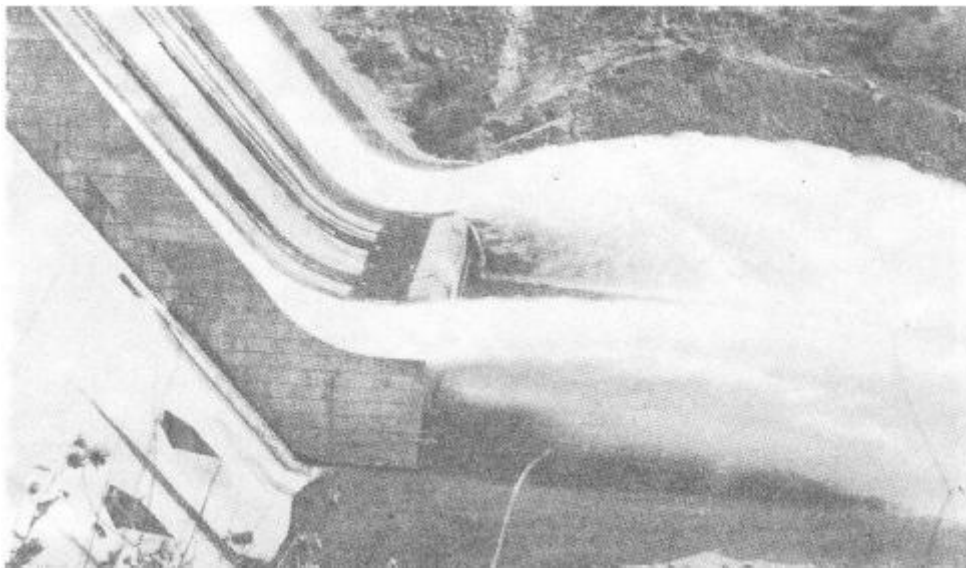
Διακρίνονται σε υδροληψίες υψηλής και χαμηλής πίεσης. Οι χαμηλής πίεσης χρησιμοποιούνται σε έργα με ημερήσια ή εβδομαδιαία ρύθμιση στα οποία οι διακυμάνσεις στη στάθμη του νερού είναι μικρές. Αντίθετα οι υψηλής πίεσης χρησιμοποιούνται σε έργα ετήσιας ρύθμισης όπου οι μεταβολές στη στάθμη είναι συχνές και σημαντικές.

- **Διατάξεις μείωσης της ενέργειας :** τα περισσότερα φράγματα έχουν μεγάλο μέγεθος και συγκρατούν μεγάλες ποσότητες νερού κάτω από υψηλή πίεση. Έτσι όταν το νερό φτάνει στην έξοδο από τους υπερχειλιστές, τους εκκενωτές ή τις υδροληψίες δημιουργείται μεγάλη ποσότητα ενέργειας από τη ταχύτητα του νερού και η οποία θα πρέπει να μειωθεί για να αποφύγουμε τις ζημιές που μπορεί να προκαλέσει στο φράγμα. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με την παρεμβολή διατάξεων

που μειώνουν την ενέργεια και την ροή του νερού. Η μείωση της ταχύτητας του νερού πετυχαίνεται με τη τριβή του στα τοιχώματα των αγωγών, με τον αέρα αλλά και την δημιουργία στροβιλισμών.

Τέτοιο έργο διασκεδασμού της ενέργειας στα φράγματα είναι η λεκάνη ηρεμίας. Αυτή κατασκευάζεται στην έξοδο του νερού από τον υπερχειλιστή και μειώνει την ενέργεια του με τη δημιουργία του υδραυλικού άλματος.

- **Κάδος εκτροπής:** σημαντική λύση στο πρόβλημα της καταστροφής της ενέργεια που αποκτά το νερό δίνουν και οι κάδοι εκτροπής, οι οποίοι χωρίζονται στους υψηλούς, που συναντάμε συχνότερα και τους χαμηλούς. Στους υψηλούς κάδους εκτροπής το νερό περνάει μέσα σε έναν οι δύο αγωγούς και αποκτά μεγάλη ταχύτητα κατά τη κάθοδο και στη συνέχεια εξαιτίας της προς τα επάνω καμπυλότητας του άκρου του αγωγού πετιέται και περνάει πάν από το φράγμα χωρίς να υπάρχει κίνδυνος ζημιάς, χάνοντας τελικά την ενέργεια του. (Σχήμα 2.9)



Σχήμα 2.9: Οι εν λειτουργία κάδοι εκτροπής του Υ/Η σταθμού Pine Flat στην Καλιφόρνια[7]

- **Αγωγοί πτώσεις:** κυκλικοί αγωγοί κατασκευασμένοι συνήθως από χαλύβδινα ελάσματα που μεταφέρουν το νερό από τα πύργα ισορροπίας ή το θάλαμο

δικλείδων μέχρι τον σταθμό παραγωγής. Συνήθως είναι περισσότεροι του ενός.
[5, 6, 7]

2.4 Υδραυλικοί κινητήρες

Οι μηχανές που χρησιμοποιούν την υδραυλική ενέργεια για να παράξουν ωφέλιμο έργο ονομάζονται υδραυλικοί κινητήρες.

Υδραυλική είναι η ενέργεια που περιέχει το νερό και εκφράζεται είτε ως κινητική (από την κίνηση του νερού) είτε ως δυναμική (μέσω του βάρους ή της πίεσής του).

Οι υδροκινητήρες κατατάσσονται σε τρία βασικά είδη:

- Τους υδραυλικούς τροχούς, οι οποίοι λειτουργούν με το βάρος του νερού.
- Τους κινητήρες που λειτουργούν με την πίεση του νερού, όπως οι εμβολοφόροι υδροκινητήρες, τα υδραυλικά πιεστήρια και οι περιστροφικοί υδροκινητήρες.
- Τους υδροστροβίλους, οι οποίοι λειτουργούν με την κινητική ενέργεια του νερού.

Οι υδραυλικοί τροχοί χρησιμοποιούνταν κυρίως παλιότερα για την κίνηση μηχανισμών σε μύλους και γεννήτριες. Τα υδραυλικά πιεστήρια χρησιμοποιούνταν σε μεγάλα πιεστικά μηχανήματα (υδραυλικές πρέσες, υδραυλικοί γρύλοι).

Αντίθετα, οι υδροστροβίλοι είναι οι πιο διαδεδομένοι υδραυλικοί κινητήρες, καθώς χρησιμοποιούνται σε όλους τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς για την κίνηση ηλεκτρογεννητριών, οι οποίες παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια.

Υδροστροβίλοι

Ο υδροστροβίλος αποτελεί το σημαντικότερο μηχανικό μέρος ενός υδροηλεκτρικού σταθμού. Όπως αναφέρθηκε, οι υδροστροβίλοι χρησιμοποιούν την κινητική ενέργεια του νερού ώστε να παράξουν έργο. Αυτή αποκτάται, ανάλογα με το είδος της εγκατάστασης κατά την εκροή ή την πτώση του νερού από υψηλή σε χαμηλότερη στάθμη. Όσο

μεγαλύτερο είναι το ύψος τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του νερού και άρα και η κινητική του ενέργεια.

Έτσι, λοιπόν, στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης νερού, το νερό, εξαιτίας της υδατοπτώσεως από μεγάλο ύψος, εισέρχεται στον υδροστρόβιλο με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Αντίθετα, στις εγκαταστάσεις ροής, εκμεταλλευόμαστε την ταχύτητα του νερού ενός ποταμού, όπου τις περισσότερες φορές είναι μικρότερη.

Η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του νερού επιτυγχάνεται αναγκάζοντάς το να περάσει απ' τα πτερύγια ενός στροβίλου ή να χτυπήσει τα κύπελλα ενός τροχού, περιστρέφοντας έτσι τον άξονά τους. Από αυτόν παραλαμβάνεται το μηχανικό έργο, το οποίο διοχετεύεται σε μια ηλεκτρογεννήτρια, όπου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι, λοιπόν, για να έχει ο υδροστρόβιλος όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόδοση, θα πρέπει να εκμεταλλεύεται όσο περισσότερο γίνεται την ενέργεια του νερού μεταξύ μιας υψηλής και μιας χαμηλής στάθμης.

Οι υδροστρόβιλοι γενικά χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: σε υδροστρόβιλους δράσεως και υδροστρόβιλους αντιδράσεως.

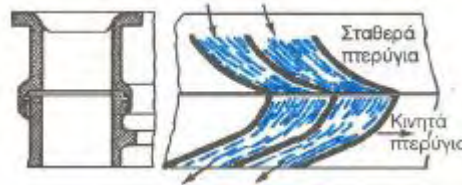
Οι υδροστρόβιλοι δράσεως μετατρέπουν όλη την ενέργεια του νερού, το οποίο πέφτει από ύψος, σε κινητική. Αυτό επιτυγχάνεται αναγκάζοντας αρχικά το νερό να περάσει από σταθερά πτερύγια (Σχήμα 2.10) του υδροστροβίλου, τα οποία έχουν τη μορφή σκαφιδίων ή ακροφυσίων.



Σχήμα 2.10: Υδροστρόβιλος δράσεως[7]

Έπειτα το νερό διέρχεται με μεγάλη ταχύτητα από τα κινητά πτερύγια του τροχού, χωρίς όμως να γεμίζει τους αύλακές του σε όλο το πλάτος τους, χτυπάει πάνω σε αυτούς, περιστρέφοντας έτσι τον τροχό, αλλάζει κατεύθυνση και εξέρχεται από το στρόβιλο. Να σημειωθεί επίσης ότι η ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται ο στρόβιλος, μπορεί να ρυθμιστεί σχετικά εύκολα χωρίς μεγάλες απώλειες.

Αντίθετα, στους υδροστρόβιλους αντιδράσεως (Σχήμα 2.11) ένα μέρος από την ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, ενώ το υπόλοιπο παραμένει μέσα σ' αυτό με μορφή δυναμικής ενέργειας ή πίεσεως. Σε αυτούς τους στρόβιλους το νερό βρίσκεται υπό πίεση μέσα και στα σταθερά και στα κινητά πτερύγια, ενώ απ' τους αύλακές τους διέρχεται σταθερά νερό. Τέλος, κάθε φορά που ρυθμίζεται η ταχύτητα περιστροφής του στρόβιλου προκύπτουν υπολογίσιμες απώλειες. [6, 7, 10]



Σχήμα 2.11: Υδροστρόβιλος αντίδρασης[7]

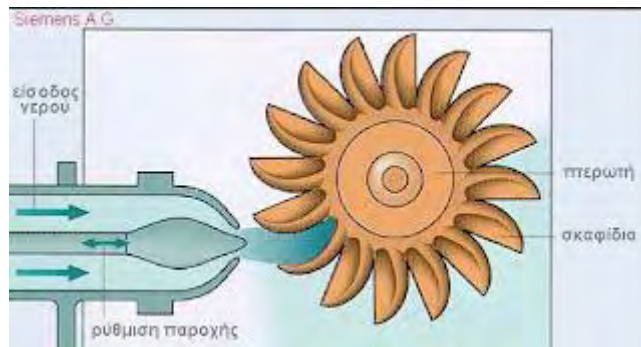
2.5 Τύποι Υδροστροβίλων

Υδροστρόβιλος Pelton

Ο στρόβιλος Pelton είναι ο κυριότερος υδροστρόβιλος δράσεως. Αποτελείται έναν τροχό και από κύπελλα με διπλή κοιλότητα, τα οποία βρίσκονται στην περιφέρειά του. Χρησιμοποιείται σε μεγάλες υψομετρικές διαφορές, άνω των 300 μέτρων και καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα για την παραγωγή ισχύος (από μερικά KW μέχρι εκατοντάδες MW). Η απόδοση των υδροστροβίλων Pelton αγγίζει το 90% και κατασκευάζονται σε οριζόντιες ή κατακόρυφες διατάξεις.

Το νερό καθώς κατέρχεται από την υψηλή στάθμη αποταμιεύσεως, εξέρχεται με μεγάλη ταχύτητα από το ακροφύσιο, το οποίο βρίσκεται σε οριζόντια διάταξη, χτυπάει τα κύπελλα του τροχού, επιτυγχάνοντας έτσι την περιστροφή του. Έπειτα, εξαιτίας της μορφής των

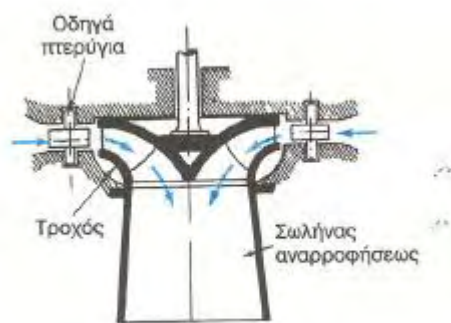
κυπέλλων του τροχού, αναστρέφει κατεύθυνση κατά 180 μοίρες, εξέρχεται από το στρόβιλο και κατευθύνεται προς τον αγωγό αποχετεύσεως. (Σχήμα 2.12)



Σχήμα 2.12: Παράδειγμα λειτουργίας υδροστροβίλου Pelton[31]

Υδροστρόβιλος Francis

Ο στρόβιλος Francis (Σχήμα 2.13) είναι ένας από τους πιο σημαντικούς υδροστροβίλους αντιδράσεως. Αποτελείται από 3 κύρια μέρη, τον τροχό, όπου βρίσκονται τα κινητά πτερύγια, τα σταθερά πτερύγια και τον σωλήνα αναρρόφησης. Χρησιμοποιείται σε μεσαία ύψη πτώσεων (μέχρι 600 μέτρα) και κατασκευάζεται συνήθως σε κατακόρυφες διατάξεις για ιπποδυνάμεις μέχρι και 200.000KW.



Σχήμα 2.13: Υδροστρόβιλος Francis[7]

Ο υδροστρόβιλος Francis τοποθετείται συνήθως μέσα στο νερό. Το γεγονός αυτό του δίνει πλεονέκτημα έναντι του υδροστροβίλου Pelton, καθώς εκμεταλλεύεται όλο το ύψος

έως το βαθύτερο σημείο της κάτω στάθμης του νερού. Αντίθετα, ο στρόβιλος Pelton τοποθετείται μερικά μέτρα ψηλότερα από το υψηλότερο σημείο της κάτω στάθμης του νερού. Ο βαθμός απόδοσής του στρόβιλου Francis αυξάνεται όσο λειτουργεί με φορτίο 80-100%, ενώ ο Pelton αποδίδει καλύτερα σε μικρότερα φορτία. Σε πλήρες φορτίο, ο βαθμός απόδοσης του υδροστρόβιλου Francis αγγίζει το 91%.

Ο υδροστρόβιλος Francis χρησιμοποιείται στους περισσότερους Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς του Ελλαδικού χώρου.

