

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΙΚΡΟΙ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

ΚΑΤΣΑΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2017

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο « Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί» εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής. Καταρχάς, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή, κύριο Σχοινά Νικόλαο, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση αυτής της πτυχιακής εργασίας, για τη δυνατότητα που μου προσέφερε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, για την πολύτιμη βοήθεια, καθώς και για τις υποδείξεις και τις διορθώσεις του.

Επίσης, θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στα μέλη της συμβουλευτικής – εξεταστικής επιτροπής, κυρίους Δροσόπουλο Αναστάσιο και Χαραλαμπάκο Βασίλειο, οι οποίοι ευγενικά δέχθηκαν να συμμετάσχουν σε αυτή και να αξιολογήσουν την πτυχιακή μου εργασία.

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξη και τη συμπαράσταση που μου προσφέρει σε κάθε μου βήμα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι αρνητικές επιπτώσεις που προκαλούν τα συμβατικά καύσιμα στο περιβάλλον, (π.χ. η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στη γη και η μεγάλη συσσώρευση ρύπων και διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, σε συνδυασμό με τη σταδιακή εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων τους και την αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια οδηγούν τις σύγχρονες κοινωνίες στην αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Το συγκριτικό πλεονέκτημά τους έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας είναι ότι οι ΑΠΕ είναι ανεξάντλητες, φιλικές προς το περιβάλλον και μακροπρόθεσμα συμβάλουν στη μείωση τους κόστους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μία τέτοια μορφή ενέργειας είναι και η υδροηλεκτρική. Το σύνολο των τεχνικών έργων και του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική καλείται Υδροηλεκτρικό Έργο.

Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζονται αναλυτικά οι Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (ΜΥΗΣ) και τα τεχνικά έργα καθώς και ο εξοπλισμός που απαιτούνται για το σχεδιασμό τους. Παράλληλα, στο πρακτικό μέρος της εργασίας υπολογίζεται για έναν υπάρχον ιδιωτικό ΜΥΗΣ στην Ελλάδα, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 7,5 MW, ο οποίος λειτουργεί με δύο υδροστροβίλους τύπου Francis και έναν υδροστρόβιλο τύπου Pelton κατακόρυφου άξονα, η υδραυλική και η ηλεκτρική ισχύς του. Στόχος της μελέτης είναι η επαλήθευση της ηλεκτρικής ισχύος του σταθμού και των τύπων υδροστροβίλων που χρησιμοποιούνται.

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά αναλύονται όλες οι ΑΠΕ (ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια, γεωθερμική ενέργεια, βιομάζα, υδροηλεκτρική ενέργεια, παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια των κυμάτων) και παρουσιάζονται οι βασικότερες εφαρμογές τους καθώς και τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

Ακολούθως, αφού πραγματοποιείται διάκριση μεταξύ των μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών και των ΜΥΗΣ, παρουσιάζονται με στοιχεία οι σημαντικότεροι ΜΥΗΣ της Ελλάδας, το θεσμικό και το νομικό πλαίσιο που τους διέπει, η αδειοδοτική διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί για την εγκατάσταση και τη λειτουργία τους, καθώς και τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που απορρέουν από την κατασκευή και τη λειτουργία τους.

Στη συνέχεια της εργασίας περιγράφονται διεξοδικά τα τεχνικά έργα (φράγμα, εκχειλιστής, υδροληψία, αγωγός προσαγωγός, πύργος ανάπαλσης, σταθμός παραγωγής κλπ.) και ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός (υδροστρόβιλος, γεννήτρια, μετασχηματιστής κλπ.) που απαιτείται για το σχεδιασμό ενός ΜΥΗΣ.

Μετά την παράθεση όλων των παραπάνω, και με τη χρήση υδραυλικών σχέσεων, πινάκων και σχημάτων, υπολογίζονται η υδραυλική και η ηλεκτρική ισχύς για τον εξεταζόμενο ΜΥΗΣ και προκύπτει το συμπέρασμα ότι όντως είναι απαραίτητη η

χρησιμοποίηση των τριών υδροστροβίλων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή ισχύς του σταθμού σε συνδυασμό των τριών μονάδων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	viii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	x
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας	1
1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης της εργασίας.....	1
1.3 Διάρθρωση της εργασίας.....	2
2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)	3
2.1 Ηλιακή ενέργεια	4
2.1.1 Εφαρμογές ενεργητικών ηλιακών συστημάτων	5
2.2 Αιολική ενέργεια	5
2.2.1 Ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα	7
2.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας	7
2.3 Γεωθερμική ενέργεια.....	8
2.3.1 Εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας	10
2.3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας	11
2.4 Βιομάζα	12
2.4.1 Μέθοδοι αξιοποίησης της βιομάζας	12
2.4.2 Εφαρμογές της βιομάζας.....	13
2.4.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της βιομάζας.....	14
2.5 Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	14
2.5.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας	16
2.6 Παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια από τα κύματα	16
2.6.1 Παλιρροϊκή ενέργεια.....	16
2.6.1.1 Αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας	17
2.6.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της παλιρροϊκής ενέργειας	17
2.6.2 Ενέργεια από τα κύματα	18

2.6.2.1	Πλεονεκτήματα της ενέργειας των κυμάτων	18
2.7	Οι ΑΠΕ στην Ελλάδα.....	19
3.	Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΜΥΗΣ).....	20
3.1	Ταξινόμηση υδροηλεκτρικών σταθμών	20
3.2	ΜΥΗΣ στην Ελλάδα	21
3.3	Νομοθεσία και αδειοδοτική διαδικασία για εγκατάσταση ΜΥΗΣ.....	25
3.3.1	Νομικό πλαίσιο	25
3.3.2	Θεσμικό πλαίσιο	26
3.3.3	Αδειοδοτική διαδικασία.....	28
3.4	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΜΥΗΣ	29
3.5	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ΜΥΗΣ	31
3.5.1	Θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	31
3.5.2	Ενδεχόμενες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	31
4.	Σχεδιασμός ΜΥΗΣ – Τεχνικά έργα πολιτικού μηχανικού.....	35
4.1	Φράγματα	35
4.2	Εκχειλιστής	39
4.3	Υδροληψία	39
4.4	Αγωγός προσαγωγής	40
4.5	Πύργος ανάπαλσης.....	42
4.6	Σταθμός παραγωγής.....	43
5.	Σχεδιασμός ΜΥΗΣ – Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός.....	44
5.1	Υδροστρόβιλοι	44
5.1.1	Αρχή λειτουργίας	44
5.1.2	Τύποι υδροστροβίλων	44
5.1.2.1	Υδροστρόβιλοι δράσεως	45
5.1.2.2	Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως.....	48
5.1.3	Απόδοση υδροστροβίλου	55
5.1.4	Επιλογή κατάλληλου υδροστροβίλου	55
5.2	Κιβώτια ταχύτητων και άλλοι πολλαπλασιαστές ταχύτητας	56
5.3	Γεννήτριες	57
5.4	Μετασηματιστές ανύψωσης και βοηθητικών.....	59
5.5	Λοιπός ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός	60
6.	Πρακτικό μέρος - Μελέτη	62

6.1	Εισαγωγή.....	62
6.2	Θεωρητικό υπόβαθρο.....	63
6.2.1	Αρχική υδραυλική ισχύς.....	63
6.2.2	Υδραυλικές απώλειες.....	64
6.3	Υπολογισμοί.....	66
7.	Συμπεράσματα.....	73
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	79
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Φωτογραφικό υλικό από ΜΥΗΣ της Ελλάδας.....	79
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Αναλυτική αδειοδοτική διαδικασία για ΜΥΗΣ.....	83

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Το υδροδυναμικό της Ελλάδας ανά διαμέρισμα.....	15
Πίνακας 3.1: Στοιχεία ΜΥΗΣ Ελλάδας	22
Πίνακας 3.2: Η αδειοδοτική διαδικασία που απαιτείται ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ του ΜΥΗΣ.....	29
Πίνακας 5.1: Σύγκριση μεταξύ των υδροστροβίλων τύπου Francis και Pelton	54
Πίνακας 6.1: Τιμές συντελεστή C Hazen – Williams για αγωγό κυκλικής διατομής..	65

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	3
Σχήμα 2.2: Το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας – ετήσιο άθροισμα ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ²)	4
Σχήμα 2.3: Το αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα - Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (m/sec).....	6
Σχήμα 2.4: Ανεμογεννήτριες: (α) οριζόντιου και (β) κάθετου άξονα	7
Σχήμα 2.5: Το γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας	10
Σχήμα 2.6: Είδη βιομάζας.....	12
Σχήμα 2.7: Η εγκατεστημένη ισχύς (σε MW) ανά ΑΠΕ στην Ελλάδα, χρονική περίοδος 2011-2016.....	19
Σχήμα 2.8: Συνολική παραγωγή (σε GWh) μονάδων ΑΠΕ στην Ελλάδα, χρονική περίοδος 2011-2016.....	19
Σχήμα 3.1: Διάγραμμα μετατροπής ενέργειας των υδροηλεκτρικών σταθμών.....	20
Σχήμα 3.2: Τυπική διάταξη ενός ΜΥΗΕ.....	21
Σχήμα 4.1: Κατηγορίες φραγμάτων.....	35
Σχήμα 4.2: (α) Απεικόνιση φράγματος βαρύτητας, (β) Το φράγμα βαρύτητας του Μαραθώνα	36
Σχήμα 4.3: (α) Απεικόνιση τοξωτού φράγματος, (β) Το τοξωτό φράγμα του Ταυρωπού	37
Σχήμα 4.4: (α) Απεικόνιση αντηριδωτού φράγματος, (β) Το αντηριδωτό φράγμα του Λάδωνα	38
Σχήμα 4.5: Το χωμάτινο φράγμα των Κρεμαστών	38
Σχήμα 4.6: Πύργος ανάπαλσης και αγωγός προσαγωγής.....	42
Σχήμα 5.1: Υδροστρόβιλος τύπου Pelton	46
Σχήμα 5.2: Υδροστρόβιλος τύπου Turgo	47
Σχήμα 5.3: Υδροστρόβιλος τύπου Cross-flow	48
Σχήμα 5.4: Υδροστρόβιλος τύπου Francis	50
Σχήμα 5.5: Υδροστρόβιλος τύπου Kaplan.....	52
Σχήμα 5.6: Υδροστρόβιλος τύπου βολβού	53
Σχήμα 5.7: Υδροστρόβιλος Deriaz	53
Σχήμα 5.8: Εύρος λειτουργίας διαφόρων τύπων υδροστροβίλων	56

Σχήμα 5.9: Σύγχρονη γεννήτρια με κυλινδρικό δρομέα.....	58
Σχήμα 5.10: Ασύγχρονη γεννήτρια.....	58
Σχήμα 5.11: Μετασχηματιστής ελαίου.....	59
Σχήμα 6.1: Συντελεστής αντίστασης j για αλλαγή κλίσης χωρίς καμπυλότητα.....	66
Σχήμα 6.2: Νομογράφημα υπολογισμού.....	66
Σχήμα 6.3: Συσχέτιση του ειδικού αριθμού στροφών n_Q και του τύπου του υδροστροβίλου συναρτήσει της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H	68
Σχήμα 6.4: Μέγιστη τιμή του ολικού βαθμού απόδοσης υδροστροβίλου συναρτήσει του ειδικού αριθμού στροβίλου n_s	69
Σχήμα 6.5: Ενδεικτική μεταβολή του βαθμού απόδοσης υδροστροβίλων συναρτήσει του φορτίου.....	69
Σχήμα 6.6: Μονογραμμικό διάγραμμα εξεταζόμενου ΜΥΗΣ.....	72

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΑΔΜΗΕ	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΕΡ	Εναλλασσόμενο Ρεύμα
ΔΕΣΜΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΕΠΟ	Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων
ΕΞΕ	Εξοικονόμηση Ενέργειας
ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
ΛΑΓΗΕ	Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΜΠΕ	Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων
Μ/Σ	Μετασηματιστής
ΜΤ	Μέση Τάση
ΜΥΗΕ	Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο
ΜΥΗΣ	Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός
ΟΧΕ	Ορθολογική Χρήση Ενέργειας
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΣΡ	Συνεχές Ρεύμα
ΧΤ	Χαμηλή Τάση

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο « Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί» εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας και έχει ως αντικείμενο την υδροηλεκτρική ενέργεια και πιο συγκεκριμένα τους Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς (ΜΥΗΣ). Σκοπός της εργασίας είναι η ανάλυση όλων των τμημάτων που απαρτίζουν ένα ΜΥΗΣ, τεχνικά έργα και ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, καθώς η επαλήθευση της ηλεκτρικής ισχύος και των τύπων υδροτροβίλων που χρησιμοποιούνται σε υπάρχον ιδιωτικό ΜΥΗΣ στην Ελλάδα.