Υδροστρόβιλος Kaplan

Ο στρόβιλος Kaplan (Σχήμα 2.14) είναι υδροστρόβιλος τύπου έλικας (Σχήμα 2.15). Αποτελείται ένα σπειροειδές κέλυφος εισόδου, τα σταθερά οδηγά πτερύγια (τα οποία μοιάζουν με πτερύγια έλικας), τον τροχό και το σωλήνα αναρροφήσεως. Χρησιμοποιείται για μικρά ύψη, έως και 60 μέτρα, και για μεγάλες ποσότητες νερού, κατανάλωση μεγαλύτερη από 500 m³/s νερού.



Σχήμα 2.14: Υδροστρόβιλος Kaplan[31]



Σχήμα 2.15: Έλικά στροβίλου Kaplan[31]

Χρησιμοποιείται σπάνια, καθώς ο βαθμός απόδοσης του είναι πολύ μικρός για μερικό φορτίο, γι' αυτό χρησιμοποιείται μόνο ως υδροστρόβιλος πλήρους φορτίου.

Υδροστρόβιλος Turgo

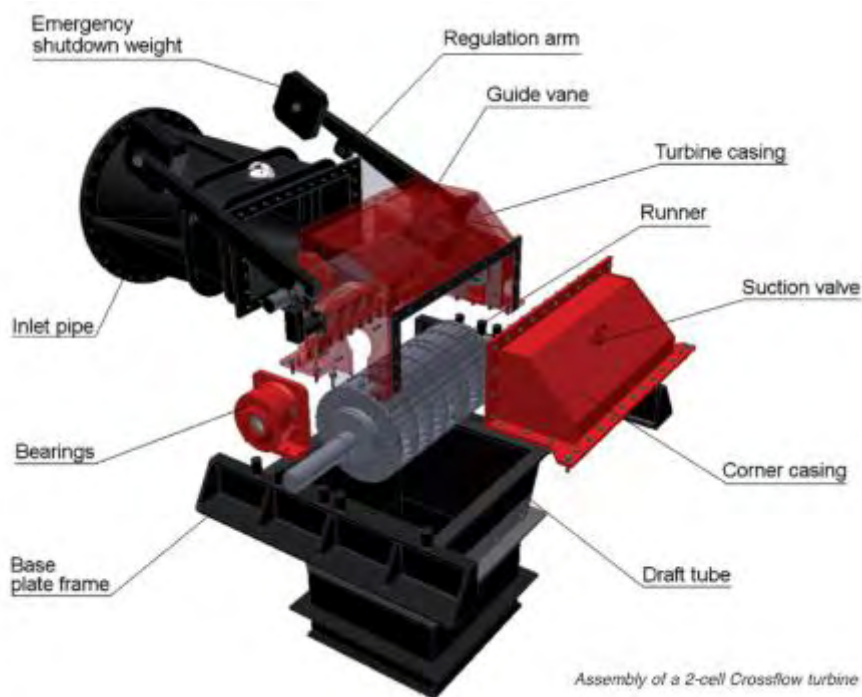
Μία παραλλαγή του στροβίλου Pelton είναι ο υδροστρόβιλος Turgo (Σχήμα 2.16). Έχει μία μόνο σειρά από κύπελλα περιφερειακά του τροχού του και ένα ή περισσότερα ακροφύσια. Έχει βαθμό απόδοσης μικρότερο από τον υδροστρόβιλο Pelton.



Σχήμα 2.16: Υδροστρόβιλος Turgo[7]

Υδροστρόβιλος Cross-Flow

Ο στρόβιλος Cross-Flow είναι υδροστρόβιλος δράσεως (Σχήμα 2.17). Από πλευράς σχεδιασμού και κατασκευής, είναι αρκετά απλός και η ονομαστική του ισχύς φτάνει τα 2.5-3MW. Είναι αργόστροφος, αλλά διδιάστατης ροής και μπορεί να αξιοποιήσει αρκετά ικανοποιητικά υδατοπτώσεις, οι οποίες έχουν μεγάλες διακυμάνσεις στην παροχή τους. [7, 10]



Σχήμα 2.17: Υδροστρόβιλος Cross-Flow[7]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΤΛΗΣΙΟΤΑΜΙΕΥΣΗ / ΑΝΑΣΤΡΕΨΙΜΟΙ ΥΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Βασισμένη στη τεχνολογία της υδροηλεκτρικής ενέργειας, η υδροηλεκτρική αντλησιοταμίευση είναι ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας καλά εδραιωμένο και εμπορικά αποδεκτό που έχει χρησιμοποιηθεί από το 1890. Μία απλή μονάδα υδροηλεκτρικής ενέργειας διαθέτει φράγμα και ταμιευτήρα στον οποίο αποθηκεύει ενέργεια και πιο συγκεκριμένα νερό. Οι μέθοδοι αποθήκευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι δύο και διαφέρουν στον αριθμό των διαθέσιμων ταμιευτήρων. Η μία μέθοδος περιλαμβάνει την ύπαρξη ενός ταμιευτήρα και η άλλη δύο.

Στη πρώτη περίπτωση μία τυπική μονάδα αποθηκεύει νερό στη δεξαμενή τις περιόδους βροχοπτώσεων και το απελευθερώνει σε περιόδους ξηρασίας παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο στη δεύτερη περίπτωση μία μονάδα αντλησιοταμίευσης στοχεύει στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε καθημερινή βάση, για το οποίο όμως η φυσική ροή του νερού δεν είναι αρκετή. Έτσι χρησιμοποιεί δύο ταμιευτήρες έναν υψηλό και έναν χαμηλό. Σε περιόδους μεγάλης ζήτησης ενέργειας το νερό απελευθερώνεται από τη πάνω δεξαμενή, μέσω των στροβίλων παράγει ηλεκτρική ενέργεια και καταλήγει στη κάτω δεξαμενή. Εν τω μεταξύ κατά τη διάρκεια περιόδων με χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις, το δίκτυο χρησιμοποιώντας εφεδρικό ηλεκτρικό ρεύμα αντλεί το νερό από τη κάτω δεξαμενή πίσω στην άνω, ώστε να είναι και πάλι διαθέσιμο να εκμεταλλευτεί για παραγωγή ενέργειας. Για να επιτευχθεί η άντληση του νερού από τον κάτω ταμιευτήρα πίσω στον άνω οι μονάδες άντλησης χρησιμοποιούν φθινό ή πλεόνασμα ηλεκτρικού ρεύματος γεγονός που καθιστά την συγκεκριμένη μέθοδο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πολύ οικονομική .

Για να είναι ελκυστικός ένας χώρος για μια υδροηλεκτρική εγκατάσταση με αντλησιοταμίευση, τα βασικά τεχνικά στοιχεία που απαιτούνται είναι :

- Τοπογραφικές συνθήκες που παρέχουν επαρκή κεφαλή μεταξύ της άνω και της κάτω δεξαμενής.
- Ευνοϊκές γεωτεχνικές συνθήκες.
- Διαθεσιμότητα επαρκών ποσοτήτων νερού (η ποιότητα των υδάτων μπορεί επίσης να είναι ανησυχητική).
- Πρόσβαση σε δίκτυα ηλεκτρικής μετάδοσης και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.

Πρόσθετα βασικά τεχνικά στοιχεία που θα μπορούσαν ενδεχομένως να καταστήσουν ελκυστικότερο ένα έργο είναι τα εξής:

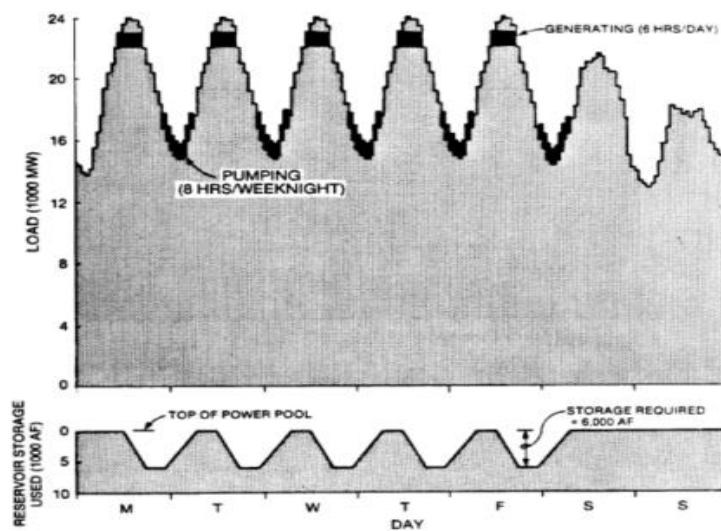
1) χρήση υπάρχουσας δεξαμενής για την άνω ή κάτω δεξαμενή (που θα μείωνε την απαιτούμενη αρχική επένδυση).

2) τοπογραφικές συνθήκες που παρέχουν τη συντομότερη δυνατή σήραγγα εισαγωγής, το σπάσιμο και τη σήραγγα εκροής (που μειώνει τις απώλειες τριβής και μειώνουν την απαιτούμενη αρχική επένδυση)

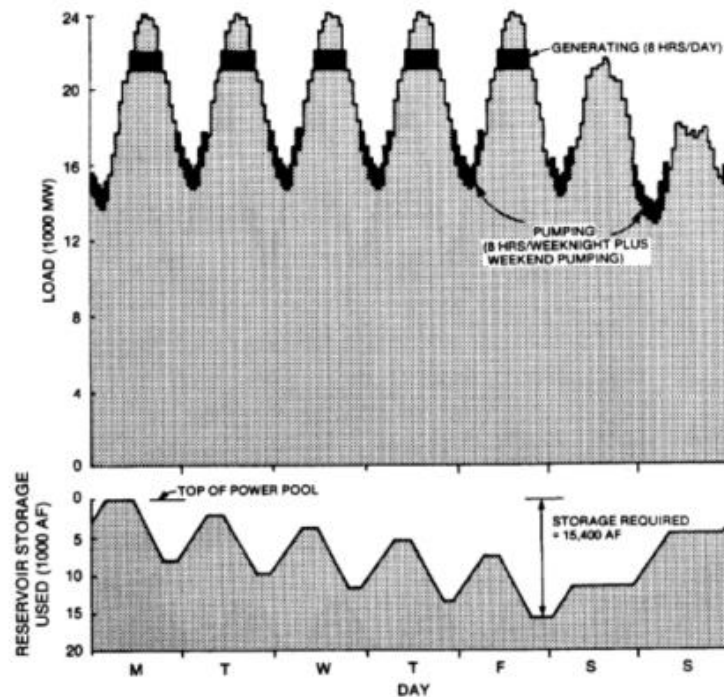
3) συνθήκες κεφαλής που επιτρέπουν τη χρήση μικρότερων μονάδων αντλίας / στροβίλου.

Η λειτουργία των μονάδων αντλησιοταμίευσης καθορίζεται κυρίως από τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν οι μονάδες που λειτουργούν σε καθημερινή βάση (Σχήμα 3.1) και άλλες που λειτουργούν σε εβδομαδιαίο κύκλο (Σχήμα 3.2). Οι πρώτες

χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια χαμηλού κόστους τη νύχτα για την άντληση νερού στην άνω δεξαμενή. Ο χρόνος με τη χαμηλότερη ζήτηση, όταν υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια χαμηλού κόστους, θεωρείται από τις 10μ.μ. έως τα μεσάνυχτα μέχρι τις 6π.μ. . Κατά τη διάρκεια της υπόλοιπης ημέρας που είναι ώρες αιχμής της ζήτησης η μονάδα παράγει ενέργεια. Για τις μονάδες που λειτουργούν σε εβδομαδιαίο κύκλο, το νερό αντλείται στην άνω δεξαμενή κατά τη διάρκεια της νύχτας και τα σαββατοκύριακα, όταν η ζήτηση της ενέργειας είναι χαμηλή. Έτσι κατά την έναρξη της εβδομάδας η άνω δεξαμενή είναι γεμάτη και αδειάζει πριν το σαββατοκύριακο για να ξαναγεμίσει.



Σχήμα 3.1: Αναστρέψιμο υδροηλεκτρικά σε καθημερινή βάση[12]



Σχήμα 3.2: Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά σε εβδομαδιαία βάση[12]

Η λειτουργία αυτή των υδροηλεκτρικών εργοστασίων με συστήματα αντλησιοταμίευσης, όπως είναι φυσικό παρουσιάζει και κάποιες απώλειες που προέρχονται από τη τριβή των σωλήνων και από την απόδοση του στροβίλου και της αντλίας, χάνοντας ένα σημαντικό ποσοστό της αρχικής εισροής ισχύος. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την βελτίωση της αποδοτικότητας των αντλιών και των στροβίλων η απόδοση των σύγχρονων εργοστασίων αγγίζει το 80% σε ένα κύκλο.

Μειονεκτήματα

Παράλληλα η αντλησιοταμίευση εκτός από πλεονεκτήματα παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα.

- Αρχικά υπάρχει ένας περιορισμένος αριθμός τοποθεσιών που έχουν ευνοϊκές τοπογραφικές συνθήκες και πρόσβαση σε επαρκείς ποσότητες ποιοτικού νερού. Νέες

έννοιες τοποθεσίας, όπως η χρήση υπόγειων σπηλαίων, μπορεί να είναι λύση αυτού του προβλήματος.

- Δεύτερον, η ανάπτυξη υδροηλεκτρικών έργων με αντλία αποθήκευσης μπορεί να είναι μια μακρά διαδικασία. Ο σχεδιασμός, η αδειοδότηση και η κατασκευή ενός νέου έργου μπορεί να διαρκέσει έως και 10 χρόνια.
- Τρίτον, η αδειοδότηση ενός νέου έργου υδροηλεκτρικής αποθήκευσης με αντλία είναι δαπανηρή. Τέτοιου είδους έργα απαιτούν μεγάλη αρχική χρηματοοικονομική επένδυση ενώ άλλες τεχνολογίες όπως οι σταθμοί φυσικού αερίου έχουν χαμηλότερο αρχικό κόστος κεφαλαίου που μπορεί να είναι πιο ελκυστικό για τους επενδυτές αλλά και τους προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας. [11, 12, 13, 14]

3.2 Ιστορική Αναδρομή

Η τεχνολογία αντλησιοταμίευσης αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στις αρχές του 20ού αιώνα, ωστόσο, ο σχεδιασμός και η κατασκευή έργων ξεκίνησαν σοβαρά μετά το τέλος του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου. Η αντλησιοταμίευση έγινε όλο και περισσότερο ελκυστική στο πλαίσιο των έργων πολλαπλών χρήσεων, όπου ενίσχυσε τα οικονομικά του κάθε αντικειμένου. Μέχρι τη δεκαετία του 1960, οι περισσότερες νέες θερμικές γεννήτριες που εισήλθαν στο δίκτυο ήταν μονάδες μεγάλης χωρητικότητας, υψηλής θερμοκρασίας και υψηλής πίεσης, με ελάχιστες προοπτικές για σημαντική βελτίωση της απόδοσης. Αυτές οι γεννήτριες ήταν οι πλέον κατάλληλες για σταθερή υψηλή απόδοση, προκειμένου να μειωθεί το άγχος του εξοπλισμού και το κόστος συντήρησης, ενώ βελτιστοποιούνταν η λειτουργική αποτελεσματικότητα. Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια αντλησιοταμίευσης ήταν ιδανικά τοποθετημένα για την απορρόφηση της πλεονάζουσας ισχύος και τη δημιουργία κορυφαίας παραγωγικής ικανότητας και κατασκευάστηκαν σχεδόν αποκλειστικά από κρατικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Πολλά από αυτά τα έργα σχεδιάστηκαν επίσης για να προσφέρουν πλεονεκτήματα διαχείρισης νερού, ενώ στην Καλιφόρνια και αργότερα στη Νότια Αφρική χρησιμοποιήθηκαν για σημαντικά προγράμματα μεταφοράς και παροχής νερού σε μεγάλα κέντρα ζήτησης. Αυτή τη περίοδο

η λειτουργία των περισσότερων μονάδων ήταν σχετικά απλή: η πλεονάζουσα νυκτερινή ισχύς χρησιμοποιήθηκε για να αντλήσει νερό στον άνω ταμιευτήρα και να αποθηκευτεί για απελευθέρωση και παραγωγή κατά τις ώρες αιχμής της ζήτησης κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η πλειοψηφία των έργων αντλησιοταμίευσης δημιουργήθηκε μεταξύ της δεκαετίας του 1960 και της δεκαετίας του '80, με γνώμονα τις ανησυχίες για την ενεργειακή ασφάλεια και την ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας μετά τις πετρελαϊκές κρίσεις της δεκαετίας του '70. Λιγότερα έργα, ειδικά στις πιο ώριμες αγορές της Ευρώπης, της Ιαπωνίας και των ΗΠΑ, αναπτύχθηκαν κατά τη δεκαετία του 1990. Ο κύριος λόγος της μείωσης ήταν αποτέλεσμα της απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας και της μείωσης της πυρηνικής ανάπτυξης. Ωστόσο, υπήρχαν κάποιες εξαιρέσεις όπως η Αυστρία, που χωρίς πηγή πυρηνικής ενέργειας αλλά με πλούσιο υδροηλεκτρικό πόρο, στράφηκε στην ανάπτυξη της αντλησιοταμίευσης.

Από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα, υπήρξε ανανεωμένο ενδιαφέρον για την αντλησιοταμίευση σε ορισμένες χώρες, κυρίως στην Κίνα, αλλά και στην Ευρώπη. Καθώς οι ανανεώσιμες πηγές εξελίσσονται ολοένα και περισσότερο, η αντλησιοταμίευση θεωρείται ως βασικό εργαλείο για την ανανεώσιμη ενέργεια και την αποθήκευσή της. Στο τέλος του 2017, η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς ανερχόταν σε 161.000 MW. Η Κίνα συνέβαλε σε μεγάλο μέρος της πρόσφατης ανάπτυξης, έχοντας προσθέσει δυναμικότητα περίπου 15.000 MW από το 2010, με γνώμονα τους φιλόδοξους κυβερνητικούς στόχους για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενώ υπολογίζεται ότι η συνολική ενέργεια που αποθηκεύεται στα υδροηλεκτρικά έργα με χρήση αντλησιοταμίευσης στον κόσμο ανέρχεται στις 9.000 GWh. [11, 13, 14, 15]

3.3 Τεχνολογία Αντλιών και Στροβίλων

Στις μέρες μας ολοένα και περισσότερα υδροηλεκτρικά έργα αντλησιοταμίευσης χρησιμοποιούν αντιστρέψιμα συστήματα αντλιών/στροβίλων και κινητήρων/γεννητριών που λειτουργούν τόσο ως αντλία όσο και ως στρόβιλος. Τα εργοστάσια που κατασκευάστηκαν παλαιότερα χρησιμοποιούν μονοφασικούς στροβίλους ενώ τα νέα, ειδικά στην Ιαπωνία, χρησιμοποιούν ρυθμιζόμενους στροβίλους ταχύτητας λόγω μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας. Παρά την αποτελεσματικότητα όμως της τεχνολογίας αυτής, η αντικατάσταση των στροβίλων με μία ταχύτητα, στις παλιότερες μονάδες που τη χρησιμοποιούν, με στροβίλους ρυθμιζόμενης ταχύτητας κοστίζει πολύ και είναι πολύ δύσκολο να συμβεί.

Τα υδροηλεκτρικά έργα αντλησιοταμίευσης μπορούν να λειτουργήσουν με δύο τρόπους όσο αναφορά τη λειτουργία του στροβίλου και της αντλίας. Στη μία μέθοδο υπάρχει ξεχωριστή λειτουργία αντλίας και ξεχωριστή στροβίλου. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει το πλεονέκτημα της γρήγορης μετάβασης από τη λειτουργία άντλησης στη λειτουργία παραγωγής αλλά προϋποθέτει την δημιουργία μιας πιο σύνθετης μονάδας και την ύπαρξη συμπληρωματικού ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού, γεγονός που αυξάνει κατά πολύ το κόστος κατασκευής. Η δεύτερη μέθοδος περιλαμβάνει τον συνδυασμό του στροβίλου και της αντλίας ως ένα και τη κοινή τους λειτουργία. Η διαμόρφωση μίας τέτοια μονάδος έχει μικρότερο κόστος καθώς ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός είναι πιο απλός και πιο φθηνός αλλά με το μειονέκτημα πως ο χρόνος μετάβασης από τη λειτουργία άντλησης στη λειτουργία παραγωγής και το αντίστροφο είναι μεγαλύτερος. Το τελευταίο οφείλεται στο γεγονός πως ο στρόβιλος πρέπει να σταματήσει για να αλλάξει κατεύθυνση περιστροφής.

Μονοφασικοί στρόβιλοι

Οι μονοφασικοί στρόβιλοι χρησιμοποιούνται στους περισσότερους σταθμούς αντλησιοταμίευσης. Οι στρόβιλοι αυτοί χρησιμοποιούν μία σύγχρονη ηλεκτρική μηχανή και μπορούν να λειτουργήσουν και για την άντληση αλλά και για τη παραγωγή, μεταβάλλοντας την περιστροφή του κινητήρα. Σε αυτόν τον τύπο του στρόβιλου, η άντληση γίνεται με σταθερή ταχύτητα και το άνοιγμα των θυρών είναι σχεδόν σταθερό. Γενικά σε κατάσταση άντλησης, η ισχύς εξαρτάται και είναι αντιστρόφως ανάλογη προς την κεφαλή που επηρεάζει την εκκένωση. Οι μονοφασικοί στρόβιλοι, δεν μπορούν να ρυθμίσουν τη συχνότητα επειδή είναι απευθείας συνδεδεμένοι στο ηλεκτρικό δίκτυο και λειτουργούν με δεδομένη ταχύτητα και ισχύ. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας παραγωγής, η αναστρέψιμη αντλία / στρόβιλος είναι υπεύθυνη για το χειρισμό της σύγχρονης γεννήτριας μιας ταχύτητας, για την παροχή ρεύματος στο δίκτυο και τους γενικούς κανονισμούς του συστήματος. Επιπλέον, οι μονάδες μιας ταχύτητας λειτουργούν εντός του 70-100% της μέγιστης χωρητικότητας της αντλίας / στρόβιλου. Αυτό συμβαίνει για τη διατήρηση της βέλτιστης απόδοσης. Για παράδειγμα, μια μονάδα 500 MW είναι σε λειτουργία εντός μιας περιοχής 400-500 MW. Αυτή η ευελιξία της μονάδας επιτρέπει στον χειριστή να προσαρμόζει τις απαιτήσεις φορτίου του ηλεκτρικού δικτύου.

Στρόβιλοι ρυθμιζόμενης ταχύτητας

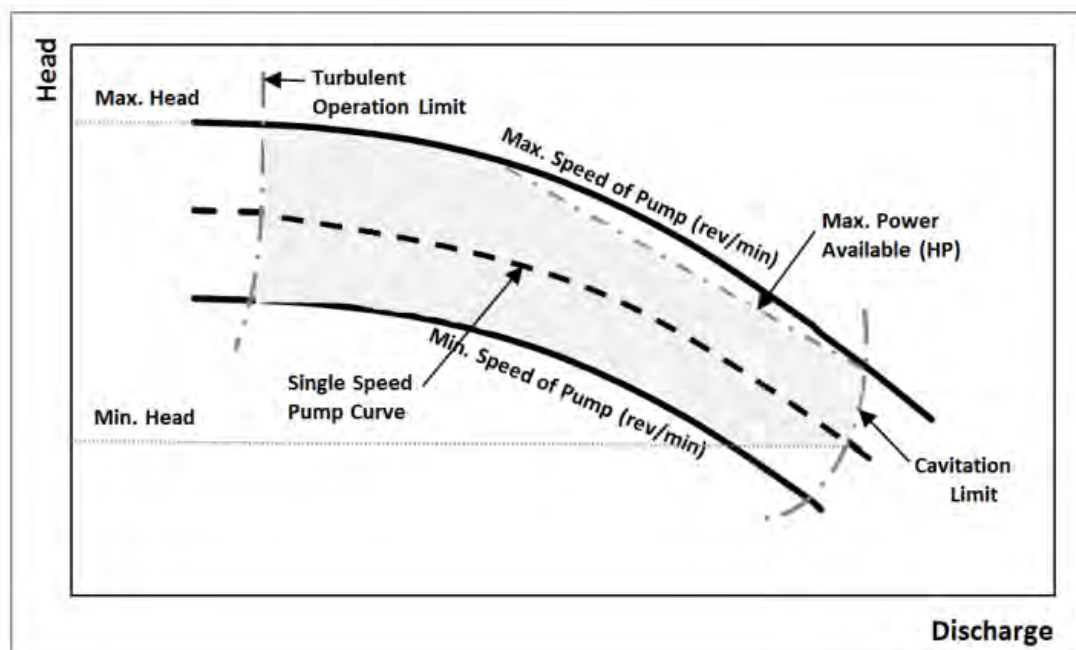
Το κύριο πλεονέκτημα των μονάδων ρυθμιζόμενης ταχύτητας είναι ότι είναι σε θέση να μεταβάλλουν την ταχύτητα περιστροφής της αντλίας και του στρόβιλου για πιο αποτελεσματική συνολική λειτουργία και καλύτερη ενσωμάτωση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η λειτουργία ρυθμιζόμενων μονάδων ταχύτητας ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος της μονάδας. Για μονάδες μικρότερες από 50 MW μια συμβατική σύγχρονη γεννήτρια συνδέεται με το ηλεκτρικό δίκτυο με έναν στατικό μετατροπέα συχνότητας. Για μεγαλύτερες μονάδες άνω των 50 MW, η λειτουργία της μονάδας σε ρυθμιζόμενη λειτουργία είναι εφικτή λόγω της εφαρμογής μιας διπλής τροφοδοσίας επαγωγικής μηχανής (DFIM) με τριφασική τάση και ρεύμα ημιτονοειδούς ρότορα που παρέχεται από AC / DC / AC μετατροπέα στερεάς κατάστασης. Η συχνότητα της τάσης και του ρεύματος

του ρότορα ρυθμίζεται για τον έλεγχο της ταχύτητας του δρομέα. Για τη διατήρηση της βέλτιστης αποτελεσματικότητας, οι χειριστές χρησιμοποιούν τυπικά ρυθμιζόμενες μονάδες ταχύτητας εντός του 70 έως 100% της μέγιστης χωρητικότητας της αντλίας / τουρμπίνας.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας παραγωγής, τα ρυθμιστικά πτερύγια του στροβίλου τοποθετούνται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το φαινόμενο στραγγαλισμού, το οποίο μειώνει τις απώλειες στο σύστημα. Τα πτερύγια δεν είναι κατά τη λειτουργία άντλησης δημιουργούν πρόσθετες απώλειες, προκαλούν υπερβολικούς κραδασμούς και μειώνουν τη διάρκεια ζωής του μηχανολογικού εξοπλισμού. Η λειτουργία μιας μονάδας ρυθμιζόμενης ταχύτητας βελτιώνεται σημαντικά σε σχέση με τις μονάδες μίας ταχύτητας. Η αυξημένη λειτουργική εμβέλεια επιτρέπει τη ρύθμιση της ισχύος εισόδου, βοηθά στην αποφυγή της αντίστροφης ροής όταν λειτουργεί σε υψηλές κεφαλές και ελέγχει τη συχνότητα ηλεκτρικής ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας άντλησης.

Το εύρος λειτουργίας των αντλιών μιας ταχύτητας και των ρυθμιζόμενων αντλιών ταχύτητας, σε κατάσταση άντλησης, απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3. Η καμπύλη άντλησης για μια σύγχρονη μονάδα μιας ταχύτητας ορίζεται από μία μόνο καμπύλη. Αυτό σημαίνει ότι η μονάδα απλής ταχύτητας περιορίζεται στη λειτουργία σε μόνο σημεία κατά μήκος της καμπύλης. Μια μονάδα ρυθμιζόμενης ταχύτητας μπορεί να λειτουργήσει εντός μιας περιοχής που ορίζεται από την ελάχιστη ταχύτητα, τη μέγιστη ταχύτητα της αντλίας, τη μέγιστη ισχύ (που περιορίζεται από την ποσότητα ισχύος που διατίθεται για την κίνηση της αντλίας), το όριο στροβιλώδους λειτουργίας (περιορίζεται από την εκκένωση της αντλίας) και το όριο σπηλαίωσης (οι ελάχιστες συνθήκες αναρρόφησης που απαιτούνται για να αποφευχθεί η σπηλαίωση της αντλίας - εξαρτάται από την πίεση στην είσοδο στην περρωτή της αντλίας και την πίεση υδρατμών). Αυτό το εύρος εμφανίζεται με γκρι χρώμα στο παρακάτω σχήμα. Η ικανότητα να λειτουργεί σε ένα εύρος, σε διαφορετικές ταχύτητες, σε κατάσταση άντλησης, επιτρέπει τη λειτουργία με την καλύτερη απόδοση.

[11, 14]



Σχήμα 3.3: Εύρος λειτουργίας σε κατάσταση άντλησης[12]

3.4 Σχεδιασμός Τεχνικών Χαρακτηριστικών Έργου Αντλησιοταμίευσης

Κατά το σχεδιασμό ενός υδροηλεκτρικού έργου με αντλησιοταμίευση, υπάρχουν πολλά στοιχεία του έργου που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Οι βασικές παράμετροι περιλαμβάνουν το ύψος υδατόπτωσης, τα ποσοστά ροής, τις πλωτές οδούς, τους άνω και κάτω ταμιευτήρες, την επιλογή αντλίας / στροβίλου και άλλα θέματα σχεδίασης.