1.2 Μεθοδολογία εκπόνησης της εργασίας

Για την εκπόνηση της εργασίας ακολουθείται η παρακάτω μεθοδολογία:

- Πραγματοποιείται ενδελεχής βιβλιογραφική ανασκόπηση, με πληροφορίες που αντλούνται από ερευνητικές δημοσιεύσεις (διπλωματικές εργασίες, διεθνή και ελληνικά επιστημονικά περιοδικά, βιβλία, συνέδρια κλπ.), όσον αφορά στους βασικούς τομείς που πραγματεύεται η παρούσα εργασία, οι οποίοι είναι: οι ΑΠΕ και κυρίως η υδροηλεκτρική ενέργεια, καθώς και οι ΜΥΗΣ και τα τεχνικά έργα και ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός που τους συνοδεύουν.
- Παράλληλα, μελετάται και καταγράφεται το υπάρχον νομοθετικό και θεσμικό πλαίσιο που ισχύει στην Ελλάδα για τους ΜΥΗΣ, καθώς και η αδειοδοτική διαδικασία που απαιτείται για την κατασκευή τους.
- Στη συνέχεια, αφού πρώτα παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που χρησιμοποιείται στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας (σχέσεις υπολογισμού υδραυλικής ισχύος, υδραυλικών απωλειών κλπ), γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί για την επαλήθευση της ηλεκτρικής ισχύος και των τύπων υδροτροβίλων που χρησιμοποιούνται σε υπάρχον ιδιωτικό ΜΥΗΣ.
- Τέλος, γίνεται η παρουσίαση των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε.

1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Η πτυχιακή εργασία περιλαμβάνει 7 κεφάλαια, τη βιβλιογραφία και το παράρτημα. Στο παρόν κεφάλαιο της εισαγωγής, πραγματοποιείται η περιγραφή του αντικειμένου και του σκοπού της εργασίας, της μεθοδολογίας που ακολουθείται και της δομής της.

Στα Κεφάλαια 2-5 παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με τα θέματα που διαπραγματεύεται η παρούσα εργασία. Πιο συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, με αναφορά σε ορισμούς, μεθόδους αξιοποίησης, εφαρμογές και πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα για κάθε μία ξεχωριστά. Στο τέλος, παρατίθενται και σχήματα από τα οποία φαίνεται η εξέλιξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια.

Στο 3^ο Κεφάλαιο αναλύονται οι βασικές κατηγορίες των υδροηλεκτρικών σταθμών και η τυπική διάταξη ενός ΜΥΗΣ. Παράλληλα, μελετάται και καταγράφεται το υπάρχον νομοθετικό και θεσμικό πλαίσιο που ισχύει στην Ελλάδα για τους ΜΥΗΣ, καθώς και η αδειοδοτική διαδικασία που απαιτείται για την κατασκευή τους.

Στο Κεφάλαιο 4 πραγματοποιείται ενδελεχής παρουσίαση των απαραίτητων τεχνικών έργων για το σχεδιασμό ενός ΜΥΗΣ, τα οποία περιλαμβάνουν: το φράγμα, τον εκχειλιστή, τα έργα υδροληψίας, τον αγωγό προσαγωγής, τον πύργο ανάπασης, το σταθμό παραγωγής κλπ.

Αντίστοιχα, στο 5^ο Κεφάλαιο αναλύεται ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός που είναι απαραίτητος για το σχεδιασμό ενός ΜΥΗΣ και ο οποίος περιλαμβάνει τον υδροστρόβιλο, τη γεννήτρια, το μετασχηματιστή κλπ.

Στο Κεφάλαιο 6, το οποίο αποτελεί το πρακτικό μέρος της παρούσας εργασίας, αρχικά δίνονται τα δεδομένα για το εξεταζόμενο ιδιωτικό ΜΥΗΣ και οι σχέσεις – πίνακες – σχήματα για τον υπολογισμό της υδραυλικής ισχύος, των υδραυλικών απωλειών, του ειδικού αριθμού στροφών στροβίλου και του ειδικού αριθμού στροβίλου. Ακολούθως γίνονται οι υπολογισμοί και οι αναπροσαρμογές των παροχών των υδροστροβίλων με στόχο την επαλήθευση της ηλεκτρικής ισχύος και των τύπων υδροστροβίλων που χρησιμοποιούνται στο σταθμό.

Η εργασία ολοκληρώνεται στο κεφάλαιο 7 με την παράθεση των συμπερασμάτων που προκύπτουν από αυτήν.

Τέλος, μετά την παράθεση των βιβλιογραφικών πηγών στο παράρτημα παρουσιάζεται φωτογραφικό υλικό από τους σημαντικότερους ΜΥΗΣ της Ελλάδας και αναλύονται οι άδειες και οι εγκρίσεις, με πλήρη παράθεση των περιεχομένων του κάθε φακέλου που πρέπει να παραδοθεί, που είναι απαραίτητες για τη δημιουργία ενός ΜΥΗΣ.

2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

Οι κλιματικές αλλαγές σε συνδυασμό με τη σταδιακή εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων (αργό πετρέλαιο, λιθάνθρακας, φυσικό αέριο) και την αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, οδηγούν τις σύγχρονες κοινωνίες αφενός στην ανεύρεση τεχνικών εξοικονόμησης και ορθολογικής χρήσης της ενέργειας, αφετέρου στην αξιοποίηση των ήπιων ή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας - ΑΠΕ (Renewable Energy Sources - RES) (Τσαγγάρης, 2013).

Ως ΑΠΕ ορίζονται οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στη φύση (πρακτικά είναι ανεξάντλητες), αναπληρώνονται μέσω των φυσικών κύκλων και η χρήση τους δεν επιβαρύνει το περιβάλλον. Η μετατροπή των παραπάνω πηγών σε χρησιμοποιήσιμες μορφές ενέργειας (θερμική, μηχανική ή/και ηλεκτρική) δεν απαιτεί καύση, η οποία αποτελεί την κύρια πηγή παραγωγής ρύπων και έκλυσης θερμότητας. Εξαίρεση αποτελεί η ενέργεια από βιομάζα, η οποία είναι μεν ανανεώσιμη αλλά η μετατροπή απαιτεί καύση και επομένως παρουσιάζει ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά με τις συμβατικές μορφές ενέργειας. Οι ΑΠΕ μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες κατηγορίες (Σχήμα 2.1):

1. Ηλιακή ενέργεια
2. Αιολική ενέργεια
3. Γεωθερμική ενέργεια
4. Βιομάζα
5. Υδροηλεκτρική ενέργεια
6. Παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια από τα κύματα

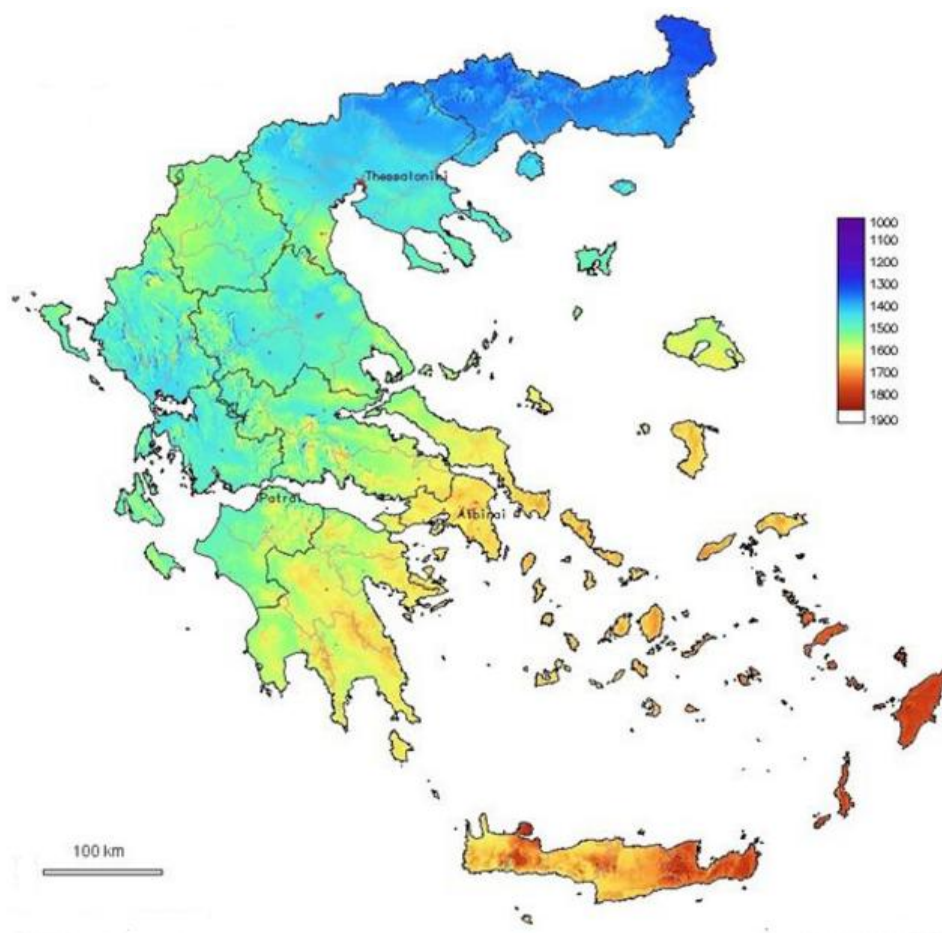


Σχήμα 2.1: Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

2.1 Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που μεταφέρεται στη γη από τον ήλιο. Υπάρχει άμεση ηλιακή ενέργεια και έμμεση, με τη μορφή βιομάζας, ανέμων, θερμότητας των ωκεανών κλπ. Η ενέργεια του ήλιου οφείλεται στις αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης, οι οποίες πραγματοποιούνται στη μάζα του ήλιου, μετατρέποντας το υδρογόνο σε ήλιο. Η ανώτερη ατμόσφαιρα της γης δέχεται ετησίως $1,5 \times 10^{18}$ kWh ηλιακής ακτινοβολίας, ωστόσο η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης είναι μειωμένη κατά 60% περίπου (Ανδρίτσος, 2015).

Η Ελλάδα είναι σχετικά ευνοημένη σε σχέση με την ηλιακή ενέργεια, η οποία μπορεί να υποκαταστήσει ένα σημαντικό ποσοστό των αναγκών της σε ενέργεια. Η μέση ημερήσια ενέργεια που παρέχεται από τον ήλιο (ένταση ηλιακής ενέργειας) στην Ελλάδα υπερβαίνει σε κάποια σημεία τα 1650 kWh/m^2 . Στο χάρτη του Σχήματος 2.2 παρουσιάζεται η κατανομή της μέσης ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στον ελλαδικό χώρο.



Σχήμα 2.2: Το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας – ετήσιο άθροισμα ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m^2) (Πηγή: www.cres.gr/kape/index.htm)

Σύμφωνα με το ΚΑΠΕ για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας εφαρμόζονται τα ακόλουθα 4 συστήματα:

1. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα: Συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, αέρα ή άλλο ρευστό και για τη διάδοσή της χρησιμοποιούνται συστήματα που καταναλώνουν ενέργεια. Αποτελούνται από τρία βασικά μέρη, το συλλέκτη, την αποθήκη θερμότητας και το διανομέα θερμότητας (Γραφιαδέλλης, 1987; Ντίνας, 2012).
2. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα: Σε αυτά η ροή της θερμικής ενέργειας συντελείται με ακτινοβολία, αγωγή ή φυσική μεταφορά. Λειτουργούν χωρίς τη χρησιμοποίηση συμβατικών καυσίμων, εξωτερικών πηγών ενέργειας ή μηχανολογικού εξοπλισμού και η θέρμανση και ο δροσισμός γίνονται με φυσικό τρόπο.
3. Τα υβριδικά ηλιακά συστήματα: Συνδυασμός παθητικών συστημάτων με στοιχεία ενεργητικών.
4. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα: Έχουν τη δυνατότητα άμεσης μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ως αποτέλεσμα του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το βασικό τμήμα ενός τυπικού φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η φωτοβολταϊκή γεννήτρια που αποτελείται από τα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία. Τέλος, τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν ιδιαίτερα σημαντικά πλεονεκτήματα όπως είναι: η αθόρυβη λειτουργία και οι μηδενικές εκπομπές ρύπων, η δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας, η μεγάλη διάρκεια ζωής, η εύκολη εγκατάσταση και η δυνατότητα συνδυασμού με άλλες πηγές ενέργειας (Αντωνακούδη, 2014).

2.1.1 Εφαρμογές ενεργητικών ηλιακών συστημάτων

Οι κυριότερες εφαρμογές των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι (Αραβαντινός κ.α., 1999):

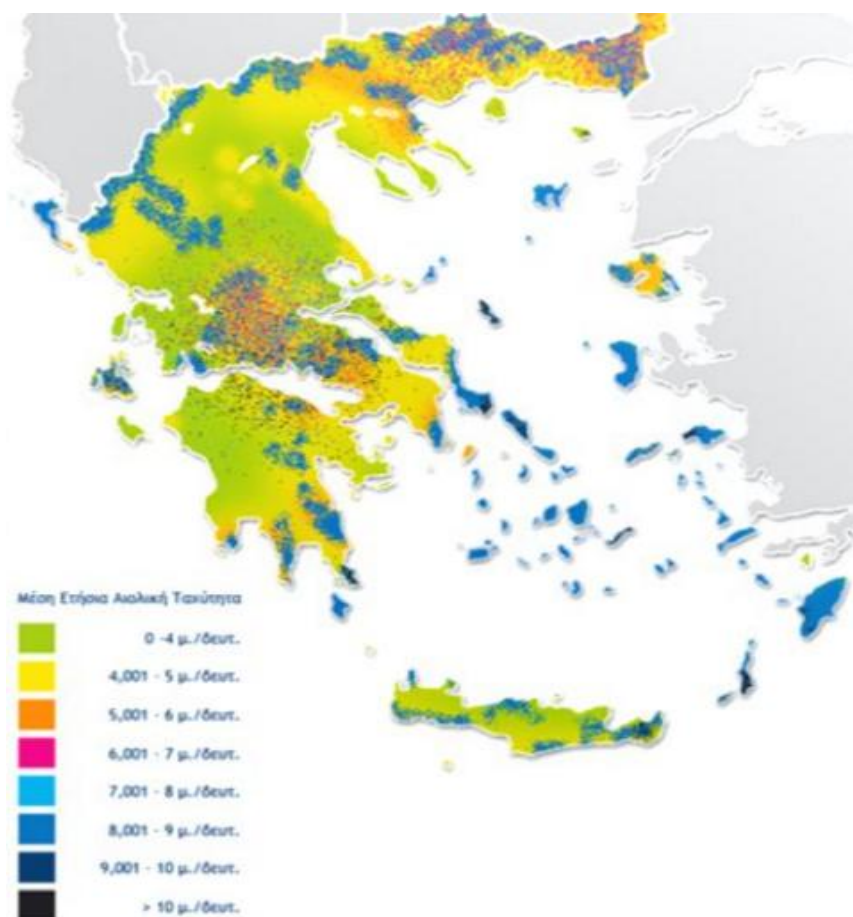
- ❖ Η παραγωγή ζεστού νερού (ηλιακός θερμοσίφωνας).
- ❖ Η θέρμανση και ο κλιματισμός χώρων.
- ❖ Η θέρμανση κολυμβητηρίων.
- ❖ Η ηλεκτροπαραγωγή με τη χρήση παραβολοειδών κατόπτρων.

2.2 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης και της θάλασσας προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών από τη μία περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας τους ανέμους. Είναι από τις πρώτες πηγές ενέργειας που αξιοποίησε ο άνθρωπος για τις καθημερινές του ανάγκες (π.χ. στα ιστιοφόρα πλοία, για την άλεση δημητριακών

και για πολλές εφαρμογές μηχανικής ενέργειας). Πρόκειται για μια ενεργειακή πηγή με σχετικά χαμηλό κόστος, η οποία μπορεί να παράσχει σημαντικές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Οι σύγχρονοι «ανεμόμυλοι», οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται ανεμογεννήτριες ή ανεμοκινητήρες (wind generators, wind turbines) ή συστήματα μετατροπής της αιολικής ενέργειας (wind energy conversion systems) (Ανδρίτσος, 2015).

Οι ταχύτητες του ανέμου διαφέρουν ανάλογα με το ανάγλυφο μιας περιοχής και ποικίλλουν σημαντικά με την εποχή και την ημέρα. Μια περιοχή θεωρείται κατάλληλη για αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας όταν η μέση ταχύτητα του ανέμου (μετρούμενη 10m από το έδαφος της γης) είναι μεγαλύτερη από 4 m/s, καθώς για χαμηλότερες ταχύτητες η παραγόμενη ενέργεια είναι μικρότερη από τις απώλειες του συστήματος. Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται η μέση ετήσια ταχύτητα των ανέμων σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας.

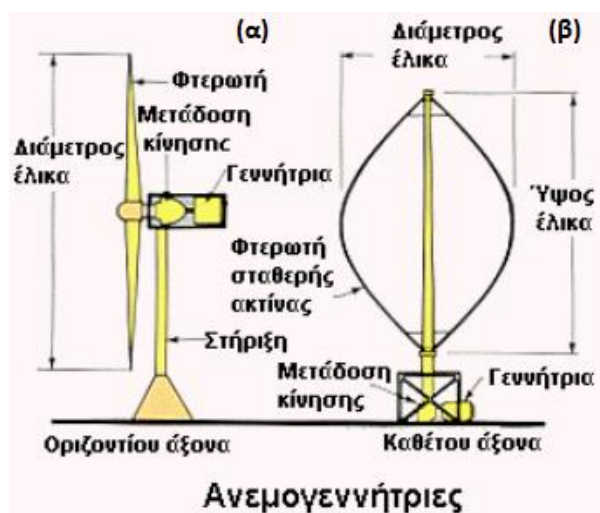


Σχήμα 2.3: Το αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα - Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (m/sec) (Πηγή: www.cres.gr/kape/index.htm)

2.2.1 Ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα

Σήμερα η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με ανεμογεννήτριες, οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου αρχικά σε μηχανική και τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια και κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, όπου ο δρομέας είναι τύπου έλικας και ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται συνεχώς παράλληλα προς την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους (Σχήμα 2.4α).
2. Τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους (Σχήμα 2.4β). Σε αυτές το παραγόμενο μηχανικό έργο μεταφέρεται, μέσω του κατακόρυφου άξονα, στο έδαφος όπου εγκαθίσταται η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.4: Ανεμογεννήτριες: (α) οριζόντιου και (β) κάθετου άξονα (Πηγή: <http://portal.tee.gr>)

Τέλος, αν και οι ανεμογεννήτριες μεμονωμένες μπορούν να ικανοποιήσουν χρήστες εκτός δικτύου, το μοντέλο αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας εστιάζει κυρίως στη σύνδεση της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τα «αιολικά πάρκα», δηλαδή από ομάδα ανεμογεννητριών (Ανδρίτσος, 2015).

2.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι:

- Μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενη συμβατική ενέργεια.

- Οι ανεμογεννήτριες δεν εκπέμπουν αέριους ρύπους και δεν παράγουν στερεά, υγρά ή ραδιενεργά απόβλητα.
- Μη κατανάλωση νερού κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Εξυπηρέτηση νησιωτικών και απομακρυσμένων περιοχών, οι οποίες δεν είναι διασυνδεδεμένες στο δίκτυο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, άντληση νερού, τηλεπικοινωνίες κλπ.

Από την άλλη πλευρά, τα ενδεχόμενα εμπόδια για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι:

- Ο θόρυβος από τη λειτουργία των ανεμογεννητριών.
- Οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές στην τηλεόραση, το ραδιόφωνο και τις τηλεπικοινωνίες λόγω ανάκλασης των σημάτων.
- Οι διαταραχές στη συμπεριφορά των πουλιών από τη φυσική παρουσία των ανεμογεννητριών και οι θάνατοί τους από συγκρούσεις στα πτερύγια.
- Τα πιθανά προβλήματα αισθητικής ρύπανσης.

2.3 Γεωθερμική ενέργεια

Ως γεωθερμική ενέργεια καλείται η θερμική ενέργεια που παράγεται από τα βαθύτερα στρώματα του υπεδάφους και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς και σε θερμά νερά (επιφανειακά ή υπόγεια). Τα μέσα με τα οποία η ενέργεια αυτή μεταφέρεται και φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους είναι ορισμένα ρευστά (όπως το νερό), τα οποία είτε βρίσκουν φυσική διέξοδο από τα βάθη της γης προς την επιφάνεια, είτε οδηγούνται προς αυτήν μέσω γεωτρήσεων (Βαφειάδης, 2008; Ντίνας, 2012).

Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία κύρια συστατικά (Ανδρίτσος, 2015):

1. Μια πηγή θερμότητας, η οποία μπορεί να είναι είτε μια μαγματική διείσδυση που έφτασε σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 km) είτε η κανονική αύξηση της θερμοκρασίας με το βάθος.
2. Ο ταμιευτήρας που είναι ουσιαστικά ένα σύστημα θερμών διαπερατών πετρωμάτων από τα οποία τα κυκλοφορούντα ρευστά απάγουν θερμότητα.
3. Το γεωθερμικό ρευστό που είναι ο φορέας της θερμότητας. Είναι νερό, μετεωρολογικής προέλευσης τις περισσότερες φορές, σε υγρή ή αέρια φάση, κάτι που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση.

Ανάλογα με το ενεργειακό περιεχόμενο του γεωθερμικού ρευστού διακρίνονται τρεις κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων (Κορωναίος, 2012):

1. Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας: Ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 150 °C που είναι είτε υπέρθερμοι ατμοί, είτε υγροί ατμοί και χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2. Γεωθερμικά πεδία μέσης ενθαλπίας: Ρευστά θερμοκρασίας μεταξύ 100 και 150 °C που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή και για μη ηλεκτρικές χρήσεις.
3. Γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας: Ρευστά με θερμοκρασία μεταξύ 25 και 100 °C, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση θερμοκηπίων, οικισμών, ιχθυοκαλλιεργειών, κλπ.

Ένα τυπικό γεωθερμικό σύστημα χαμηλής ενθαλπίας, ανεξάρτητα από το είδος της εφαρμογής αποτελείται από τα ακόλουθα 4 υποσυστήματα (Αντωνακούδη, 2014):

1. Το σύστημα παραγωγής, το οποίο περιλαμβάνει την παραγωγική γεώτρηση, την αντλία παραγωγής και τις συσκευές στην κεφαλή της γεώτρησης.
2. Το σύστημα μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών από την κεφαλή της γεώτρησης μέχρι το σύστημα εναλλαγής της θερμότητας.
3. Το σύστημα εναλλαγής της θερμότητας μαζί με το σύστημα διανομής της γεωθερμικής ενέργειας, το οποίο περιλαμβάνει τους κυκλοφορητές, το σύστημα ρύθμισης, τις σωληνώσεις κλπ.
4. Το σύστημα διάθεσης των ρευστών μετά τη χρήση.

Η Ελλάδα, εξαιτίας κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, είναι από τις γεωθερμικά ευνοημένες χώρες και διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών σε οικονομικά βάθη (100-1500m). Πιο αναλυτικά, στην Ελλάδα οι περιοχές που διαθέτουν γεωθερμικό πεδίο είναι κυρίως τα ηφαιστειακά νησιά του Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη, Σαμοθράκη, Λέσβος κ.α.) και πολλές περιοχές στη Μακεδονία και τη Θράκη (Νιγρίτα, Νέο Εράσμιο, Σιδηρόκαστρο, Νέα Κεσσάνη κ.α.).