Κεφαλή-Ύψος Υδατόπτωσης

Το ύψος υδατόπτωσης, ή αλλιώς κεφαλή, είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τον σχεδιασμό ενός έργου αντλησιοταμίευσης. Τα έργα με χαμηλό ύψος υδατόπτωσης απαιτούν γενικά μεγαλύτερους αγωγούς, οι οποίοι είναι δαπανηροί. Τα έργα μεγάλου ύψους υδατόπτωσης (άνω των 750 μέτρων) απαιτούν πιο πολύπλοκες μονάδες αντλιών / στροβίλων και εξαλείφεται η δυνατότητα ρύθμισης των μονάδων στη λειτουργία παραγωγής. Επίσης έχουν καλύτερη οικονομική απόδοση σε σχέση με τα έργα χαμηλού

ύψους, επειδή η συνολική αποθηκευμένη ενέργεια είναι ανάλογη του όγκου του νερού που αποθηκεύεται λόγω του μεγάλου ύψους υδατόπτωσης. Κατά συνέπεια, ένα έργο μεγάλου ύψους απαιτεί μικρότερες δεξαμενές και πιο απλό ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό παράγοντας ίση ποσότητα ενέργειας

Ρυθμός Ροής Νερού

Ο ρυθμός ροής του νερού είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που μελετάται κατά τον σχεδιασμό ενός έργου αντλησιοταμίευσης. Τα δύο χαρακτηριστικά που καθορίζουν τον ρυθμό ροής είναι το ποσό της επιθυμητής παραγωγής ενέργειας και το διαθέσιμο ύψος υδατόπτωσης. Επίσης, ο σχεδιασμός του ρυθμού ροής εξαρτάται από τις μονάδες αντλίας / στροβίλων που επιλέχθηκαν αλλά και τις πλωτές οδούς. Όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή τόσο μεγαλύτερη είναι η αντλία / στρόβιλος και οι σωληνώσεις των πλωτών οδών. Επιπλέον, πρέπει να λάβουμε υπόψη και άλλες εκτιμήσεις για τον υπολογισμό του ρυθμού ροής όπως οι απώλειες ύψους υδατόπτωσης, οι οποίες είναι πολύ σημαντικές. Οι μικρότεροι ρυθμοί ροής στη σωλήνα με μικρότερη διάμετρο έχουν υψηλότερες απώλειες ύψους από ότι στους μεγαλύτερους σωλήνες, αν και οι μεγαλύτεροι σωλήνες είναι ακριβότεροι.

Υδάτινοι Οδοί

Ο σχεδιασμός των υδάτινων οδών για ένα έργο υδροηλεκτρικής αντλησιοταμίευσης είναι ένα σημαντικό μέρος του συνολικού σχεδιασμού του έργου, καθώς έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει σημαντικά τη συνολική απόδοση της εγκατάστασης και την απόδοση των μονάδων αντλίας / στροβίλου. Για υδροηλεκτρικά έργα με αντλία αποθήκευσης οι υδάτινες οδοί είναι το σύστημα αγωγών που συνδέουν την άνω δεξαμενή, το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την κάτω δεξαμενή. Με βάση τα υδραυλικά συστήματα, ορισμένα έργα ενδέχεται επίσης να απαιτούν μια δεξαμενή υπερχειλίσης για την προστασία των μονάδων ποταμών και αντλιών / στροβίλων από μεγάλους όγκους νερού. Τα έργα αντλησιοταμίευσης έχουν συνήθως δύο τμήματα υδάτινων οδών. Το

πρώτο τμήμα είναι το τμήμα υψηλής υδατόπτωσης μεταξύ της άνω δεξαμενής και της μονάδας αντλίας / στροβίλου και το δεύτερο τμήμα είναι το τμήμα χαμηλής υδατόπτωσης μεταξύ της μονάδας αντλίας / στροβίλου και της κάτω δεξαμενής.

Η συντομότερη δυνατή απόσταση μεταξύ της άνω δεξαμενής, του τροφοδοτικού και της κάτω δεξαμενής είναι και η βέλτιστη οδός. Μια μικρότερη πλωτή οδός προτιμάται για να ελαχιστοποιηθεί τόσο το κόστος κατασκευής όσο και οι απώλειες τριβής στο σύστημα. Το σύστημα αγωγών ύδατος θα πρέπει επιπλέον να σχεδιάζεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες τριβής τόσο στις μορφές άντλησης όσο και στην παραγωγή. Η ειδική γεωλογία και η τοπογραφία της περιοχής έχουν σημαντική επίδραση στις πιθανές διαμορφώσεις των πλωτών οδών. Οι υδάτινες οδοί μπορούν είτε να βρίσκονται στην επιφάνεια της πλαγιάς είτε να είναι θαμμένοι υπόγεια.

Άνω και Κάτω Ταμιευτήρες

Ο σχεδιασμός των ταμιευτήρων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Πρώτον, εξαρτάται από το αν υπάρχει διαθέσιμη μια υπάρχουσα δεξαμενή. Συχνά μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια υπάρχουσα δεξαμενή ή δεξαμενές. Αυτό είναι ελκυστικό επειδή μειώνει το κόστος κατασκευής και μπορεί να προσφέρει μια αξιόπιστη πηγή νερού. Δεύτερον, η διάταξη των δεξαμενών εξαρτάται από την τοπογραφία του τόπου του έργου την ύπαρξη ρευμάτων και ποταμών και ενδεχομένως την πρόσβαση στα υπόγεια ύδατα. Αν υποθέσουμε ότι υπάρχουν ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, μπορεί να κατασκευαστεί φράγμα σε ένα ορεινό οροπέδιο ή να κατασκευαστεί φράγμα σε κοιλάδα. Τρίτον, οι υπάρχουσες γεωλογικές συνθήκες έχουν μεγάλη επίδραση στην επιλογή της θέσης των πιθανών ταμιευτήρων και στο σχεδιασμό ενός συστήματος επένδυσης τους. Λόγω της ταχείας μεταβολής των επιπέδων νερού τόσο στον άνω όσο και στο κάτω ταμιευτήρα κατά την πλήρωση και εκκένωση τους (κατά τη διάρκεια της άντλησης και της λειτουργίας του στροβίλου), η σταθερότητα των κλίσεων των δεξαμενών μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά και κατά συνέπεια μπορεί να απαιτείται μία επένδυση της δεξαμενής που ίσως να είναι αναγκαία και λόγω διαρροών στα θεμέλια της. Αυτό προκαλεί ιδιαίτερη ανησυχία για το σχεδιασμό του έργου, όπου η διατήρηση του νερού είναι σημαντική. Το μέγεθος των δύο

ταμειυτήρων εξαρτάται από το μέγεθος των εγκατεστημένων μονάδων, το ύψος υδατόπτωσης, τα χαρακτηριστικά του χώρου και τον αριθμό ωρών που απαιτείται για τη λειτουργία των στροβίλων.

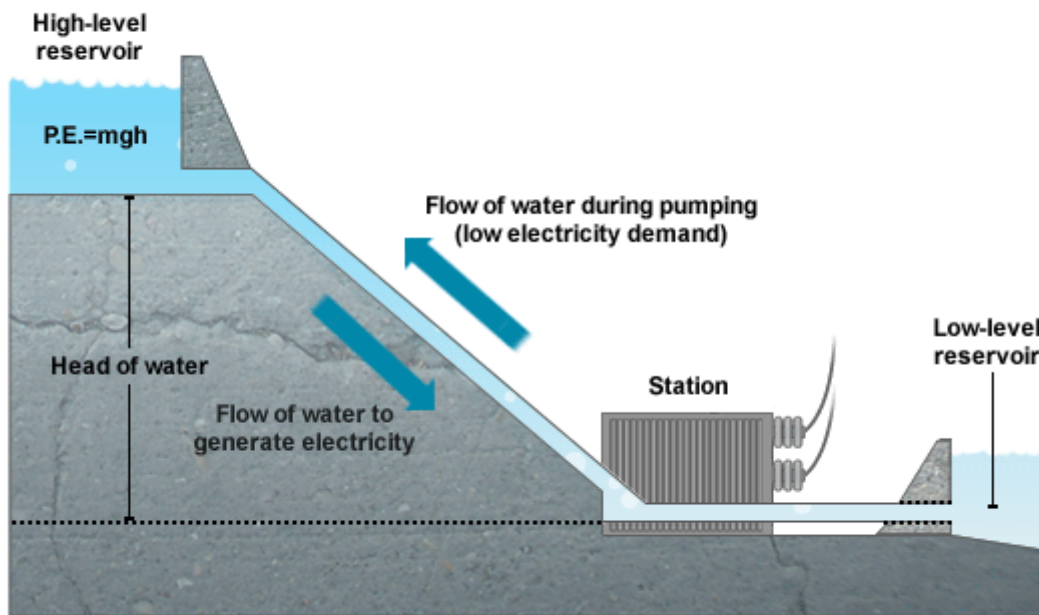
Επιλογή αντλίας / στροβίλου

Η επιλογή του μεγέθους της αντλίας / στροβίλου εξαρτάται κυρίως από τα οικονομική μελέτη του έργου, τα γεωλογικά χαρακτηριστικά του χώρου και τις απαιτήσεις του συστήματος παροχής ενέργειας. Τα περισσότερα κατασκευασμένα υδροηλεκτρικά έργα με αντλησιοταμίευση παρέχουν από 300 έως και 2.500 MW, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα έργα μεγάλης κλίμακας είναι γενικά πιο οικονομικά βιώσιμα. Για έργα μεγάλης κλίμακας και συνεπώς για την επιλογή μεγαλύτερων μονάδων αντλιών / στροβίλων, απαιτείται επαρκής ποσότητα νερού, επαρκής ύψος υδατόπτωσης και κατάλληλο μέγεθος των δύο δεξαμενών. Για έργα με χαμηλή υδατόπτωση ή περιορισμένο διαθέσιμο νερό, ένα έργο μικρότερης κλίμακας είναι πιο κατάλληλο.

Επίσης, η επιλογή του τύπου των μονάδων αντλιών / στροβίλων, με μία ή με ρυθμιζόμενη ταχύτητα ή συνδυασμός και των δύο, λαμβάνει μέρος στη διαδικασία του σχεδιασμού. Ενώ παλαιότερα τα περισσότερα έργα υδροηλεκτρικής αποθήκευσης με αντλία χρησιμοποιούσαν χωριστές αντλίες και στροβίλους, τα περισσότερα σύγχρονα έργα χρησιμοποιούν συνδυασμένες μονάδες αντλιών / στροβίλων. Η επιλογή του μεγέθους και του τύπου της αντλίας / μονάδας επηρεάζει επίσης το μέγεθος και τη διαμόρφωση του σταθμού παραγωγής ενέργειας. Για παράδειγμα, οι ρυθμιζόμενες μονάδες ταχύτητας απαιτούν πρόσθετο εξοπλισμό, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες συνολικές διαστάσεις ισχύος και υψηλότερο κόστος κατασκευής. [12, 15]

3.5 Λειτουργίες Παραγωγής και Αντλησης

Συνοψίζοντας, το ολοκληρωμένο μοντέλο ενός τυπικού υδροηλεκτρικού έργου με αντλιοσταμείωση αποτελείται από την κάτω δεξαμενή, την εργοστασιακή μονάδα, τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, την άνω δεξαμενή και τις υδάτινες οδούς που συνδέουν όλα τα παραπάνω, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.4. Οι δύο κύριες λειτουργίες του είναι η άντληση και η παραγωγή. Όταν η ζήτηση ενέργειας είναι υψηλή η εγκατάσταση χρησιμοποιεί τη μέθοδο παραγωγής κατά την οποία το νερό πέφτει από τον άνω ταμιευτήρα στον κάτω παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια μέσω του στροβίλου, ενώ όταν η ζήτηση είναι χαμηλή λειτουργεί με τη μέθοδο της άντλησης κατά την οποία το νερό ανεβαίνει μέσω της αντλίας από τον κάτω στον άνω ταμιευτήρα.



Σχήμα 3.4: Λειτουργία ενός σταθμού αντλιοσταμείωσης[29]

Λειτουργία παραγωγής

Κατά την λειτουργία παραγωγής η απαιτούμενη ισχύς και η συνολική ποσότητα που πρέπει να παραχθεί καθορίζεται από τους παρακάτω παράγοντες :

- Απόδοση αντλίας / στροβίλου κατά τη παραγωγή
- Χωρητικότητα μονάδας αντλίας / στροβίλου.
- Τύπος αντλίας / στροβίλου (Ρυθμιζόμενης ή μίας ταχύτητας)
- Διαθέσιμος όγκος νερού στην άνω δεξαμενή για τη λειτουργία του στροβίλου.
- Διαθέσιμος χώρος στην κάτω δεξαμενή.

Η παραγόμενη ενέργεια από τον στροβίλο υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$E_{\text{στροβίλου}} = P_{\text{στροβίλου}} * t, \text{ με } P_{\text{στροβίλου}} = g * \Delta H * Q * n$$

Όπου, $P_{\text{στροβίλου}}$, η ισχύς του στροβίλου,

t , ο χρόνος,

n , η απόδοση του στροβίλου (περίπου 98%)

Q , η διαθέσιμη ενέργεια

ΔH , το ύψος υδατόπτωσης

g το ειδικό βάρος του νερού.

Λειτουργία άντλησης

Κατά τη λειτουργία άντλησης το εάν θα αντληθεί νερό από τη κάτω δεξαμενή στην άνω εξαρτάται από κάποιους βασικούς παράγοντες:

- Διαθεσιμότητα πλεονάζουσας ενέργειας στο δίκτυο, ο οποία θα χρησιμοποιηθεί για την άντληση.
- Απόδοση, χωρητικότητα και τύπος αντλίας.

- Διαθέσιμος όγκος νερού στην κάτω δεξαμενή.
- Διαθέσιμος χώρος στην άνω δεξαμενή.