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι σήμερα η εκμετάλλευση της γεωθερμίας έχει επεκταθεί με τη δυνατότητα αξιοποίησης της λεγόμενης αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας με θερμοκρασίες υπόγειων πετρωμάτων και ρευστών μικρότερες των 25 °C. Σε βάθη έως 100m η αποθηκευμένη θερμική ενέργεια προέρχεται και ανανεώνεται συνεχώς από δύο πηγές: τη ροή θερμότητας από το εσωτερικό της γης και την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή η θερμική ενέργεια εκφράζεται στην Ελλάδα σε θερμοκρασίες των 15-20 °C που είναι αρκετά ευνοϊκές για τη χρήση και την απόδοση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζονται τα γεωθερμικά πεδία που βρίσκονται στον ελλαδικό χώρο. Τέλος, όσον αφορά στο κόστος εκμετάλλευσης, η γεωθερμική ενέργεια ανταγωνίζεται ικανοποιητικά το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Συνήθως η εκμετάλλευσή της χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος κεφαλαίου, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι περιορισμένο.



Σχήμα 2.5: Το γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας (Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε.)

2.3.1 Εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια σχετικά ήπια μορφή ενέργειας που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικό μέρος των αναγκών σε ενέργεια. Οι εφαρμογές της διακρίνονται σε ηλεκτρικές και άμεσες, δηλαδή χρήσεις στις οποίες γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών χωρίς να παραχθεί ενδιάμεση ηλεκτρική ενέργεια. Η περιοχή των θερμοκρασιών των θερμών νερών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτείνεται από τους 20 έως τους 280 °C. Παράλληλα, αρκετά γεωθερμικά ρευστά εκτός από τη θερμότητα τους περιέχουν και αξιοποιήσιμες διαλυμένες ποσότητες στερεών ή αέριων ουσιών (π.χ. κοινό αλάτι, πολύτιμα μέταλλα, διοξείδιο του άνθρακα) που δύναται να ανακτηθούν με οικονομικό τρόπο.

Οι σημαντικότερες από τις εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας είναι (Lund et al., 2011; Φιρφιρης, 2013; Αντωνακούδη, 2014; Ανδρίτσος, 2015):

✓ Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας: Ο τύπος της μονάδας που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της γεωθερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική καθορίζεται συνήθως από το είδος του πεδίου και από τη σύσταση των γεωθερμικών ρευστών.

✓ Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ): Οι ΓΑΘ είναι αντλίες θερμότητας, οι οποίες χρησιμοποιούν ως πηγή θερμότητας το έδαφος και το νερό για τη μεταφορά της θερμότητας σε ένα θερμότερο μέσο όπως νερό ή αέρας (που θα χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση κατοικίας ή θερμοκηπίου). Έχουν συντελεστή απόδοσης 1,5 - 6, ενώ όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του τόσο οικονομικότερη είναι η χρήση της αντλίας. Τέλος, αποτελούνται από τρία μέρη: α) το γεωεναλλάκτη, β) την αντλία θερμότητας και γ) το σύστημα διανομής της θερμότητας.

✓ Απευθείας θέρμανση χώρων: Πραγματοποιείται με τη διέλευση γεωθερμικού νερού (ή του υγρού που θερμάνθηκε από γεωθερμικό ρευστό) μέσω των εναλλακτών αέρα – υγρού, κάτι που γίνεται και με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης.

✓ Αγροτικές εφαρμογές: Θέρμανση θερμοκηπίων, ξήρανση καρπών και αγροτικών προϊόντων, θέρμανση υδατοκαλλιεργειών και θέρμανση εδάφους.

✓ Βιομηχανικές εφαρμογές θέρμανσης : π.χ. στην τσιμεντοβιομηχανία, σε εμφιαλωτήρια, χαρτοβιομηχανία, αφαλατώσεις κλπ.

✓ Άλλες χρήσεις όπως: Θερμά νερά και ιαματικά λουτρά, αντιπαγετικά έργα σε δρόμους και πεζοδρόμια, παραγωγή αποσταγμένου νερού, κτηνοτροφικές εφαρμογές, αποστείρωση μπουκαλιών, και εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.

2.3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση γεωθερμικών πεδίων χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας είναι τα ακόλουθα (Φιρφιρής, 2013):

- Παρέχουν ενεργειακή ανεξαρτησία, εξοικονόμηση κόστους και προστασία του περιβάλλοντος.
- Δεν απαιτείται ούτε αγορά καυσίμου, αλλά ούτε και ενδιάμεσες διαδικασίες παραγωγής. Παράλληλα, απουσιάζουν τα κόστη μεταφοράς και αποθήκευσης.
- Απαιτείται μικρή έκταση και χρειάζεται αποψίλωση δασικών εκτάσεων ή εκτροπή ή χρήση ποταμών ως δεξαμενές.
- Δεν είναι ρυπογόνα και δεν εκλύουν αέρια του θερμοκηπίου.
- Απαιτείται απλή εγκατάσταση και το λειτουργικό κόστος είναι χαμηλό.
- Συμβάλλουν στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.
- Με κατάλληλη αξιοποίηση της γεώτρησης και του ρευστού που προέρχεται από αυτά είναι δυνατή η χρησιμοποίησή του για διαφορετικές εφαρμογές.

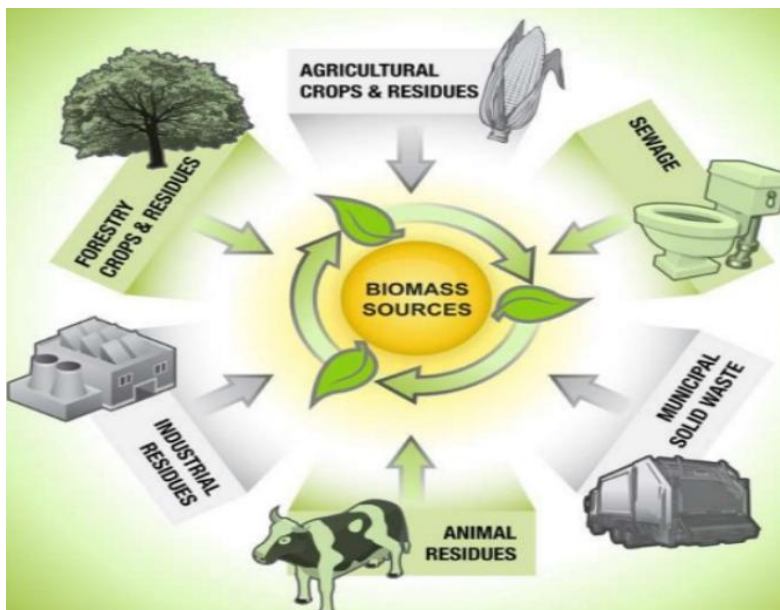
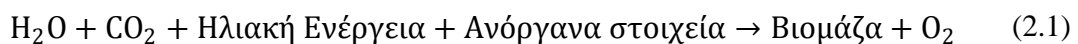
Από την άλλη πλευρά, η εφαρμογή τεχνολογιών γεωθερμίας συγκεντρώνει και ορισμένα μειονεκτήματα τα κυριότερα εκ των οποίων είναι (Φιρφιρής, 2013):

- Η αρχική επένδυση είναι αρκετά υψηλή.
- Τα γεωθερμικά πεδία αξιοποιούνται μόνο στην περιοχή που υπάρχουν.
- Η ανάγκη για εξειδικευμένο προσωπικό και εξοπλισμό.

- Η πιθανότητα τα αέρια που εκλύονται από μια γεωθερμική γεώτρηση να είναι τοξικά και επιβλαβή για τον άνθρωπο.
- Σε περίπτωση που η γεωλογική έρευνα δεν είναι ορθή, είναι πιθανό το γεωθερμικό ρευστό να ψυχθεί μετά από παρατεταμένη χρήση ή ακόμα και να στερέψει η δεξαμενή από την οποία αντλείται.

2.4 Βιομάζα

Η βιομάζα (Σχήμα 2.6) είναι «το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων που προέρχονται από τις γεωργικές, συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών, τις δασοκομικές και τις συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων και απορριμμάτων», όπως ορίζεται στο άρθρο 2 του Νόμου 3468/2006 (ΦΕΚ 129/Α/27-6-2006) και σχηματίζεται από τη φωτοσυνθετική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι το νερό και ο άνθρακας, τα οποία υπάρχουν σε αφθονία στη φύση, και η διεργασία που πραγματοποιείται δίνεται από την εξίσωση:



Σχήμα 2.6: Είδη βιομάζας

2.4.1 Μέθοδοι αξιοποίησης της βιομάζας

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι αξιοποίησης της βιομάζας για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών, είτε με απευθείας καύση είτε με μετατροπή της σε αέρια, υγρά ή/και στερεά καύσιμα μέσω βιοχημικών ή θερμοχημικών μεθόδων. Η επιλογή της κατάλληλης

μεθόδου εξαρτάται από χαρακτηριστικά, όπως είναι η αναλογία άνθρακα/αζώτου και η περιεχόμενη υγρασία των υπολειμμάτων κατά τη διάρκεια της συλλογής τους. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι (Ανδριόπουλος, 2011; Μπουσδέκης, 2012):

1. Βιοχημικές μέθοδοι (υγρές):
 - a. Αναερόβια χώνευση (anaerobic digestion): Βιοχημική διεργασία κατά την οποία σύνθετα οργανικά υλικά αποσυντίθενται απουσία οξυγόνου, με τη βοήθεια αναερόβιων μικροοργανισμών. Τα κύρια προϊόντα της είναι το βιοαέριο και το χωνεμένο υπόλειμμα.
 - b. Αερόβια χώνευση ή κομποστοποίηση (composting): Διαδικασία αποδόμησης και σταθεροποίησης οργανικών υλικών υπό ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και αερισμού με τη βοήθεια αερόβιων μικροοργανισμών, από την οποία παράγεται ένα μικρής περιεκτικότητας σε υγρασία και άοσμο χουμικό προϊόν, γνωστό ως κομπόστ.
 - c. Αλκοολική ζύμωση: Διαδικασία διάσπασης της γλυκόζης παρουσία ζαχαρομυκητών προς παραγωγή βιοαιθανόλης, η οποία διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα συστατικά με απόσταξη.
2. Θερμοχημικές μέθοδοι (ξηρές):
 - a. Απευθείας καύση (direct combustion): Η μετατροπή της χημικής ενέργειας της βιομάζας σε θερμότητα, αποτελεί την απλούστερη και πιο διαδεδομένη μέθοδο ενεργειακής αξιοποίησής της. Λαμβάνει χώρα σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πραγματοποιείται με προεπεξεργασία της βιομάζας ή και χωρίς. Για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης κατά την καύση είναι επιθυμητό η περιεκτικότητα της βιομάζας σε υγρασία να είναι χαμηλή.
 - b. Αεριοποίηση (gasification): Η μερική καύση της βιομάζας σε κατάλληλους αντιδραστήρες, με αναλογία αέρα μικρότερη από τη στοιχειομετρική, για την παραγωγή μίγματος αερίων, χαμηλής και μέσης θερμοκρασιακής αξίας. Το μίγμα στη συνέχεια χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε ΜΕΚ ή τουρμπίνες.
 - c. Πυρόλυση (pyrolysis): Η βιομάζα αποσυντίθεται απουσία οξυγόνου και τα προϊόντα που παράγονται είναι αέρια, πυρολιγνικά υγρά και βιοάνθρακας (κάρβουνο). Λαμβάνει χώρα σε κλειστά δοχεία σε θερμοκρασίες 500-600 °C και για την πραγματοποίησή της απαιτούνται μικρές ποσότητες θερμότητας.
 - d. Ανθρακοποίηση: Διεργασία κατά την οποία το ξύλο θερμαίνεται παρουσία αέρα και σαν προϊόν παράγεται κάρβουνο και υγρά και αέρια παραπροϊόντα.

2.4.2 Εφαρμογές της βιομάζας

Στην υποενότητα αυτή, γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των κύριων εφαρμογών της γεωθερμίας ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Οι εφαρμογές αυτές είναι:

- ✓ Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς / κεντρικούς λέβητες.
- ✓ Θέρμανση θερμοκηπίων.

- ✓ Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες (π.χ. σε ελαιοτριβεία),
- ✓ Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου.
- ✓ Παραγωγή ενέργειας από βιοαέριο.
- ✓ Τηλεθέρμανση, δηλαδή μεταφορά θερμότητας και θερμού νερού χρήσης μέσω προ-μονωμένου δικτύου αγωγών από έναν κεντρικό σταθμό προς τους θερμαινόμενους χώρους.
- ✓ Παραγωγή βιοκαυσίμων και χρήση τους σε οχήματα.

2.4.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της βιομάζας

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα από την αξιοποίηση της βιομάζας ως πηγή ενέργειας είναι τα ακόλουθα (Σταυρόπουλος, 2015):

- Είναι ΑΠΕ και παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη σε χημική μορφή. Παράλληλα αξιοποιείται, μέσω της μετατροπής της σε μια ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας.
- Συμβάλλει στον περιορισμό των εκπομπών του SO₂ στην ατμόσφαιρα, καθώς η ύπαρξη θείου στη βιομάζα είναι μηδαμινή.
- Οι ποσότητες του CO₂ που απελευθερώνονται κατά την καύση της δεσμεύονται ξανά από τα φυτά για τη δημιουργία νέας βιομάζας.
- Συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και στη βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου.
- Η αξιοποίησή της αυξάνει τις θέσεις εργασίας σε αγροτοκτηνοτροφικές περιοχές.

Από την άλλη πλευρά, η χρήση της βιομάζας ως πηγή ενέργειας παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως είναι (Σταυρόπουλος, 2015):

- Η εποχιακή παραγωγή και η μεγάλη διασπορά της που δυσκολεύουν την τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησής της.
- Εξαιτίας της πολυμορφίας που χαρακτηρίζει τη βιομάζα ως πηγή ενέργειας παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, τη μεταφορά και την αποθήκευσή της, αυξάνοντας το κόστος αξιοποίησής της.
- Η χαμηλή πυκνότητα και η υψηλή περιεκτικότητά της σε υγρασία δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίησή της.
- Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν δαπανηρές εγκαταστάσεις και εξοπλισμό, συγκρινόμενες με αυτές των συμβατικών καυσίμων.

2.5 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Υδροηλεκτρική ενέργεια (ή υδροϊσχύς) είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την πτώση του νερού ποταμών ή λιμνών με τη βοήθεια υδροστροβίλων και

ηλεκτρογεννητριών, και όπως και πολλές άλλες ΑΠΕ αποτελεί έμμεση ηλιακή ενέργεια.

Η ισχύς μιας υδατόπτωσης δίνεται από τη σχέση (Κορωνάιος, 2012):

$$N = n Q \rho g h \text{ (kW)} \quad (3.2)$$

όπου:

n = ο βαθμός απόδοσης μηχανικής εκμετάλλευσης της υδατόπτωσης,

Q = η ογκομετρική παροχή του νερού (σε m^3/s),

ρ = η πυκνότητα του νερού (σε kg/m^3),

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας, η οποία ισούται με $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$ και

h = το καθαρό ύψος της υδατόπτωσης (σε m).

Στη Δυτική και Βόρεια Ελλάδα (Πίνακας 2.1) υπάρχει ιδιαίτερα πλούσιο δυναμικό υδατοπτώσεων, εξαιτίας της διαμόρφωσης λεκανών απορροής με έντονες κλίσεις και των σημαντικών βροχοπτώσεων. Η μέση συνεισφορά της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα αντιπροσωπεύει το 8-10% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η συνολική εγκαταστημένη ισχύς είναι 3060 MW και η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ 4000 και 5000 GWh. Τα μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά έργα στην Ελλάδα βρίσκονται στα Κρεμαστά (437 MW), στο Θησαυρό (384 MW) και στο Πολύφυτο (375 MW). Τέλος, την αξιοποίηση των υδατοπτώσεων που αντιστοιχούν σε μεγάλη ισχύ αναλαμβάνουν οι εταιρίες παραγωγής και διανομής ενέργειας (Κοντινή, 2016).

Πίνακας 2.1: Το υδροδυναμικό της Ελλάδας ανά διαμέρισμα (Πηγή: Σκόδρας, 2015)

α/α	Υδατικό Διαμέρισμα	Επιφάνεια (Km ²)	Θεωρητικό Υδροδ/κό (GWh/y)	Αναγν. Υδροδ/κό (GWh/y)	Τεχνικά Αξιοποίησιμο Υδροδ/κό (GWh/y)	Οικονομικά Αξιοποίησιμο Υδροδ/κό (GWh/y)
1	Δυτ. Πελοπόννησος	7771	7210	460,0	1670	1260
2	Β. Πελοπόννησος	6596	4290	325,7	755	557
3	Αν. Πελοπόννησος	8702	4300	32,2	570	417
4	Δυτ. Στερεά Ελλάδα	10420	14880	3860,5	5500	4200
5	Ηπειρος	10275	15642	2432,0	6250	4830
6	Αττική	3326	282	20,8	9	5
7	Αν. Στερεά Ελλάδα	11923	5090	128,0	551	390
8	Θεσσαλία	13148	6010	567,0	665	468
9	Δυτ. Μακεδονία	13404	10444	1967,1	2240	1670
10	Κεν. Μακεδονία	10388	2800		185	123
11	Αν. Μακεδονία	7342	2270	102,5	175	118
12	Θράκη	10894	6783	694,6	1489	1110
13	Κρήτη	8330	4600	81,6	610	446
14	Νήσοι Αιγαίου	9060	400	2,0	11	6
	ΣΥΝΟΛΟ	131.579	85001	10774,0	20680	15600

2.5.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας

Η αξιοποίηση του υδροδυναμικού μιας χώρας αποτελεί εθνικό στόχο δεδομένου ότι πρόκειται για μια ΑΠΕ με σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των υπολοίπων ΑΠΕ. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι τα ακόλουθα (Κορωναίος, 2012; Ανδρίτσος, 2015):

- ❖ Είναι πολύ αποδοτική (το ποσοστό απόδοσής της είναι μεγαλύτερο από 85%).
- ❖ Έχει μικρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με άλλες ΑΠΕ.
- ❖ Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και η απόδοσή τους δε μεταβάλλεται με την ηλικία τους εάν γίνονται οι απαραίτητες συντηρήσεις.
- ❖ Είναι διαθέσιμη όλο το χρόνο, δεν απαιτούνται πολλά μηχανήματα για την αξιοποίησή της και γενικά δεν έχει μεγάλη επίδραση στο περιβάλλον.
- ❖ Υπάρχει ευκολία και απλότητα χειρισμών, καθώς οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί ξεκινούν ή σταματούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια πολύ γρήγορα.
- ❖ Απαιτείται ελάχιστο προσωπικό.

Από την άλλη πλευρά η αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα – περιορισμούς, τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι:

- ❖ Η χρονική διακύμανση της υδραυλικότητας (δηλαδή της συχνότητας των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων σε ένα χρόνο) μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου και κατ' επέκταση η διακύμανση της παραγόμενης ισχύος εποχιακά.
- ❖ Η οπτική ρύπανση, αν και σε σχετικά μικρές κατασκευές το φράγμα μπορεί να γίνει με υλικό της περιοχής.
- ❖ Η κατασκευή μεγάλων εγκαταστάσεων επεξεργασίας και αποθήκευσης νερού λόγω της περιορισμένης ειδικής ενεργειακής πυκνότητας του νερού.
- ❖ Η πιθανότητα αστοχίας στην κατασκευή (καταστροφή φράγματος), ιδιαίτερα σε σεισμογενείς περιοχές.

2.6 Παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια από τα κύματα

Η θάλασσα αποτελεί μια τεράστια πηγή ενέργειας. Οι κυριότερες μορφές ενέργειας που μπορούν να αξιοποιηθούν από την πηγή αυτή είναι η παλιρροϊκή ενέργεια και η ενέργεια από τα κύματα.

2.6.1 Παλιρροϊκή ενέργεια

Η παλιρροϊκή ενέργεια αξιοποιεί τη μεταβολή του επιπέδου της θάλασσας που συμβαίνει σχεδόν δύο φορές ημερησίως και οφείλεται στη βαρυτική επίδραση κυρίως της σελήνης και δευτερευόντως του ήλιου. Παλίρροιες δημιουργούνται και από την περιστροφική κίνηση της γης. Μεγαλύτερη παλίρροια συμβαίνει όταν ήλιος και σελήνη βρίσκονται στην ίδια ευθεία και μικρότερη όταν βρίσκονται σε ορθή γωνία.

Η μέση τιμή της παλίρροιας ανέρχεται σε περίπου 0,5m. Ωστόσο, η παλίρροια ενισχύεται από τις τοπικές τοπογραφικές συνθήκες (π.χ. σε ρηγά νερά κοντά στις ακτές, σε εκβολές ποταμών ή και από φαινόμενα συντονισμού), με αποτέλεσμα, καθώς πλησιάζει προς τις ακτές και το βάθος του νερού μειώνεται, η ροή της να ενισχύεται με αύξηση του ύψους του νερού, το οποίο μπορεί να φτάσει τα 3m.

2.6.1.1 Αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας

Η ιδέα της αξιοποίησης των παλιρροιών δεν είναι καινούργια. Από τον 11^ο μ.Χ. αιώνα υπήρχαν σε λειτουργία «παλιρροϊκοί» μύλοι σε Αγγλία, Βέλγιο και Γαλλία ενώ η ιδέα για παραγωγή μηχανικής ενέργειας από τις παλίρροιας αναπτύχθηκε στις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Σήμερα εκτιμάται ότι το παγκόσμιο δυναμικό των παλιρροιών ανέρχεται σε 3x10⁶ MWe. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι πρακτικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται τουλάχιστον 5-7m διαφορά μεταξύ υψηλής και χαμηλής παλίρροιας.

Η αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού γίνεται με (Ανδρίτσος, 2015):

- ❖ Παλιρροϊκά φράγματα: Ο συνηθέστερος τρόπος είναι η παγίδευση του νερού με τη βοήθεια φράγματος σε κόλπους ή σε εκβολές ποταμών. Η δυναμική ενέργεια λόγω της υψομετρικής διαφοράς του νερού μετατρέπεται σε κινητική και ακολούθως μέσω των πτερυγίων του στροβίλου σε περιστροφική κινητική ενέργεια. Κατά την άμπωτη και την απομάκρυνση του νερού, αυτό περνά μέσα από μια σειρά υδροστροβίλων.
- ❖ Παλιρροϊκούς φράκτες: Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μη κλειστές λεκάνες (π.χ. ανάμεσα σε δύο νησιά).
- ❖ Παλιρροϊκούς στροβίλους: Μοιάζουν με ανεμογεννήτριες και παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα φράγματα και τους φράκτες όσον αφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

2.6.1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της παλιρροϊκής ενέργειας

Η παλιρροϊκή ενέργεια είναι μια ενέργεια σχετικά φιλική προς το περιβάλλον, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος κεφαλαίου. Το φράγμα προσφέρει τη δυνατότητα σύνδεσης των ακτών ενός κόλπου με δρόμου. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η μεγάλη αναμενόμενη ζωή των συστημάτων που μπορεί να ξεπεράσει και τα 100 χρόνια.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα αυτών των συστημάτων που αναπόφευκτα επηρεάζουν το τοπικό οικοσύστημα. Ορισμένα από τα μειονεκτήματα είναι: η αύξηση του ύψους του νερού μέσα στο φράγμα με κίνδυνο εκδήλωσης πλημμυρών στη γύρω περιοχή, η παρεμπόδιση της ναυσιπλοΐας στον

κόλπο, η αύξηση της θολερότητας του νερού και η δημιουργία «κόκκινης παλίρροιας». Λόγω του περιορισμένου αριθμού των εφαρμογών είναι αδύνατη η εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων σχετικά με τις επιπτώσεις στα θαλάσσια φυτά και ζώα μέσα στο φράγμα. Τέλος, παρόλο που το παλιρροϊκό δυναμικό είναι τεράστιο στον κόσμο, στην πράξη η ηλεκτρική ενέργεια δύναται να παραχθεί μόνο σε περιοχές με εξαιρετικά υψηλές παλίρροιας (Ανδρίτσος, 2015).