Η διαθέσιμη πλεονάζουσα ενέργεια που θα χρησιμοποιηθεί για την άντληση μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο :

$$E_{αντλίας} = P_{αντλίας} * t \text{ , όπου } P_{αντλίας} = (g * \Delta H * Q) / n$$

Και στη περίπτωση της άντλησης αλλά και σε αυτή της παραγωγής ο όγκος του διαθέσιμου νερού στις δεξαμενές μπορεί να υπολογιστεί με τον τύπο:

$$V = Q * t \text{ , όπου } V \text{ ο όγκος του νερού. [13, 15]}$$

3.6 Αναστρέψιμοι ΥΗΣ στην Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μια χερσαία χώρα σε ποσοστό 80%. Αποτελείται από τραχιά και βραχώδη εδάφη. Παρ' όλα αυτά, έχει πολλά ποτάμια και λίμνες, ιδανικά για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια της χώρας μας βρίσκονται κυρίως στα βορειοδυτικά, όπου βρίσκονται οι περισσότερες οροσειρές. Τα πρώτα υδροηλεκτρικά εργοστάσια στον ελλαδικό χώρο ήταν 4 μικρά έργα, Γλαύκος, Βέρμιο, Αγία Χανίων, Άγιος Ιωάννης Σερρών, τα οποία κατασκευάστηκαν το 1927 με συνολική ισχύ 6MW. Η αύξηση της χρήσης της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), με αφετηρία την ίδρυση της.

Η τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης στην Ελλάδα υλοποιείται σε δύο σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, έναν στον Θησέα και έναν στη Σφηκιά. Και στα δύο αυτά εργοστάσια, όλες οι μονάδες είναι αναστρέψιμες και είναι σε θέση να λειτουργούν ως στρόβιλοι και ως αντλίες. Η άντληση και αποθήκευση νερού ενεργοποιούνται κατά τη διάρκεια της νύχτας όταν υπάρχει έλλειψη ενέργειας από τη λειτουργία μονάδων θερμοηλεκτρικής ενέργειας. Οι εγκαταστάσεις αντλησιοταμίευσης μπορούν να βελτιώσουν την εκμετάλλευση της διαθέσιμης ενέργειας, η οποία για τα πιο κοινά υδροηλεκτρικά εργοστάσια είναι χαμηλή λόγω του γεγονότος ότι η λειτουργία τους

περιορίζεται από τις υδρολογικές συνθήκες. Κατά τη διάρκεια του ευρωπαϊκού έργου Connecting Europe Facility-Energy, η Terna Energy ολοκλήρωσε τις μελέτες και έλαβε άδειες κατασκευής για έργο συνολικής παραγωγής 680 MW στο Δήμο Αμφιλοχίας, του Νομού Αιτωλοακαρνανίας. Το εκτιμώμενο κόστος είναι περίπου 680 ευρώ / KW, ετήσια παραγωγή περίπου 820 Gwh με συνολικό συντελεστή απόδοσης 70%. Το έργο περιλαμβάνει τρία φράγματα, τον Άγιο Γεώργιο, τον Πύργο και το Καστράκι.

Σφηκιά

Το εργοστάσιο αντλησιοταμίευσης της Σφηκιάς, που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5, βρίσκεται 20 χλμ. από την πόλη της Βέροιας και ολοκληρώθηκε το 1985. Ο υδραντλητικός σταθμός αποτελείται από μία δεξαμενή.

Το ύψος του φράγματος από την ίδρυσή του είναι 82m, το μήκος του είναι 220m και ο όγκος του φράγματος είναι 1,62 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Όσο για τη δεξαμενή, η οποία λειτουργεί σε έναν ημερήσιο κύκλο, μπορεί να αποθηκεύσει 99 εκατομμύρια κυβικά μέτρα με συνολική χωρητικότητα δεξαμενών περίπου 18 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Το ύψος λειτουργίας της δεξαμενής είναι 146 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, το ελάχιστο ύψος λειτουργίας είναι 141,6 μέτρα και το ύψος της πλημμύρας είναι 147 μέτρα. Η σήραγγα εκτροπής έχει μήκος 490 μ, η διάμετρος της είναι 7,5 m και ο ρυθμός ροής είναι 620 m³ / sec. Η χωρητικότητα υπερχειλίσης της εγκατάστασης είναι 1600 m³ / δευτερόλεπτο. Επιπλέον, υπάρχουν τρεις τροφοδοσίες ισχύος με διαστάσεις 5,6 m; 10,9 μ. και απόσταση μεταξύ τους περίπου 22 μ. Η κάτω σήραγγα εξόδου βρίσκεται στην αριστερή πλευρά του φράγματος και είναι κατασκευασμένο από σκυρόδεμα. Η εσωτερική διάμετρος της σήραγγας είναι 3,50 / 3,00 m, το μήκος της σήραγγας είναι 309 m και η μέγιστη παροχή είναι περίπου 100 m³ / sec. Ο σταθμός παραγωγής είναι στην αριστερή πλευρά του φράγματος, είναι κάτω από την επιφάνεια του νερού και αποτελείται από τρεις αναστρέψιμες μονάδες. Για την άντληση υπάρχουν 3x108MW υδραντλίες και για τις γεννήτριες 3x105 MW. Οι τουρμπίνες που χρησιμοποιούνται είναι τύπου Francis, με ισχύ 143000HP και η συνολική τάση εγκατάστασης είναι 15750 V. Το μέσο ύψος πτώσης είναι

62 μέτρα και λειτουργεί σε 125 γύρους / λεπτό. Επιπλέον η κατανάλωση για την άντληση είναι 0,19 kWh / m και για την παραγωγή 7.2 m³ / kWh.



Σχήμα 3.5: Υδραντλητικός σταθμός Σφηκιάς [17]

Θησαυρός

Ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός Θησαυρός (Σχήμα 3.6) βρίσκεται στη βόρεια Ελλάδα. Το φράγμα του Θησαυρού είναι ένα φράγμα γεμάτο πετρώματα με κεκλιμένο πυρήνα στον ποταμό Νέστο, κοντά στη Δράμα. Το φράγμα του Θησαυρού ανήκει στην ΔΕΗ. Ο Θησαυρός είναι το ψηλότερο φράγμα στην Ελλάδα με ύψος 172 μέτρα. Η κατασκευή του φράγματος ολοκληρώθηκε το 1996 και χρησιμοποιεί την τεχνολογία αντλησιοταμίευσης. Το συνολικό μήκος του φράγματος Θησαυρού είναι 480 μέτρα και ο όγκος του φράγματος είναι 12 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Όσον αφορά τη δεξαμενή, η περιοχή της δεξαμενής είναι 20 τετραγωνικά μέτρα και η χωρητικότητά της είναι 705 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Επιπλέον, η περιοχή της λεκάνης απορροής είναι 4258 τετραγωνικά μέτρα και η

χωρητικότητα υπερχειλίσης είναι 6000 m³ / s. Ο αναστρέψιμος σταθμός του Θησαυρού περιέχει 3 πανομοιότυπες αναστρέψιμες μονάδες 120-MVA εξοπλισμένες με κατακόρυφους στρόβιλους τύπου Francis. Η εγκατεστημένη ισχύς της εγκατάστασης είναι 384 MW (3 - 128). Η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του εργοστασίου είναι υπόγεια με διαστάσεις 22 m (πλάτος), 42 μ. (Ύψος) και 100 m (μήκος). Είναι σύνηθες να λειτουργεί το βράδυ μια ή περισσότερες αντλίες οι οποίες έχουν ξεκινήσει από μια άλλη αναστρέψιμη μονάδα του σταθμού. Ο κύριος σκοπός του σταθμού είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπό μορφή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, άλλοι σκοποί της μονάδας είναι η άρδευση καθώς και ο έλεγχος των πλημμυρών.



Σχήμα 3.6: Ο υδραντλητικός σταθμός Θησαυρός[19]

Αγ Γεώργιος-Πύργος-Καστράκι

Στην Αμφιλοχία, στην Ελλάδα, στον ποταμό Αχελώο υπάρχει ένα έργο αντλησιοταμίευσης που βρίσκεται υπό από κατασκευή και περιλαμβάνει τρία φράγματα τον Άγιο Γεώργιο, τον Πύργο και το Καστράκι (Σχήμα 3.7). Αυτό το έργο θα είναι ένα συγκρότημα αποθήκευσης ενέργειας με δύο ανεξάρτητες ανώτερες δεξαμενές, το φράγμα του Αγίου Γεωργίου και το φράγμα του Πύργου, καθώς και μια χαμηλότερη δεξαμενή, το φράγμα στο Καστράκι. Η ιδιοκτησία αυτού του έργου ανήκει στον όμιλο Terna Energy, η οποία έχει λάβει άδεια

παραγωγής από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) και οι προσφορές προσωρινής διασύνδεσης, από την Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ).

Η ηλεκτρική ενέργεια που πρόκειται να παραχθεί ετησίως είναι 816 GWh. Το έργο θα λειτουργεί καθημερινά, 6 ώρες για λειτουργία άντλησης και 8 ώρες για τη λειτουργία παραγωγής. Γενικά, η εκτιμώμενη λειτουργία για ένα έτος είναι 200 ημέρες.

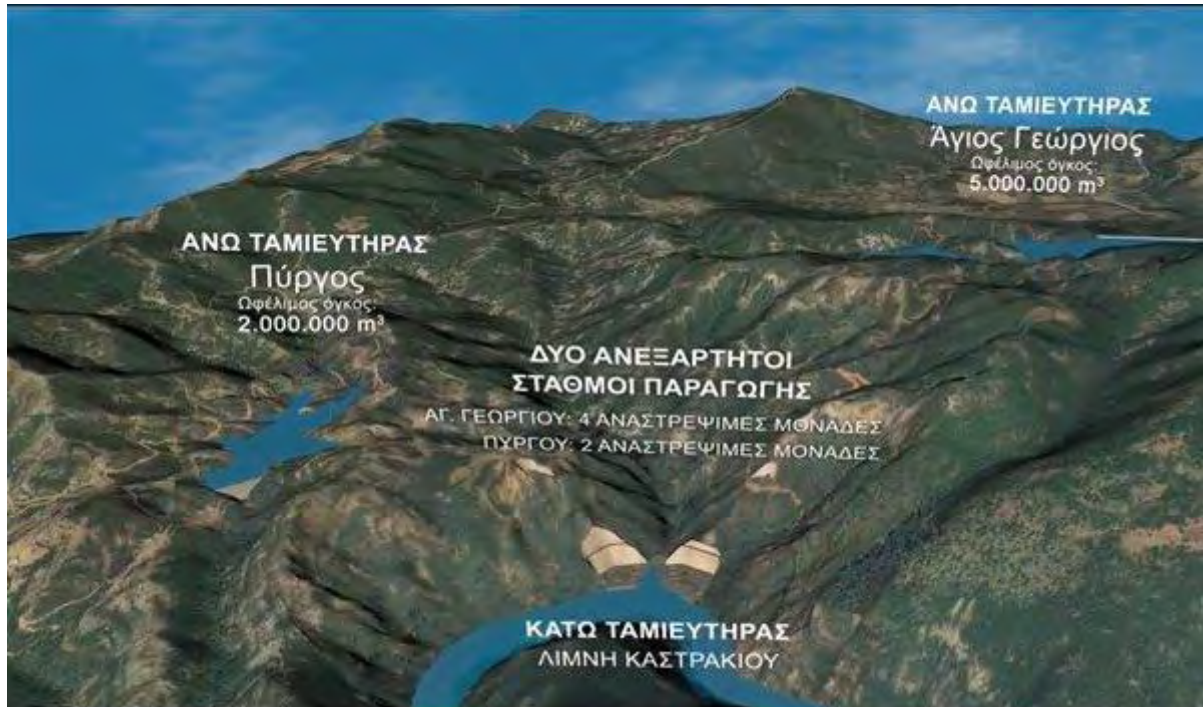
Η πρώτη ανώτερη δεξαμενή, ο Άγιος Γεώργιος θα έχει αποτελεσματική χωρητικότητα αποθήκευσης 5x10⁵ κυβικά μέτρα. Για τον τρόπο παραγωγής έχει 4 αναστρέψιμες μονάδες με εγκατεστημένη ισχύ 460 MW και μια αντλία που έχει εγκατεστημένη ισχύ 496 MW. Το επιχειρησιακό ύψος του Αγίου Γεωργίου είναι 383 μ., ενώ το ύψος της πλημμύρας είναι 383,65 μ. και το ελάχιστο επιχειρησιακό ύψος είναι 359,5m. Η χωρητικότητα αποθήκευσης δεξαμενών είναι 5 εκατομμύρια κυβικά μέτρα και ο όγκος του φράγματος είναι 620000 κυβικά μέτρα. Το ύψος του φράγματος από την ίδρυσή του είναι 54,5 μέτρα. και η περιοχή της δεξαμενής είναι 318000 τετραγωνικά μέτρα.

Η δεύτερη δεξαμενή στο φράγμα Πύργου θα έχει αποτελεσματική χωρητικότητα αποθήκευσης 2x10⁶ κυβικά μέτρα. Για την παραγωγή υπάρχουν δύο αναστρέψιμες μονάδες με εγκατεστημένη ισχύ 220 MW και για την άντληση έχει εγκατεστημένη ισχύ 234 MW. Η δεύτερη δεξαμενή, ο Πύργος, θα έχει αποτελεσματική χωρητικότητα αποθήκευσης 2x10⁶ κυβικά μέτρα. Για τον τρόπο παραγωγής έχει 2 αναστρέψιμες μονάδες με εγκατεστημένη ισχύ 220MW και για άντληση έχει εγκατεστημένη ισχύ 234 MW. Το ύψος του φράγματος από την ίδρυσή του είναι 56 μέτρα και ο όγκος είναι 160000 κυβικά μέτρα. Το ύψος λειτουργίας είναι 430 μέτρα και το ελάχιστο λειτουργικό ύψος είναι 412 μέτρα. Επιπλέον, η χωρητικότητα αποθήκευσης δεξαμενών είναι 2 εκατομμύρια κυβικά μέτρα και η περιοχή δεξαμενής είναι 174500 τετραγωνικά μέτρα.

Η κατώτερη δεξαμενή στο Καστράκι θα έχει έκταση περίπου 27,5 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα και η χωρητικότητα αποθήκευσης της θα είναι 97 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Το ύψος λειτουργίας αυτής της δεξαμενής είναι 144,65 μέτρα, σε σύγκριση με την αρχή που ήταν 142 μέτρα και το ελάχιστο ύψος λειτουργίας 140,65 μέτρα. Επιπλέον,

υπάρχουν κοινά έργα διασύνδεσης για τον Άγιο Γεώργιο και τον Πύργο τα οποία περιλαμβάνουν 400 kV της Αμφιλοχίας και μια γραμμή διασύνδεσης 400 kV με το κέντρο της υψηλής τάσης του Αχελώου. Κάθε έργο αποτελείται από μεμονωμένες κατασκευές τα οποία είναι:

1. Το σώμα του φράγματος με στοά αποστράγγισης ή ακόμα και σήραγγα στον Πύργο.
2. Υπερχείλιση.
3. Ο αγωγός διαφράγματος ο οποίος συνδέεται με τον εκκενωμένο πυθμένα και τον οικολογικό αγωγό εφοδιασμού.
4. Η ανώτερη πρόσληψη νερού
5. Οι δρόμοι πρόσβασης. [13, 18, 19, 20, 23]



Σχήμα 3.7: Το έργο αντλησιοταμίευσης Αγ. Γεώργιος-Πύργος-Καστράκι [18]

3.7 Raccoon Mountain

Το Raccoon Mountain (Σχήμα 3.8) είναι υδραντλητικός σταθμός και βρίσκεται στον ποταμό Tennessee, περίπου 10,5 χιλιόμετρα δυτικά της πόλης Chattanooga, Tennessee. Πρόκειται για μια υπόγεια μονάδα αντλησιοταμίευσης.

Η κεφαλή της άνω δεξαμενής είναι περίπου 70m και το συνολικό μήκος είναι 1800m. Η κατασκευή του έργου ξεκίνησε το 1970 και καθυστέρησε περίπου δύο χρόνια από την μηχανοποιητική λειτουργία στο δακτύλιο του στροβίλου, κάτι το οποίο απαιτούσε επανασχεδιασμό.

Η δοκιμή της πρώτης μονάδας έγινε το 1978 και η τελευταία μονάδα συμπεριλήφθηκε στο σύστημα ισχύος το 1979, ένα χρόνο αργότερα. Για τα επόμενα δύο χρόνια έγιναν πολλές έντονες τροποποιήσεις στο ηλεκτρικό σύστημα. Το 2012, το εργοστάσιο σταμάτησε να λειτουργεί λόγω ζημιών στους ρότορες των γεννητριών, αλλά συνέχισε τη λειτουργία του το 2014. Σε εθνικό επίπεδο, το Raccoon Mountain αποτελεί μια τεράστια επένδυση για την κοιλάδα του Tennessee και τις ΗΠΑ για την παραγωγή ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας. Σε διεθνές επίπεδο, ο υδραντλητικός σταθμός Raccoon Mountain ήταν η πρώτη εγκατάσταση μεγάλης κλίμακας που χρησιμοποίησε και εφήρμοσε στην πράξη τη θεωρία της αντλησιοταμίευσης και αποτέλεσε μοντέλο για πολλές αναστρέψιμες μονάδες αποθήκευσης ενέργειας, συνεισφέροντας έτσι στη διάδοση και ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας.

Ο υδραντλητικός σταθμός Raccoon Mountain έχει τέσσερις αναστρέψιμες μονάδες ισχύος 413 MW (συνολική ισχύς της εγκατάστασης είναι 1652 MW), με συντελεστή ισχύος 0,9 (PF) ως γεννήτριες και 540000 ίππους στην κατεύθυνση άντλησης. Οι τέσσερις, τύπου Francis κάθετου άξονα, αναστρέψιμες αντλίες/στροβίλοι θα έχουν συνολική ονομαστική ισχύ 1530 MW. Επιπλέον, κάθε αντλία/στροβίλος έχει ονομαστική ισχύ εξόδου (output) 525000 hp σε καθαρή κεφαλή 310,896 m και ονομαστική εκκένωση (discharge) 109,019 m³ / s σε συνολική κεφαλή 304,8 m, ως αντλία. Ο διανομέας της κεντρικής γραμμής της αντλίας/στροβίλου βρίσκεται περίπου 39.0144 κάτω από την κανονική στάθμη της πισίνας και σε υψόμετρο 153.924 μ. Όσον αφορά τις γεννήτριες και τους κινητήρες, ο καθένας

έχει ονομαστική ισχύ 382,5 MW, συντελεστή ισχύος 0,9, 60 Hz ως γεννήτρια και 540000 hp ως κινητήρας. Σε σύγχρονη ταχύτητα 300 στροφών/λεπτό όλες οι μονάδες λειτουργούν και οι τέσσερις μονάδες μπορούν να αντλήσουν με ρυθμό περίπου 509.703 m³/s σε ελάχιστη κανονική κεφαλή και περίπου 368.12 m³ / s στη μέγιστη κεφαλή. Έτσι, η μέση εκκένωση (discharge) όταν παράγεται ισχύς στα 1530 MW θα είναι περίπου 594.653 m³/s. Η ανώτερη δεξαμενή μπορεί να αποθηκεύσει 44825568,1678 m³ χρησιμοποιήσιμου νερού μεταξύ των ανώτερων υψών της πισίνας 509.6256 m και 466.344 m. Ως αποτέλεσμα αυτών, μπορούν να παραχθούν 33000000 kWh διαθέσιμης αποθηκευμένης ενέργειας.

Η χαμηλότερη δεξαμενή βρίσκεται στον ποταμό Tennessee σε μια ευνοϊκή περιοχή στη λίμνη Nickajack (δεξαμενή Nickajack). Η άνω δεξαμενή επιφάνειας 2023428,21 m², δημιουργήθηκε κατασκευάζοντας ένα φράγμα στην κοιλάδα πάνω από το Raccoon Mountain. Χρειάζονται 28 ώρες για να γεμίσει την ανώτερη δεξαμενή. Το αρχικό έργο θα είχε υδραυλική κεφαλή μήκους 313 μέτρων και θα μπορούσε να παράγει ηλεκτρισμό για 15 ώρες με ισχύ 1200 MW. Μετά το πέρασμα των ετών και τις τροποποιήσεις, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας διαρκεί 22 ώρες και η ισχύς είναι 1652MW.

Το τελικό κόστος κατασκευής του εργοστασίου ήταν 328000000 δολάρια ή 198 \$/κιλοβάτ της συνολικής ικανότητας παραγωγής. [21, 22]



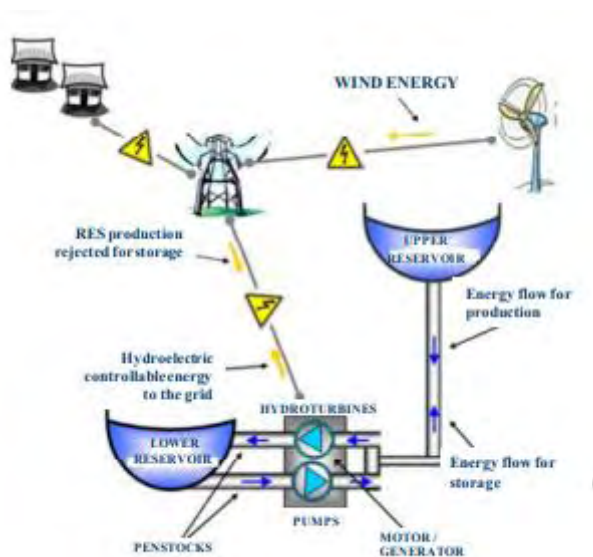
Σχήμα 3.8: Ο υδραντλητικός σταθμός Raccoon Mountain[21]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΒΡΙΔΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΟΥΣ

4.1 Υβριδικοί Σταθμοί

Ο συνδυασμός διαφορετικών τεχνολογιών είτε συμβατικών είτε ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ονομάζεται υβριδικό σύστημα. Τις τελευταίες δεκαετίες, η αύξηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κίνησε το ενδιαφέρον για τη χρήση των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών συστημάτων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο συνδυασμός δύο διαφορετικών μορφών ΑΠΕ και συγκεκριμένα της αιολικής ενέργειας (ως μονάδας ΑΠΕ του υβριδικού σταθμού) και της υδροηλεκτρικής ενέργειας (ως μονάδας παραγωγής και αποθήκευσης του υβριδικού σταθμού). Η περίσσεια αιολική ενέργεια που δεν καταναλώνεται από το δίκτυο, αξιοποιείται μέσω της άντλησης νερού από τον κάτω ταμιευτήρα στον άνω και αποθηκεύεται παράγοντας την επιθυμητή στιγμή ηλεκτρική ενέργεια. Όλη η διαδικασία ενός κύκλου άντλησης – παραγωγής φαίνεται πιο αναλυτικά στο παρακάτω Σχήμα 4.1 και εξηγείται στη συνέχεια.



Σχήμα 4.1: Κύκλος άντλησης-παραγωγής σε ένα υβριδικό σταθμό[20]

Η παραγόμενη ενέργεια απ' τον αιολικό σταθμό οδηγείται είτε απευθείας στο δίκτυο είτε στις αντλίες για αποθήκευση ενέργειας. Τις ώρες που είναι αναγκαίοι οι υδροστρόβιλοι παράγουν ενέργεια με τη μεταφορά του νερού απ' την άνω δεξαμενή στην κάτω καλύπτοντας τις απαιτούμενες ανάγκες του δικτύου. Για την αποθήκευση ενέργειας είναι δυνατή η απορρόφηση ενέργειας απ' το δίκτυο.

Ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός υβριδικού συστήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο, την τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε εξεταζόμενης περίπτωσης. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία η συνολική ενέργεια που απορροφά το υβριδικό σύστημα από το Δίκτυο, σε ετήσια βάση, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 30% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται για την πλήρωση του συστήματος αποθήκευσης του σταθμού αυτού, ενώ η μέγιστη ισχύς παραγωγής των μονάδων του σταθμού Α.Π.Ε. δεν μπορεί να υπερβαίνει την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων αποθήκευσης του σταθμού αυτού, προσαυξημένη κατά ποσοστό μέχρι 20%.

Μια τέτοια εφαρμογή συμβάλει στην αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού και στη μείωση της λειτουργίας των συμβατικών μονάδων. Οι έντονες διακυμάνσεις της αιολικής ενέργειας περιορίζονται με την ύπαρξη του αποθηκευτικού συστήματος και ως εκ τούτου επιτυγχάνεται καλύτερη διαχείριση και διείσδυση της αιολικής ενέργειας στο ενεργειακό σύστημα. Παράλληλα, η αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος αυξάνεται με την ένταξη του υδροστρόβιλου, που αποτελεί μία ελεγχόμενη μονάδα παραγωγής ενέργειας με δυνατότητα άμεσης απόκρισης. [23, 24]

4.2 Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας – ΝΑΕΡΑΣ Project

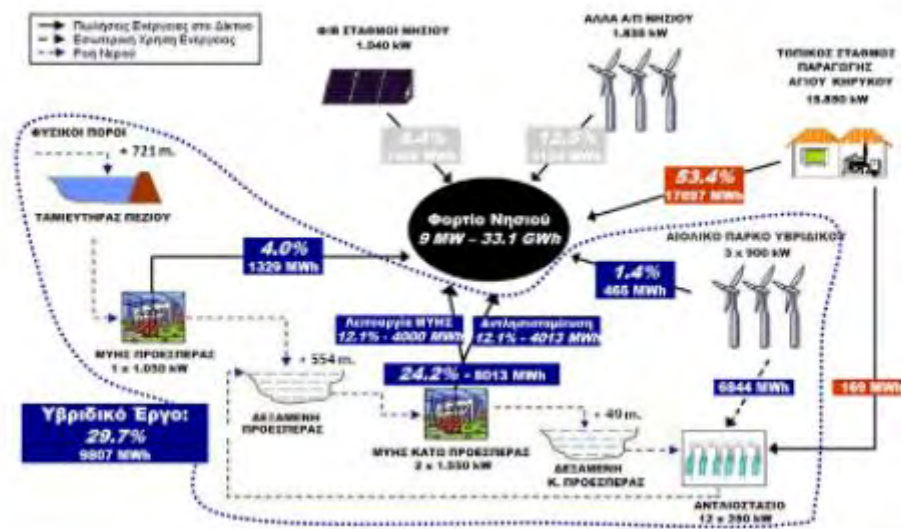
Στα περισσότερα νησιά της Ελληνικής Επικράτειας, οι ανάγκες των κατοίκων σε ενέργεια, καλύπτονται κυρίως από αυτόνομους ενεργειακούς σταθμούς, οι οποίοι παράγουν ενέργεια, με την κατανάλωση συμβατικών καυσίμων. Λόγω της μη σύνδεσής τους με το δίκτυο της υπόλοιπης ηπειρωτικής χώρας, αναγκάζονται να εισάγουν τέτοια καύσιμα,

όπως το πετρέλαιο diesel, με αποτέλεσμα να υφίστανται τις επιπτώσεις από μια ενεργειακή εξάρτηση από απομακρυσμένες περιοχές. Το Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο, προβλέπει την προώθηση των τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) στα καλούμενα «Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά», ώστε να επιτευχθεί η σταδιακή απεξάρτησή τους από τις θερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας. Για να μπορέσει όμως να αξιοποιηθεί με το βέλτιστο τρόπο το πλούσιο δυναμικό των νησιών σε Α.Π.Ε., είναι σημαντική η συμβολή της αποθήκευσης ενέργειας. Αυτός είναι και ο κύριος στόχος του Υβριδικού Ενεργειακού Έργου Ικαρίας, εν ονόματι Ναέρας, το οποίο εμπλέκει την τεχνική αποθήκευσης ενέργειας με αντλιοσταμείωση. Το έργο αυτό εγκαινιάστηκε πριν από λίγες ημέρες (3/6/2019) και αποτελεί τον πρώτο Υβριδικό Σταθμό ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα, ο οποίος συνδυάζει την ενέργεια των υδατοπτώσεων και την αιολική, ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες αιχμής των κατοίκων της Ικαρίας.

Γενικά Χαρακτηριστικά του έργου

Κατασκευάστηκε ένας υβριδικός σταθμός παραγωγής, στην τοποθεσία Προεσπέρα, στην βορειοδυτική πλευρά του νησιού. Πρόκειται για ένα υδραντλητικό σύστημα κλειστού τύπου, σε συνδυασμό με ένα αιολικό πάρκο. Συνοπτικά όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2 περιλαμβάνει δύο τεχνητές λιμνοδεξαμενές, άνω και κάτω, χωρητικότητας 80.000 m³ η καθεμία, που γεμίζουν από την υπερχειλίση του ήδη υπάρχοντος αρδευτικού ταμιευτήρα στο Πέζι συνολικού όγκου περίπου 910.000 m³. Έχει συνολική δυνατότητα υδροηλεκτρικής παραγωγής 4,1 MW, με δύο Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς (ΜΥΗΣ) δεξαμενής, υψηλής πίεσης (>100 m), με στροβίλους μικρής παροχής τύπου Pelton. Ο πρώτος σταθμός (υδροηλεκτρικός) βρίσκεται μετά την υπερχειλίση του φράγματος, πριν την άνω δεξαμενή, με ισχύ 1 MW και αξιοποιεί μόνο την περίσσεια νερών του ταμιευτήρα του φράγματος στο Πέζι (αφού πρώτα καλυφθούν οι υποχρεώσεις για ύδρευση, οικολογική παροχή και άρδευση). Ο δεύτερος (υδραντλητικός) βρίσκεται πριν την κάτω δεξαμενή, με ισχύ παραγωγής $2 \times 1,55 = 3,1$ MW και αξιοποιεί τόσο τη περίσσεια νερών του ταμιευτήρα όσο και τα νερά που προέρχονται από αντλιοσταμείωση. Στην συνέχεια το νερό ανυψώνεται, επιστρέφοντας στην άνω δεξαμενή, με αντλιοστάσιο ισχύος 2,4 MW με 12 αντλίες ονομαστικής ισχύος 250 kW έκαστη, εκ των οποίων οι 4 είναι μεταβλητών στροφών. Αυτή η ισχύς καλύπτεται από ένα αιολικό πάρκο ισχύος 2,7

MW στη τοποθεσία Στραβοκουντούρα Ραχών με τρεις ανεμογεννήτριες των 900 kW η καθεμία. Τέλος τα κέντρα ελέγχου ενέργειας και κατανομής φορτίου του Ναέρα και της Ικαρίας θα εγκατασταθούν σε χώρο εντός του τοπικού σταθμού παραγωγής στον Άγιο Κήρυκο, εξασφαλίζοντας τόσο την επικοινωνία μεταξύ των επιμέρους τμημάτων του έργου όσο και την ενεργειακή ασφάλεια του νησιού και την αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος. Το έργο υπολογίζεται πως κόστισε περίπου 50 εκ ευρώ και περιλαμβάνει χωματουργικές εργασίες, κτιριακές εγκαταστάσεις, υδροστροβίλους, αγωγούς νερού (σωληνώσεις), γραμμές μεταφοράς ενέργειας, γραμμές επικοινωνίας (οπτικές ίνες) και εγκατάσταση εποπτικού συστήματος SCADA.