2.6.2 Ενέργεια από τα κύματα

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της θάλασσας μπορεί να μετατραπεί σε κύματα μέσω των ανέμων με επίπεδα ισχύος πάνω από 100 W/m της κορυφής των κυμάτων. Οι πρώτες προσπάθειες για την αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων έγιναν πριν από περίπου 100 χρόνια, αλλά η πραγματική ώθηση στην ανάπτυξη βιώσιμης τεχνολογίας για την αξιοποίησή της δόθηκε μετά την «ενεργειακή κρίση» του 1973. Οι πρωτοπόρες χώρες σε αυτή την κατεύθυνση ήταν το Ηνωμένο Βασίλειο και η Ιαπωνία. Άλλες χώρες που έχουν προχωρήσει σε μικρά έργα είναι η Νορβηγία, η Σουηδία, η Δανία και η Ιρλανδία.

Οι εκτιμήσεις για το παγκόσμιο δυναμικό ανέρχονται σε 2 TW/έτος, αν και το οικονομικά αξιοποιήσιμο είναι αρκετά μικρότερο. Οι διαρροές τεράστιων ποσοτήτων πετρελαίου στη θάλασσα τα τελευταία χρόνια έχουν μειώσει το δυναμικό της ενέργειας από τα κύματα, εξαιτίας της αλλαγής των χαρακτηριστικών της διεπιφάνειας νερό – αέρας από τη λεπτή στιβάδα του πετρελαίου. Τέλος, για την αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων έχουν προταθεί διάφορα συστήματα, επιφανειακά ή κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, σταθερά ή επιπλέοντα, μέσα στη θάλασσα ή κοντά στην ακτή (Ανδρίτσος, 2015).

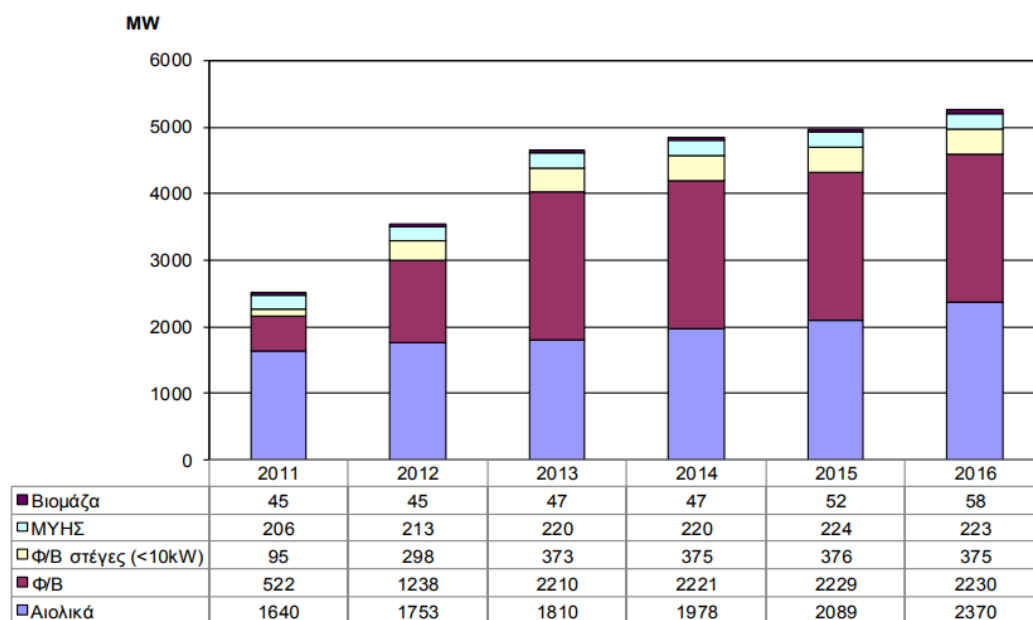
2.6.2.1 Πλεονεκτήματα της ενέργειας των κυμάτων

Η ενέργεια των κυμάτων συγκαταλέγεται μεταξύ των ηπιότερων περιβαλλοντικά ενεργειακών τεχνολογιών καθώς (Ανδρίτσος, 2015):

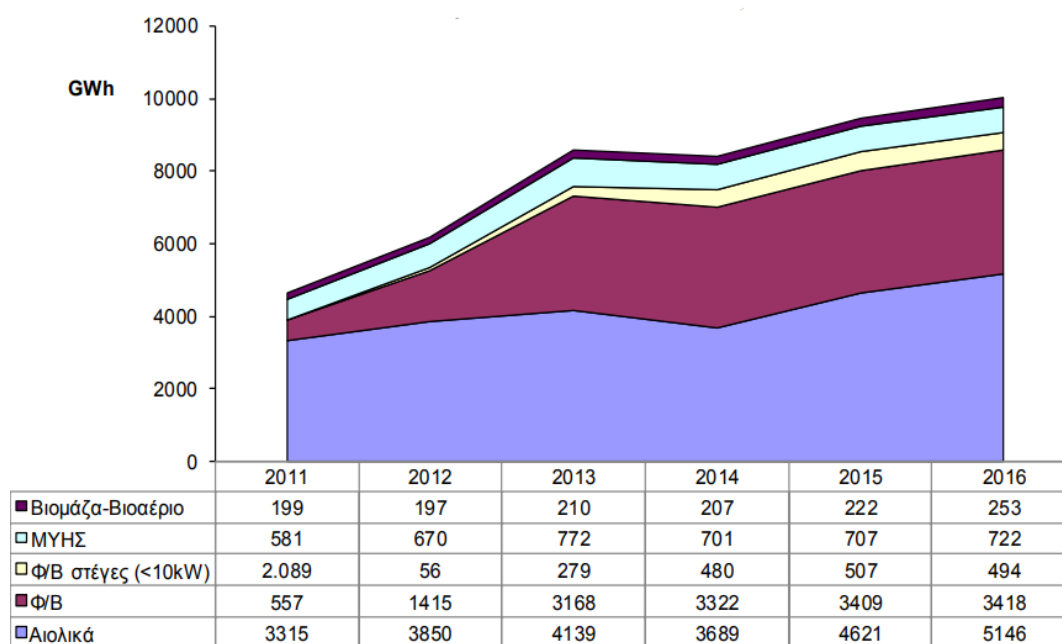
- ❖ Δε χρησιμοποιούν καύσιμα και τοξικά χημικά και κατ' επέκταση δεν προκαλούν χημική ρύπανση.
- ❖ Δε θέτουν σε κίνδυνο τη ναυσιπλοΐα (με τη χρήση κατάλληλης σήμανσης), καθώς και τη μετανάστευση των ψαριών.
- ❖ Ο θόρυβος που προκαλείται από τη λειτουργία των συστημάτων αυτών είναι λιγότερος από το θόρυβο των ίδιων των κυμάτων.
- ❖ Δεν προκαλούν οπτική – αισθητική ρύπανση, εκτός από τα συστήματα που βρίσκονται επάνω στην ακτογραμμή.

2.7 Οι ΑΠΕ στην Ελλάδα

Στην ενότητα αυτή, μέσω δύο διαγραμμάτων (Σχήματα 2.7, 2.8), παρουσιάζεται η εξέλιξη (εγκατεστημένη ισχύς και συνολική παραγωγή) των κυριότερων ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα, για τη χρονική περίοδο 2011-2016.



Σχήμα 2.7: Η εγκατεστημένη ισχύς (σε MW) ανά ΑΠΕ στην Ελλάδα, χρονική περίοδος 2011-2016 (Πηγή: Παπαχρήστου, 2017)



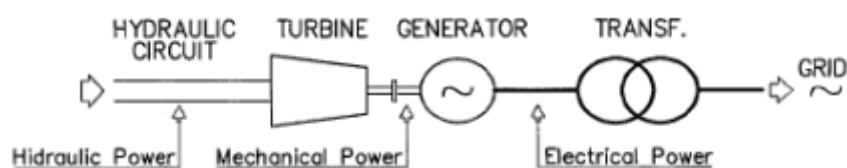
Σχήμα 2.8: Συνολική παραγωγή (σε GWh) μονάδων ΑΠΕ στην Ελλάδα, χρονική περίοδος 2011-2016 (Πηγή: Παπαχρήστου, 2017)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΜΥΗΣ)

3.1 Ταξινόμηση υδροηλεκτρικών σταθμών

Από πλευράς αρχής λειτουργίας, τόσο στη μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική όσο και στη μετατροπή της τελευταίας σε ηλεκτρική (Σχήμα 3.1), ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο δε διαφέρει από ένα μεγάλο. Ο χαρακτηρισμός ενός υδροηλεκτρικού έργου ως μικρού δεν αναφέρεται αποκλειστικά στην εγκατεστημένη ισχύ ή στις διαστάσεις των μονάδων αλλά σε ένα σύνολο χαρακτηριστικών, πολλά από τα οποία δεν είναι μετρήσιμα, δηλαδή οι διαφορές μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΣ δεν είναι μόνο ποσοτικές, αλλά κυρίως ποιοτικές.



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα μετατροπής ενέργειας των υδροηλεκτρικών σταθμών (Πηγή: Ramos and Betamio, 1999)

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να ταξινομηθούν σύμφωνα με ποικίλες θεωρήσεις. Ορισμένες μέθοδοι ταξινόμησης των συγκεκριμένων εγκαταστάσεων παρατίθενται στη συνέχεια (Κορωναίος, 2012; Ανδρίτσος, 2015):

- 1) Ανάλογα με την ενεργό υψομετρική διαφορά του νερού δηλαδή το ύψος της υδατόπτωσης H σε:
 - Μικρή: $H < 15\text{m}$
 - Ενδιάμεση: $15\text{m} < H < 50\text{m}$
 - Μεγάλη: $H > 50\text{m}$

- 2) Ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ σε:
 - Μικροσταθμοί (micro) με ισχύ μέχρι 500 kW
 - Μεσαίου δυναμικού (mini) με ισχύ $500\text{ kW} - 1\text{ MW}$
 - Μικρά Υ/Η (small) με ισχύ $1 - 10\text{ MW}$
 - Μεγάλα Υ/Η με ισχύ μεγαλύτερη από 10 MW

3) Ανάλογα με την οικονομία ύδατος σε:

- Σταθμούς αποκλειστικά για παραγωγή ενέργειας.
- Σταθμούς πολλαπλών χρήσεων με αξιοποίηση αποθηκευμένου ύδατος στο πλαίσιο αναγκών άρδευσης κλπ.
- Βοηθητικούς σταθμούς, οι οποίοι κατασκευάζονται για την εξυπηρέτηση άλλων αναγκών, ενώ η παραγωγή ισχύος είναι μικρότερης σημασίας.

Τα ΜΥΗΕ (Σχήμα 3.2) λειτουργούν με την καθοδήγηση μέρους της ροής κάποιου ποταμού στον ρυθμιστή ροής και στον υδροστρόβιλο, ο οποίος κινεί μια γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Στη συνέχεια το νερό ρέει πίσω στον ποταμό. Στα επόμενα κεφάλαια (Κεφάλαια 4 και 5) περιγράφονται αναλυτικά τα τεχνικά έργα και ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός που απαιτούνται για το σχεδιασμό ενός ΜΥΗΣ.