Σχήμα 4.2: Λειτουργία Υβριδικού Έργου-Μελλοντικό Ενεργειακό Ισοζύγιο Ικαρίας[30]

Σκοπός Κατασκευής του έργου

Πρόκειται για το πρώτο έργο του είδους του στην Ελλάδα. Επιτρέπει την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων (βροχόπτωση), αλλά και την καλύτερη απορρόφηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Λειτουργεί ως ταμιευτήρας που αποθηκεύει το πλεόνασμα ενέργειας από ασταθείς πηγές, όπως είναι η αιολική, και το διαθέτει όταν

ζητηθεί στην κατανάλωση. Επιλέχθηκε να εγκατασταθεί σε Αυτόνομο Σύστημα Παραγωγής (ΑΣΠ) νησιού, ώστε να αυξήσει την διείσδυση ΑΠΕ, ελαχιστοποιώντας την κατανάλωση πετρελαίου. Οι πετρελαιομηχανές έχουν πολύ υψηλό κόστος λειτουργίας, αλλά χρησιμοποιούνται αναγκαστικά στα ΑΣΠ των νησιών, λόγω της ευκολίας μεταφοράς του καυσίμου. Η παραγωγή ενέργειας στα ΑΣΠ που λειτουργούν με πετρέλαιο κοστίζει πολλαπλάσια περισσότερο απ' ό τι στην ηπειρωτική χώρα. Επιπλέον στα νησιά η πώληση ενέργειας σε σχέση με τις υποδομές που κατασκευάζονται είναι μικρή, εκτός από τον μήνα Αύγουστο. Η επένδυση ενός υβριδικού έργου σε ένα αυτόνομο σύστημα ωφελεί οικονομικά, γιατί αντικαθιστά το πετρέλαιο με ΑΠΕ, αλλά και μειώνει την εξάρτηση από ένα καύσιμο που εισάγεται, σε αντίθεση με τον λιγνίτη που εξορύσσεται εδώ. Η χρήση των φυσικών, “καθαρών” πηγών ενέργειας έχει επιπλέον περιβαλλοντικά οφέλη.

Λειτουργία Έργου

Αρχικά το έργο για τη λειτουργία του χρησιμοποιεί νερό το οποίο ούτως ή άλλως θα χυνόταν στην θάλασσα. Συγκεκριμένα, από το υπάρχον φράγμα στο Πέζι, χωρητικότητας 910.000 m³, υπερχειλίζουν κάθε χρόνο περίπου 7.000.000 m³ νερού στο φαράγγι της Χάλαρης. Ένα μέρος αυτού του νερού θα οδηγείται μέσω των υπογείων αγωγών διαδοχικά στις δύο τεχνητές δεξαμενές.

Κατά τους χειμερινούς μήνες, το έργο θα λειτουργεί σαν απλό υδροηλεκτρικό, με τους 2 ΜΥΗΣ και στη συνέχεια το νερό θα καταλήγει στην θάλασσα. Ταυτόχρονα θα συνεισφέρει και το Α/Π.

Από 15 Απριλίου μέχρι 15 Οκτωβρίου θα σταματάει η τροφοδοσία με νερό από το Πέζι, ώστε να μην μειωθεί η στάθμη του, και η υπερχειλίση του φράγματος θα διοχετεύεται εξολοκλήρου στο φυσικό φαράγγι. Ο άνω ΜΥΗΣ θα παύει την λειτουργία του και οι δύο λιμνοδεξαμενές θα κρατούν απόθεμα νερού. Έτσι το σύστημα μετατρέπεται σε υδραντλητικό κλειστού τύπου, με δύο δεξαμενές. Κατά την θερινή λειτουργία μέρος του νερού της άνω δεξαμενής θα αδειάζει προς την κάτω, θέτοντας σε λειτουργία τον κάτω ΜΥΗΣ. Τις βραδινές ώρες που η ζήτηση είναι μικρή, ποσότητα νερού θα επιστρέφει στην

άνω δεξαμενή, αντλούμενο με αιολική ενέργεια που θα έμενε ανεκμετάλλευτη, ή με την περίσσεια του δικτύου γενικότερα.

Με αυτό τον τρόπο ο Ναέρας υπολογίζεται ότι θα παράγει 9,8 GW / έτος καλύπτοντας έτσι μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών του νησιού.

Η λειτουργία του έργου, εκτός από την αξιοποίηση των φυσικών πηγών ενέργειας, δηλαδή του πλεονάζοντος νερού και της ένταξης των νέων Α/Γ του πάρκου, θα προσφέρει επιπλέον τις εξής δυνατότητες στο σύστημα του νησιού:

- Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, με την μορφή δυναμικής ενέργειας του νερού λόγω ύψους (*αντλησιοταμίευση*). Επειδή η ενέργεια αυτή θα προέρχεται από τον αέρα, αυξάνεται η απορρόφηση του αιολικού δυναμικού. Μπορεί όμως να προκύπτει και από άλλες πηγές, είτε ανανεώσιμες είτε από τυχόν πλεόνασμα θερμικής ισχύος. Η τεχνολογία αποθήκευσης αντιμετωπίζει το κυριότερο πρόβλημα των ΑΠΕ, που είναι από την φύση τους μεταβλητές, μη ελεγχόμενες, και συχνά μη διαθέσιμες όταν πραγματικά χρειάζονται.
- Η χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας γίνεται είτε όταν υπάρχει μεγάλη ζήτηση από τους καταναλωτές, δηλαδή στο φορτίο αιχμής, είτε ως εφεδρεία σε περίπτωση ανάγκης, αντικαθιστώντας την χρήση επιπλέον καυσίμου. Η διαχείριση του πλεονάσματος ενέργειας είναι πλέον αποκομμένη από την στιγμή της παραγωγής του. Μπορεί να χρησιμοποιείται επικουρικά, για ρύθμιση της παρεχόμενης ισχύος στο δίκτυο, αντισταθμίζοντας τις μεταβολές των ΑΠΕ κατά την διάρκεια της ημέρας (*ρύθμιση συχνότητας*).
- Εφόσον μελλοντικά υπάρξει διασύνδεση του νησιού σε μεγαλύτερο δίκτυο, η χρήση της αποθηκευμένης ενέργειας μπορεί να συνεισφέρει φθηνά στο φορτίο αιχμής του ευρύτερου συστήματος, που συνήθως καλύπτεται με αντιοικονομικές μονάδες. Αργότερα αυτή η ενέργεια αναπληρώνεται από το υπόλοιπο δίκτυο, όχι μόνο με ΑΠΕ αλλά ακόμα και με φθηνότερες θερμικές μονάδες, όπως είναι οι

μεγάλες ατμοηλεκτρικές μονάδες με λιγνίτη, που λειτουργούν αδιάκοπα κατά τις περιόδους χαμηλής ζήτησης.

Προσφορά στην τοπική κοινωνία

Ο Ναέρας θα προσφέρει άμεσα και έμμεσα σημαντικά οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη στο νησί της Ικαρίας :

- Μείωση των εκπομπών ρύπων CO₂ της τάξεως των 13.800 τόνων ετησίως, από την ελαχιστοποίηση της λειτουργίας του πετρελαϊκού τοπικού σταθμού παραγωγής.
- Ενίσχυση της ενεργειακής επάρκειας του νησιού, κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους, και περιορισμό της εξάρτησής του από το πετρέλαιο.
- Κατασκευή ενισχυμένης διπλής γραμμής Μέσης Τάσης 20 kV, η οποία ενώνει την ανατολική με τη δυτική πλευρά του νησιού. Η λειτουργία της θα αυξήσει τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος της Ικαρίας, μειώνοντας δραστικά τις διακοπές ρεύματος λόγω βλαβών.
- Αναστροφή των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την κατασκευή του Έργου με την υλοποίηση μέτρων αποκατάστασης του περιβάλλοντος (π.χ. δενδροφυτεύσεις).
- Οικονομική ενίσχυση της τοπικής κοινωνίας μέσω των κρατήσεων – ανέρχονται στο ύψος του 3% επί των εσόδων– που θα προέρχονται από τη λειτουργία του Έργου.
- Αναβάθμιση της Ικαρίας στον τομέα του τουρισμού, καθώς αναμένεται να καταστεί πόλος έλξης για φοιτητές, επιστήμονες αλλά και ευαισθητοποιημένους περιβαλλοντικά πολίτες, λόγω των καινοτομιών και του «πράσινου» χαρακτήρα του Έργου. [23, 24]

4.3 Υβριδικό Ενεργειακό Έργο El Hierro – Gorona del Viento Project

Στις 10 Ιανουαρίου 2007, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε μια σειρά μέτρων για το κλίμα και την ενέργεια στα κράτη μέλη, η οποία αφορούσε μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική ενεργειακή κατανάλωση και αποδοτικότητα.

Μια ιδανική τοποθεσία για την επίτευξη αυτού τού στόχου ήταν το El Hierro, το μικρότερο από τα Κανάρια Νησιά, αναγνωρισμένο από την UNESCO το 2000 ως αποθεματικό βιόσφαιρας και γεωλογικό πάρκο. Η περιοχή του El Hierro είναι ορεινή και το τοπίο είναι ποικίλει, καθώς αποτελείται από πευκοδάση με απότομα βράχια (στην ακτή, η περιοχή φτάνει τα 1500 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας) και γεωλογικούς σχηματισμούς με βραχώδεις λεκάνες. Το νησί είναι ελάχιστα κατοικημένο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αφού η έκταση των 278 km² κατοικείται από 7000-10.000 άτομα (36 άτομα ανά km²).

Αρχικά, η ζήτηση ενέργειας του νησιού εξασφαλίστηκε με ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ντίζελ. Το πετρέλαιο σε ποσότητα 6000 τόνων ετησίως μεταφερόταν στο νησί με δεξαμενόπλοιο (το κόστος ανερχόταν σε 2.000.000 ευρώ).

Σύμφωνα με τα σχέδια, μέχρι το έτος 2050, όλα τα νησιά του αρχιπελάγους των Κανáriων Νήσων θα εφοδιάζονται με ενέργεια 100% παραγόμενη από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η στρατηγική προβλέπει μερίδιο 20% των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο έως το έτος 2020 και έως το έτος 2030, το ποσοστό αυτό θα ανέβει στο 58%.

Στόχος του project ήταν, λοιπόν, η ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών των κατοίκων μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στα σχέδια ήταν η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου σε συνδυασμό με το υπάρχον ενεργειακό σύστημα UNELCO-ENDESA (αυτό είναι συνεργασία δύο εταιρειών: η εταιρεία Empresa Nacional de Electricidad-ENDESA και η Union Electric Company-UNELCO και περιλαμβάνει το ντίζελ εργοστάσιο) και η

μονάδα αντλησιοταμίευσης, η οποία έπρεπε να εκπληρώσει το ρόλο αποθήκευσης ενέργειας σε περίπτωση ανεπάρκειας αιολικής ενέργειας.

Η τοπογραφία του νησιού είναι ιδανική για την ολοκλήρωση αυτής της επένδυσης. Η κορυφή ενός εξαφανισμένου ηφαιστείου ήταν το κατάλληλο μέρος για τη θέση των ανεμογεννητριών. Η γεωγραφική θέση του νησιού εγγυάται υψηλά επίπεδα ανέμου 7,24-8,42 m / s, με τη υψηλότερη ταχύτητα ανέμου που κατεγράφη το 2017 να είναι 30,8 m / s . Ένα επιπλέον πλεονέκτημα ήταν η δυνατότητα χρήσης του κρατήρα La Caldera ως φυσικού (άνω) ταμιευτήρα του υδραντλητικού σταθμού. Τα πρώτα έργα που αφορούσαν την ενσωμάτωση του αιολικού πάρκου με τον υδραντλητικό σταθμό αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του '80.

Το project αποτελεί μία καινοτόμο στρατηγική λειτουργίας στο νησί El Hierro και στην επίτευξη αξιόπιστου και αποτελεσματικού ενεργειακού συστήματος που λειτουργεί αποκλειστικά με χρήση ΑΠΕ. Η χρήση μιας μονάδας αντλησιοταμίευσης επιτυγχάνει τη σταθεροποίηση της ενέργειας που παρέχεται από ένα αιολικό πάρκο. Η λειτουργία αυτή επιτρέπει τη ρύθμιση του συστήματος και αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες ενέργειας και κατά συνέπεια μειώνει την εξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα. Η ενέργεια που αποθηκεύεται στον υδραντλητικό σταθμό (με τη μορφή νερού στον άνω ταμιευτήρα) κατά τις περιόδους ισχυρών ανέμων μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό όταν το φορτίο υπερβεί την τρέχουσα ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο μέσω ενός υδραυλικού στροβίλου, δηλαδή σε περιόδους υψηλής ζήτησης.

Το project υποστηρίχθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς και από τις κεντρικές και τοπικές αρχές. Το εγχείρημα συγχρηματοδοτήθηκε από τον προϋπολογισμό του Συμβουλίου της Νήσου El Hierro (65,82%), την Endesa (23,21%), το Ινστιτούτο Τεχνολογίας των Κανάριων Νήσων (7,74%) και την Αυτόνομη Κοινότητα των Καναρίων Νήσων (3,23%). Η εταιρεία Gorona del Viento ιδρύθηκε το έτος 2004. Οι εργασίες κατασκευής άρχισαν το έτος 2009 με την απόκτηση άδειας από τις τοπικές αρχές και τη διεξαγωγή περιβαλλοντικής εκκαθάρισης.

Ο υβριδικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής του El Hierro που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3, αποτελείται από ένα αιολικό πάρκο, μια υδροηλεκτρική μονάδα, έναν σταθμό αντλιοσταμίου και δύο μεγάλες δεξαμενές νερού.

Υδροηλεκτρικός Σταθμός

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός χρησιμοποιεί τη δυναμική ενέργεια της αποθήκευσης νερού, εξασφαλίζοντας τόσο την ηλεκτρική παροχή όσο και την υποστήριξη του δικτύου. Είναι εξοπλισμένο με 4 ομάδες υδροστροβίλων Pelton με ονομαστική ισχύ 2830 kW η κάθε μία, δηλαδή συνολική ισχύ 11,32 MW. Η ενεργή ισχύς σε κάθε ομάδα μπορεί να ελεγχθεί σε ένα εύρος από 280kW έως 2830kW. Η κάτω δεξαμενή νερού έχει χωρητικότητα 149.000 m³ από ένα φράγμα που κατασκευάστηκε για το σκοπό αυτό, με υλικά στεγανοποίησης φύλλων PVC, ενώ η άνω δεξαμενή νερού βρίσκεται στον κρατήρα «La Caldera» και έχει μέγιστη χωρητικότητα 380.000 m³. Οι δύο δεξαμενές συνδέονται μεταξύ τους με δύο αγωγούς με στεγανοποίηση από PVC φύλλα.

Σύστημα Αντλησης

Ο στόχος του συστήματος άντλησης στον υδραντλητικό σταθμό είναι να αντλήσει το νερό από την κάτω στην άνω δεξαμενή, εκμεταλλεύοντας έτσι, την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το αιολικό πάρκο. Το σύστημα άντλησης (Flowserve) αποτελείται από δύο μονάδες αντλιών 1.500 kW και έξι αντλίες 540 kW με συνολική ισχύ άντλησης 6 MW, χρησιμοποιώντας μετασχηματιστές 1600kW. Η τεχνική διαμόρφωση των αντλιών επιτρέπει στο σύστημα αυτό να αντλήσει μέχρι 2500 m³ / h

Αιολικό Πάρκο

Το αιολικό πάρκο αποτελείται από πέντε ανεμογεννήτριες (Enercon E-70) με ισχύ 2.3MW έκαστη, συνολικού ύψους 11,5 MW. Ο ρόλος του αιολικού πάρκου είναι πολύ σημαντικός, καθώς αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας. Ο σχεδιασμός του αιολικού πάρκου έχει λάβει υπόψη την αναμενόμενη μελλοντική ζήτηση ισχύος του νησιού.



Σχήμα 4.3: Το υβριδικό έργο στο El Hierro[26]

Από τις 27 Ιουνίου 2014, το νησί τροφοδοτείται πειραματικά με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ένα χρόνο αργότερα, το ενεργειακό σύστημα άρχισε την κανονική λειτουργία του, συμπεριλαμβανομένων δοκιμαστικών σταδίων. Στις 9 Αυγούστου 2015, για δύο συνεχόμενες ώρες, το αιολικό πάρκο παράγει την ενέργεια που εξασφάλισε τη ζήτηση των κατοίκων χρησιμοποιώντας μόνο ΑΠΕ. Αυτή ήταν η πρώτη επιτυχία της νέας επένδυσης. Θεωρήθηκε ότι το πλεόνασμα της αιολικής ενέργειας έπρεπε να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία των αντλιών, έτσι ώστε το νερό να μπορεί να μεταφερθεί από τον κάτω ταμιευτήρα στον άνω. Ο γεμάτος άνω ταμιευτήρας χρησιμοποιήθηκε για την αποθήκευση ενέργειας.

Με βάση την τριετή περίοδο παρακολούθησης της λειτουργίας του συστήματος στο νησί Ελ Ηιέρρο, εξήχθη το συμπέρασμα ότι οι ΑΠΕ δεν μπορούν ακόμα να καλύψουν το 100% της ζήτησης. Οι παροντικές ελλείψεις της αιολικής ενέργειας και της ενέργειας που

αποθηκεύεται στον ταμιευτήρα, του οποίου η χωρητικότητα είναι πολύ μικρή, καλύφθηκαν από τη γεννήτρια ντίζελ του νησιού. Σίγουρα, όμως, η τάση για συμβολή των ΑΠΕ στην ενεργειακή οικονομία του νησιού ήταν σαφώς αυξανόμενη. Το μέσο μερίδιο των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας κατά το δεύτερο εξάμηνο του 2015 ήταν 19,4% και το 2016 ήταν 40,7%. Το γραφείο Τύπου της Red Eléctrica, η οποία είναι η δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού της Ισπανίας, δήλωσε ότι το 2017, χάρη στη συνεργασία με την Gorona del Viento, ήταν δυνατό να αυξηθεί το μερίδιο της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην El Hierro στο 46,5%. Το μέσο μερίδιο των ΑΠΕ στο πρώτο εξάμηνο του 2018 αυξήθηκε σε 59,67%. Επιπλέον, καταγράφηκαν επιτυχίες της βραχυπρόθεσμης ενεργειακής αυτάρκειας του νησιού με μόνο ΑΠΕ, καθώς τον Αύγουστο του 2018 για 2 χρονικές περιόδους το νησί τροφοδοτήθηκε εξ ολοκλήρου με τη χρήση ΑΠΕ, αφού όπως παρατηρήθηκε, το ποσοστό τους στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας άγγιξε το 100%.

Περιβαλλοντικά και Οικονομικά Οφέλη

Τα περιβαλλοντικά οφέλη (Πίνακας 4.1) για το El Hierro της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του υβριδικού αυτού σταθμού, θα είναι ζωτικής σημασίας για αυτό το έργο μοντέλο του υβριδικού σταθμού στο El Hierro αποτελεί ήδη, άλλωστε τον πρώτο υβριδικό σταθμό στην Ευρώπη, και θα είναι ένα παράδειγμα που θα αναπαραχθεί σε παρόμοια απομονωμένα συστήματα ισχύος σε όλο τον κόσμο. Το 2017 επιτεύχθηκε σημαντική εξοικονόμηση καυσίμων: 6.000 τόνοι ντίζελ, που ισούται με 40.000 βαρέλια πετρελαίου που θα έπρεπε να εισαχθούν με πλοίο στο νησί, εξοικονομώντας έτσι άνω των 1,8 εκατομμυρίων € / έτος. [25, 26, 27]

Πίνακας 4.1: Τα περιβαλλοντικά οφέλη του υβριδικού σταθμού στο El Hierro[27]

Περιβαλλοντικά οφέλη	2015 (από το καλοκαίρι)	2016	2017	Συνολικά
Εξοικονόμηση καυσίμων (σε τόνους Diesel)	2.099	5.366	6.070	13.535
Μείωση εκπομπών ρύπων (σε τόνους CO ₂)	4.352	11.629	13.150	29.131

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον σύγχρονο κόσμο με την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση των ανθρώπων όσον αφορά τον ενεργειακό θέμα, οι καθαρές πηγές ενέργειας συνιστώνται για παγκόσμια χρήση. Όσο οι ενεργειακές απαιτήσεις και τα περιβαλλοντικά ζητήματα, όπως η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, διευρύνονται καθημερινά, η ανθρωπότητα πρέπει να βρει λύσεις σε αυτά τα προβλήματα. Μια λύση που μπορεί να βοηθήσει είναι η ενέργεια που προέρχεται από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Αυτή η ενέργεια δεν μπορεί μόνο να βοηθήσει τον πλανήτη, αλλά μπορεί να αντιμετωπίσει τα τεράστια ενεργειακά προβλήματα, όπως η εξάντληση των καυσίμων. Αυτά καθιστούν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας απαραίτητες για την ανθρωπότητα σήμερα.

Μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που έχει ένα μεγάλο πλεονέκτημα, είναι η υδροηλεκτρική ενέργεια, η ενέργεια που παράγεται από τη μηχανική κίνηση του νερού. Οι τεχνολογίες υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι αρκετά ώριμες, με πολλά χρόνια ιστορίας και μπορούν να παράσχουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας χωρίς άνθρακα. Υπάρχουν πολλοί τρόποι παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας με την πρόοδο της τεχνολογίας της τουρμπίνας, η οποία και αναλύθηκε στην παρούσα εργασία.

Παράλληλα όμως, οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη διείσδυση των ΑΠΕ στο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης είναι από τις πλέον υποσχόμενες μεταξύ των τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας με μεγάλη απόδοση. Γι' αυτό το λόγο η Ελλάδα πρέπει να εκμεταλλευτεί το γεωλογικό πλεονέκτημά της και να αυξήσει αυτού του είδους τα έργα, καθώς αυτή τη στιγμή έχει δύο υδραντλητικούς σταθμούς στη Σφηκιά και στο Θησαυρό και ένα υπό ανάπτυξη έργο, το σύμπλεγμα Άγιος Γεώργιος-Πύργος-Καστράκι, όπως παρουσιάστηκαν στη συγκεκριμένη εργασία. Επίσης, έγινε αναφορά στο Raccoon Mountain, ένας από τους μεγαλύτερους υδραντλητικούς σταθμούς στον κόσμο.

Επιπλέον, μελετήθηκε πως μπορεί η τεχνολογία της αντλησιοταμίευσης να συνδυαστεί με άλλες ΑΠΕ, πιο συγκεκριμένα με την αιολική ενέργεια που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες, και έτσι να δημιουργηθούν υβριδικά έργα. Το πρώτο υβριδικό έργο αντλησιοταμίευσης – αιολικού πάρκου στην Ευρώπη είναι το έργο στο El Hierro των Κανάριων Νήσων, ενώ το δεύτερο εγκαινιάστηκε στο νησί της Ικαρίας της Ελλάδας. Τέλος, διερευνήθηκαν τα ενεργειακά, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη των υβριδικών έργων, ειδικά κιάλας για απομονωμένα συστήματα ισχύος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ανδρίτσος, “Ενέργεια και περιβάλλον” , 2008.
- [2] Panwar N.L, Kaushik S.C., Surendra Kothari, “Role of renewable energy sources in environmental protection: A review”, 2010.
- [3] Καπλάνη Α., “Το ενεργειακό πρόβλημα στην σύγχρονη εποχή”, Ερευνητική Εργασία, 2013.
- [4] Αποστόλου Ι., “Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα: Εξέλιξη ενεργειακών μεγεθών και προβλέψεις ”, Διπλωματική Εργασία Πανεπιστημίου Πειραιώς, 2018.
- [5] Αργυράκης Ι., “Εκμετάλλευση των Υδροηλεκτρικών Σταθμών ως Έργων Πολλαπλού Σκοπού”, 2009.
- [6] Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ), “Μελέτη επάρκειας ισχύος”, 2013.
- [7] Καρυμπάλης Ε., Κιουράς Γ., ”Υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας”, Πτυχιακή Εργασία Χαροκοπείου Πανεπιστημίου, 2010.
- [8] 1^ο Πανελλήνιο συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων, 2008.
- [9] Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων, “Τα φράγματα της Ελλάδας”, 2013.
- [10] Μαμασούλας Α., Πράσινος Ν., “Μελέτη της υδροηλεκτρικής εγκατάστασης στο τεχνητό φράγμα Καστρακίου”, Πτυχιακή Εργασία Πανεπιστημίου Πάτρας, 2015.
- [11] Yan C., “Pumped Hydro Electric Storage”, 2016.
- [12] Antal B., “Pumped Storage Hydropower-Technical Review”, 2014.
- [13] Rehman S., Al-Hadhrami L., Alam M., “Pumped hydro energy storage system: A technological review”, 2014.
- [14] International Hydropower Association (IHA), “The world’s water battery: Pumped hydropower storage and the clean energy transition”, 2018.

- [15] MWH Global, “Technical Analysis of Pumped Storage and Integration with Wind Power in the Pacific Northwest”, 2009.
- [16] Energy press, “Greek energy 2017”, 2017.
- [17] Καραγιαννίδης Α.Π., Παπαϊωάννου Ε.Α., “Υδροηλεκτρικά Έργα της ΔΕΗ ΑΕ στον ποταμό Αλιάκμονα”, 2015.
- [18] Terma Energy, “Σύστημα Αντλησοταμίευσης Αμφιλοχίας”, 2016.
- [19] Anastassopoulos K., Hoek E., Milligan V., Riemer W., “Thissavros hydropower plant managing geotechnical problems in the construction.”, 2004.
- [20] Anagnostopoulos, J. S., Papantonis, D. E., “Study of pumped storage schemes to support high res penetration in the electric power system of greece”, p 416–423, 2012.
- [21] Adkins F., “Raccoon mountain pumped-storage plant-ten years operating experience”, IEEE transactions on energy conversion, 1987.
- [22] Tennessee valley authority (TVA), <https://www.tva.gov/Energy/Our-Power-System/Hydroelectric/Raccoon-Mountain>
- [23] Κατσάφαρος Ι., “Μελέτη του Ενεργειακού Συστήματος της Ικαρίας”, Διπλωματική Εργασία του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών, 2011.
- [24] Φωτιάδης Μ., “Αιολική ενέργεια και αειφόρος ανάπτυξη: εμπειρική έρευνα καταγραφής γνώσεων και στάσεων των κατοίκων της Ικαρίας”, Μεταπτυχιακή εργασία Πανεπιστημίου Αιγαίου, 2008.
- [25] Grazyna F. J., “El Hierro Renewable Energy Hybrid System: A Tough Compromise”, Department of Electrical Engineering, Poznan University of Technology, 2018.
- [26] Godina R., Rodrigues E. M. G., Matias J. C. O., Catalão J. P. S., “Sustainable Energy System of El Hierro Island, University of Beira Interior, 2015.
- [27] Taveira N., Palomares J., Quitmann E., “The Hybrid Power Plant in El Hierro Island: Facts and Challenges from the Wind Farm Perspective”, 3rd International Hybrid Power Systems Workshop, Tenerife, Spain, 08-09 May 2018.
- [28] ΥΔΡΕΤΜΕ Α.Ε., <http://hydretme.gr/projects.html>
- [29] Nation D., Smith K., “Renewable Energy uptake and the Jamaican Grid: The 30% Journey to 2030”, 2016.

- [30] Energeia.gr, <https://www.energia.gr/article/156886/deh-egkainia-yvridikoy-energeiakoy-ergoy-ikarias-naeras>
- [31] Σκουληκάρης Χ., “Υδραυλικές Μηχανές και Ενέργεια”, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 2016