Σχήμα 3.2: Τυπική διάταξη ενός ΜΥΗΕ (Πηγή: Κοντίνη, 2016)

3.2 ΜΥΗΣ στην Ελλάδα

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι σημαντικότεροι ΜΥΗΣ που βρίσκονται στην Ελλάδα, με παράθεση στοιχείων για τον καθένα όπως είναι: η περιοχή το έργου, το έτος που ξεκίνησε η λειτουργία του, η ισχύς του, η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας, οι τύποι των υδροστροβίλων του, καθώς και τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη που προκύπτουν από τη λειτουργία του. Τέλος, στο Παράρτημα 1 δίνεται φωτογραφικό υλικό (εγκαταστάσεις, τεχνικά έργα, υδροστρόβιλοι κλπ) ορισμένων ΜΥΗΣ από τους παρατιθέμενους στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Στοιχεία ΜΥΗΣ Ελλάδας (Πηγή: <https://www.ppcr.gr/el/hydroelectric/>)

Όνομασία ΜΥΗΣ	Περιοχή	Έτος	Ισχύς (MW)	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (GWh)	Στοιχεία έργου	Περιβαλλοντικά & κοινωνικά οφέλη
ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑΣ	πλησίον Βέροιας Νομού Ημαθίας	2008	0,92	4	1 μονάδα Kaplan S-type οριζόντιου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO ₂ κατά 4.000 tn ετησίως. Δημιουργία υδροβιότοπου στην περιοχή του φράγματος.
ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ	πλησίον Σερρών	1931	0,70	0,71	2 μονάδες Francis οριζόντιου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO ₂ κατά 710 tn ετησίως
ΑΛΑΤΟΠΕΤΡΑ	Δήμος Γρεβενών	2013	2,43	14,5	2 μονάδες – 1 Francis οριζόντιου άξονα & 1 Pelton κάθετου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO ₂ κατά 14.500 tn ετησίως
ΑΛΜΥΡΟΣ	Δήμος Γεωργιούπολης Χανίων	1954	0,30	1,25	1 μονάδα Francis κάθετου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO ₂ κατά 1.250 tn ετησίως. Δημιουργία υδροβιότοπου στην περιοχή του φράγματος
ΒΕΡΜΙΟ	Δήμος Βέροιας Ημαθίας	1929	1,80	6	2 μονάδες Francis οριζόντιου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO ₂ κατά 6.000 tn ετησίως
ΓΙΤΑΝΗ	Δήμος Σαγιάδας Θεσπρωτίας	2006	2,06	17,5	2 μονάδες Kaplan S-type οριζόντιου άξονα (2 x 2,1MW)	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO ₂ κατά 17.500 tn ετησίως

Πίνακας 3.1 (συνέχεια): Στοιχεία ΜΥΗΣ Ελλάδας (Πηγή: <https://www.ppcr.gr/el/hydroelectric/>)

Όνομασία ΜΥΗΣ	Περιοχή	Έτος	Ισχύς (MW)	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (GWh)	Στοιχεία έργου	Περιβαλλοντικά & κοινωνικά οφέλη
ΓΚΙΩΝΑ	πλησίον Άμφισσας Φωκίδας	1987	8,50	34	1 μονάδα Francis κατακόρυφου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO2 κατά 34000 tn ετησίως
ΓΛΑΥΚΟΣ	Πάτρα Αχαΐας	1992	3,70	10,3	2 μονάδες οριζόντιου άξονα (Francis – 2,3MW & Pelton – 1,4MW)	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO2 κατά 10.300 tn ετησίως. Από ποταμό Γλαύκο καλύπτονται ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης της Πάτρας
ΕΛΕΟΥΣΑ	Δήμος Χαλκηδόνας Θεσσαλονίκης	2008	3,23	30	2 μονάδες Kaplan S-type οριζόντιου άξονα (2 x 3,3MW)	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO2 κατά 30.000 tn ετησίως
ΙΛΑΡΙΩΝΑΣ	Δήμος Κοζάνης	2014	4,20	22	1 μονάδα Francis οριζόντιου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO2 κατά 22.000 tn ετησίως
ΛΟΥΡΟΣ	σύνορα Νομών Άρτας & Πρέβεζας	1954	10,30	48	3 μονάδες Francis οριζόντιου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO2 κατά 48.000 tn ετησίως

Πίνακας 3.1 (συνέχεια): Στοιχεία ΜΥΗΣ Ελλάδας (Πηγή: <https://www.ppcr.gr/el/hydroelectric/>)

Όνομασία ΜΥΗΣ	Περιοχή	Έτος	Ισχύς (MW)	Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (GWh)	Στοιχεία έργου	Περιβαλλοντικά & κοινωνικά οφέλη
ΜΑΚΡΟΧΩΡΙ	Δήμος Αποστόλου Παύλου Ημαθίας	1992	10,80	30	3 μονάδες Kaplan S-type οριζόντιου άξονα (3 x 3,6MW)	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO2 κατά 30.000 tn ετησίως
ΟΙΝΟΥΣΑ	πλησίον Σερρών	2004	1,50	3,8	1 μονάδα Pelton οριζόντιου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO2 κατά 3.800 tn ετησίως
ΠΑΠΑΔΙΑ	Δήμος Φλώρινας	2010	0,50	2,3	1 μονάδα Pelton οριζόντιου άξονα	-
ΣΜΟΚΟΒΟ	Δήμος Ταμασίου Καρδίτσας	2008	10,40	10,7	2 μονάδες Francis οριζόντιου άξονα	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO2 κατά 10.700 tn ετησίως
ΣΤΡΑΤΟΣ II	Δήμος Νεάπολης Αιτωλοακαρνανίας	1989	6,20	12	2 μονάδες Kaplan S-type οριζόντιου άξονα (2 x 3,15MW)	Αποφυγή εκπομπής ρύπων CO2 κατά 12.000 tn ετησίως. Τροφοδότηση αναρρυθμιστικής λίμνης από οποία γίνονται απολήψεις για άρδευση περιοχής.

3.3 Νομοθεσία και αδειοδοτική διαδικασία για εγκατάσταση ΜΥΗΣ

3.3.1 Νομικό πλαίσιο

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει συγκεκριμένη νομοθεσία αποκλειστικά για τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Η ανάπτυξη των υδροηλεκτρικών έργων και η εκμετάλλευσή του εντάσσονται κυρίως στο πλαίσιο των διατάξεων της γενικότερης νομοθεσίας για τις ΑΠΕ. Το θεσμικό πλαίσιο που καλύπτει τις ΑΠΕ στην Ελλάδα ακολουθεί τις διεθνείς Οδηγίες και τους Κανονισμούς.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι νόμοι που αφορούν στις ΑΠΕ (Συμεωνίδου, 2008, Τσαγγάρης, 2013):

✚ **Νόμος 1559/1985:** «Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 135/Α/85). Αποτελεί την απαρχή των ΑΠΕ, αν και εφαρμόστηκε σε περιορισμένο βαθμό. Αντικαταστήθηκε από το Ν. 2244/1994.

✚ **Νόμος 2244/1994:** «Ρύθμιση θεμάτων Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 168/Α/94). Καταρτίστηκε με πρότυπο το *Stromeinspeisungsgesetz* (γερμανικό νόμο) και αποτελεί την ουσιαστική αρχή για την ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα. Για τα ΜΥΗΕ, ως ανώτατο επιτρεπόμενο όριο ισχύος, για σταθμούς ιδιοκτησίας ιδιωτών, ορίστηκαν τα 5 MW. Αντικαταστήθηκε από το Ν. 2773/99.

✚ **Νόμος 2773/1999:** «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας - Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις» (ΦΕΚ 286/Α/22-12-1999). Αποτελεί τη βάση σε θέματα ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας. Με το νόμο αυτό συστήθηκε η ΡΑΕ, ιδρύθηκε ο ΔΕΣΜΗΕ και η ΔΕΗ μετετράπη σε Ανώνυμη Εταιρία. Όσον αφορά στους ΜΥΗΣ, αναγνωρίστηκε επίσημα το όριο διάκρισης των 10 MW εγκατεστημένης ισχύος και συμπεριλήφθηκαν στις ΑΠΕ για τις οποίες δίνεται προτεραιότητα σύνδεσης στο Σύστημα. Τέλος, ο νόμος εισαγάγει την Άδεια Παραγωγής, η οποία είναι η πρώτη που απαιτείται για την υλοποίηση ενός ενεργειακού έργου.

✚ **Νόμος 2941/2001:** «Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότηση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. 'ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ' και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 201/Α/01). Συμπληρώνει το Ν. 2773/99 με σημαντικές διατάξεις σχετικά με τις προϋποθέσεις εγκατάστασης έργων ΑΠΕ σε δάση και το χαρακτηρισμό όλων των έργων ΑΠΕ ως έργα δημόσιας ωφέλειας.

✚ **Νόμος 3017/2002:** «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος» (ΦΕΚ 117/Α/02). Το

ελληνικό κράτος επισημοποιεί τις δεσμεύσεις της χώρας για δράσεις ενάντια στην κλιματική αλλαγή.

✚ **Νόμος 3468/2006:** «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις (ΦΕΚ 129/Α/29-6-2006). Θέτει ένα νέο περιβάλλον στην ηλεκτροπαραγωγή και μεταξύ άλλων απλοποιεί την αδειοδοτική διαδικασία των έργων και παράλληλα μειώνει το συνολικό χρόνο αδειοδότησης.

✚ **Νόμος 3734/2009:** «Προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 8/Α/28-1-2009). Συμπληρώνει το νομικό πλαίσιο για την προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας και περιλαμβάνει ρυθμίσεις σχετικές με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Με το νόμο αυτό γίνονται ορισμένες τροποποιήσεις στο Ν. 3468/2006.

✚ **Νόμος 3851/2010:** «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» (ΦΕΚ 85/Α/4-6-2010). Επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο Ν. 4368/2006 με την προσθήκη παραγράφων και τροποποιήσεων του νομοθετικού πλαισίου που αφορά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ.

✚ **Νόμος 4001/2011:** «Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις» (ΦΕΚ 179/Α/22-8-2011). Εισαγάγει ορισμένες πρόσθετες κρίσιμες αλλαγές στο Ν. 3468/2006.

✚ **Νόμος 4203/2013:** «Ρυθμίσεις θεμάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 235/Α/1-11-2013). Ρυθμίζει πολλά θέματα που αφορούν στις ΑΠΕ, ενώ παράλληλα περιλαμβάνει τροποποιήσεις σε διατάξεις των νόμων 3468/2006 και 4001/2011.

3.3.2 Θεσμικό πλαίσιο

Ο αρμόδιος φορέας του ελληνικού κράτους για το σχεδιασμό και την άσκηση ενεργειακής πολιτικής, καθώς και για την τήρηση των εθνικών δεσμεύσεων είναι το Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας. Η αρμόδια υπηρεσία για τις ΑΠΕ είναι η Διεύθυνση Αποδοτικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας της Γενικής Γραμματείας Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι φορείς που εμπλέκονται στην πορεία ανάπτυξης, υλοποίησης και λειτουργίας ενός ΜΥΗΣ και των ΑΠΕ γενικότερα (Συμεωνίδου, 2008).

Ο ρόλος της ΡΑΕ

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) ιδρύθηκε σύμφωνα με το άρθρο 4 του Ν. 2773/99, ως ανεξάρτητη διοικητική αρχή επιφορτισμένη με την παρακολούθηση και

τον έλεγχο της λειτουργίας της αγοράς ενέργειας και τη διατύπωση εισηγήσεων για την τήρηση των κανόνων του ανταγωνισμού και την προστασία των καταναλωτών. Συνοπτικά ο ρόλος της έγκειται στα εξής:

- ✓ Ασφάλεια και αξιοπιστία του ενεργειακού συστήματος της χώρας.
- ✓ Προστασία του περιβάλλοντος στα πλαίσια των διεθνών υποχρεώσεων.
- ✓ Προστασία των συμφερόντων του καταναλωτή ενέργειας και του δημόσιου συμφέροντος.
- ✓ Επίβλεψη της λειτουργίας των συστημάτων προμήθειας ενέργειας.
- ✓ Συμμετοχή στη διαμόρφωση της εθνικής ενεργειακής στρατηγικής και πληροφόρηση του κοινού.
- ✓ Καλλιέργεια διεθνών σχέσεων και συνεργασιών.

Ο ρόλος των ΔΕΣΜΗΕ – ΛΑΓΗΕ - ΑΔΜΗΕ

Ο Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) ιδρύθηκε με το ΠΔ 328/2000 (ΦΕΚ Α 268), σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 14 του Ν. 2773/99. Πρόκειται για Ανώνυμη Εταιρία που ανήκει σε ποσοστό 51% στο Ελληνικό Δημόσιο και 49% στις εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Από την 1^η Φεβρουαρίου του 2012 στα πλαίσια της εφαρμογής του Ν. 4001/2011 (ΦΕΚ Α' 179) η εταιρία ΔΕΣΜΗΕ ΑΕ μετονομάζεται σε «Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ» με το διακριτικό τίτλο «ΛΑΓΗΕ ΑΕ» και ασκεί αρμοδιότητες του Λειτουργού της Αγοράς όπως αυτές ορίζονται στο άρθρο 118 του Ν. 4001/2011. Η εταιρία ΑΔΜΗΕ ασκεί τα καθήκοντα του Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας όπως αυτά ορίζονται στο άρθρο 94 του Ν. 4001/2011. Οι αρμοδιότητες τους συνοψίζονται στα εξής:

- ✓ Αξιόπιστη και ακριβής καταμέτρηση των διακινούμενων ποσοτήτων ενέργειας.
- ✓ Κατανομή φορτίου μεταξύ μονάδων παραγωγής.
- ✓ Συντήρηση και ανάπτυξη του συστήματος μεταφοράς, ώστε να εξασφαλίζεται η επάρκεια και η αξιοπιστία.
- ✓ Τήρηση λογαριασμών για εκκαθάριση της αγοράς.
- ✓ Συμμετοχή στη διαμόρφωση των κανόνων λειτουργίας και υποστήριξης της ενεργειακής αγοράς με εκπόνηση μελετών για τις ανάγκες του συστήματος, διατύπωση προτάσεων και ενημέρωση των ενδιαφερόμενων.

Ο ρόλος του ΚΑΠΕ

Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) ιδρύθηκε με το ΠΔ 375/87 ως Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου με διοικητική και οικονομική αυτοτέλεια. Σύμφωνα με το ΠΔ 189/09 εποπτεύεται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Με τους Ν. 2244/94 και Ν. 2702/99 το ΚΑΠΕ ορίστηκε ως το Εθνικό Συντονιστικό Κέντρο στους τομείς των ΑΠΕ, ΕΞΕ (Εξοικονόμηση Ενέργειας) και ΟΧΕ (Ορθολογική Χρήση Ενέργειας). Ο ρόλος του ΚΑΠΕ είναι διττός: ως

ερευνητικό και τεχνολογικό κέντρο αναπτύσσει την εφαρμοσμένη έρευνα και υποστηρίζει τεχνικά την αγορά για τη διείσδυση και την εφαρμογή νέων τεχνολογιών ΑΠΕ και ΕΞΕ και, ως εθνικό κέντρο ενέργειας μελετά θέματα ενεργειακού σχεδιασμού και αναπτύσσει την απαραίτητη υποδομή για την υποστήριξη της υλοποίησης επενδυτικών προγραμμάτων ΑΠΕ και ΕΞΕ. Στα πλαίσια αυτά το ΚΑΠΕ έχει τις ακόλουθες αρμοδιότητες:

- ✓ Είναι ο επίσημος σύμβουλος της πολιτείας σε θέματα εθνικής πολιτικής και προγραμματισμού των ΑΠΕ, ΕΞΕ και ΟΧΕ.
- ✓ Εκτελεί εφαρμοσμένη έρευνα και αναπτύσσει νέες, περιβαλλοντικά φιλικές τεχνολογίες.
- ✓ Οργανώνει και εκτελεί πιλοτικά προγράμματα.
- ✓ Υλοποιεί εφαρμογές ΑΠΕ σε έργα ιδιωτικού τομέα, ΟΤΑ κλπ.
- ✓ Παρέχει υπηρεσίες τεχνικού συμβούλου με τη μορφή εξειδικευμένης τεχνογνωσίας και πληροφόρησης.
- ✓ Προβαίνει σε δράσεις διάδοσης της τεχνολογίας, οργανώνει και συμμετέχει σε τεχνικά και εκπαιδευτικά σεμινάρια κλπ.

Ειδικά όσον αφορά στους ΜΥΗΣ το ΚΑΠΕ διαθέτει σημαντική τεχνογνωσία, εμπειρία και υποδομή και παρέχει επ' αμοιβή τις εξής υπηρεσίες:

- ✓ Μετρήσεις υδρολογικών στοιχείων και εκπόνηση υδρολογικής μελέτης.
- ✓ Μελέτη σκοπιμότητας εγκατάστασης και τεχνικές και οικονομικές μελέτης ανάπτυξης ΜΥΗΣ.
- ✓ Μελέτη και κατασκευή υδροτροβίλων και επιλογή κατάλληλης γεννήτριας και συστήματος αυτοματισμού.
- ✓ Εκσυγχρονισμός – αποκατάσταση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού πεπαλαιωμένων ΜΥΗΣ.
- ✓ Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) κατασκευής και λειτουργίας ενός ΜΥΗΣ.
- ✓ Μετρήσεις για την χάραξη των καμπυλών λειτουργίας και βαθμού απόδοσης του έργου.
- ✓ Προμελέτη για την εκμετάλλευση του μικρού υδροηλεκτρικού δυναμικού σε επίπεδο λεκάνης – υπολεκάνης απορροής.

3.3.3 Αδειοδοτική διαδικασία

Η αδειοδοτική διαδικασία που απαιτείται για την κατασκευή και τη λειτουργία ενός ΜΥΗΣ περιγράφεται συνοπτικά στον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί. Αναλυτικά, οι άδειες και οι μελέτες, καθώς και τα έγγραφα που απαιτούνται για τη σύσταση των αντίστοιχων φακέλων, δίνονται αναλυτικά στο Παράρτημα 2.

Πίνακας 3.2: Η αδειοδοτική διαδικασία που απαιτείται ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ του ΜΥΗΣ

Εγκατεστημένη ισχύς ≤ 50 kW	50 kW < Εγκατεστημένη ισχύς ≤ 15 MW
Δεν απαιτείται Άδεια Παραγωγής, ούτε άλλη σχετική διαπιστωτική απόφαση.	Απαιτείται Άδεια Παραγωγής. Η αίτηση προς τη ΡΑΕ πρέπει να συνοδεύεται από τεκμηριωμένη υδρολογική μελέτη.
Πρέπει να υποβληθεί αίτηση για τη διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης προς τον αρμόδιο Διαχειριστή, ο οποίος και θεωρεί τα τοπογραφικά διαγράμματα αποτύπωσης του τρόπου σύνδεσης. Χορηγείται Προσφορά Σύνδεσης καταρχήν μη δεσμευτική. Αυτή οριστικοποιείται και καθίσταται δεσμευτική μετά το τέλος της περιβαλλοντικής αδειοδότησης.	
Απαιτείται Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) και Άδεια Χρήσης Νερού. Η απόφαση έγκρισης εκδίδεται κατόπιν αιτήσεως που συνοδεύεται από ΜΠΕ ή περιβαλλοντική έκθεση.	Απαιτείται ΕΠΟ. Η αίτηση πρέπει να συνοδεύεται από ΜΠΕ. Επιπλέον, απαιτείται Ενιαία Άδεια Χρήσης Νερού και Εκτέλεσης Έργων Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων.
Εφόσον πρόκειται να εκτελεστούν δομικά έργα, απαιτούνται Οικοδομικές Άδειες. Απαιτείται Σύμβαση Σύνδεσης. Απαιτείται Σύμβαση Αγοραπωλησίας.	
Δεν απαιτείται Άδεια Εγκατάστασης ή Άδεια Εκτέλεσης Έργων Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων.	Απαιτείται Άδεια Εγκατάστασης. Η ΥΑ 13310/2007 δίνει τη δυνατότητα υποβολής μίας αίτησης για την έκδοση μίας άδειας που ενσωματώνει την Ενιαία Άδεια και την Άδεια Εγκατάστασης.
Δεν απαιτείται Άδεια Λειτουργίας ούτε Δοκιμαστική Λειτουργία.	Απαιτείται Προσωρινή Σύνδεση για Δοκιμαστική Λειτουργία κατόπιν αιτήσεως προς τον αρμόδιο Διαχειριστή. Εφόσον επιτευχθεί απροβλημάτιστη λειτουργία 15 ημερών, εκδίδεται βεβαίωση επιτυχούς περάτωσης των δοκιμών. Απαιτείται Άδεια Λειτουργίας.

3.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΜΥΗΣ

Η εξάπλωση και η εκμετάλλευση των ΜΥΗΣ, που βασίζεται κυρίως στους μικρούς ποταμούς και στην επιφανειακή ροή των υδάτων, είναι συνήθως αρκετά ελκυστική επένδυση. Αυτό οφείλεται στα πολλαπλά πλεονεκτήματα που αυτά διαθέτουν, και κυρίως στο γεγονός ότι αντίστοιχα έργα είναι σχετικά εύκολο να αναπτυχθούν τόσο από τεχνικής όσο και από οικονομικής σκοπιάς. Ανάμεσα στα κυριότερα πλεονεκτήματα των ΜΥΗΣ είναι (Αβαγιανός, 2009; Μαρή, 2015):

- Εκμετάλλευση εγχώριων ανανεώσιμων φυσικών πόρων, καθώς οι υδατοπτώσεις είναι ΑΠΕ και δεν υπάρχει κίνδυνος εξαντλήσεώς τους, όπως στην περίπτωση των συμβατικών καυσίμων.
- Η κατασκευή τους συνδυάζεται συχνά και με άλλες χρήσεις όπως άρδευση, ύδρευση, ρύθμιση πλημμυρών, αλιεία, αναψυχή κλπ.
- Δυνατότητα να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις ζητηθεί επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς.
- Πολύ υψηλή απόδοση, που σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνά και το 90%.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής, της τάξεως των 20-30 ετών, με δυνατότητα να γίνει μεγαλύτερη αν ανανεωθεί ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός.
- Μικρό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, ενώ παράλληλα το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας δεν παρουσιάζει διακυμάνσεις και αντιστοιχεί ουσιαστικά στις αποσβέσεις του έργου.
- Οι υδροστρόβιλοι είναι στιβαρές και αξιόπιστες μηχανές που απαιτούν μικρή συντήρηση και επίβλεψη και για το λόγο αυτό δεν απαιτείται πολύ προσωπικό.
- Σημαντική συμβολή στην εκτέλεση περιφερειακών έργων, στη διάνοιξη καινούργιων δρόμων, στην οικιστική και βιομηχανική ανάπτυξη, καθώς και στην ανάπτυξη δικτύων με αποτέλεσμα την εξασφάλιση νέων θέσεων εργασίας.
- Άριστη διαχρονική συμπεριφορά.

Από την άλλη πλευρά, οι ΜΥΗΣ παρουσιάζουν και ορισμένα μειονεκτήματα, τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι:

- Έχουν μεγάλη διάρκεια κατασκευής (1-2 χρόνια), ενώ παράλληλα μεγάλη είναι και η διάρκεια των μελετών, της συλλογής / επεξεργασίας υδρολογικών, γεωλογικών και λοιπών στοιχείων, τα οποία πρέπει να είναι τόσο πιο πλήρη και αξιόπιστα όσο μεγαλύτερο είναι το έργο.
- Η ετήσια παραγωγή ενέργειας υφίσταται διακυμάνσεις που σχετίζονται με την ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων.
- Έχουν υψηλό κόστος κατασκευής (2000-4000 €/kW) και για το λόγο αυτό απαιτούν τη διάθεση πολύ μεγάλων κεφαλαίων.
- Η κατασκευή τους προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων υδατοπτώσεων και μεγάλων παροχών. Για το λόγο αυτό η θέση τους είναι πολλές φορές μακριά από την κατανάλωση με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται σημαντικά το κόστος κατασκευής τους από το κόστος των έργων μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

3.5 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ΜΥΗΣ

3.5.1 Θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η χρήση ΑΠΕ όπως είναι οι ΜΥΗΣ για την παραγωγή ενέργειας προσφέρει πολλά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα και συγκεκριμένα (Λαμπροπούλου κ.α., 2004):

- Δεν εκπέμπονται αέριοι ρύποι (π.χ. CO₂, NO_x), που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως συμβαίνει κατά τη χρήση συμβατικών καυσίμων.
- Δεν καταναλώνονται φυσικοί πόροι (π.χ. ορυκτά καύσιμα).
- Με προσεκτικές παρεμβάσεις των κατασκευαστών των ΜΥΗΣ είναι δυνατή η δημιουργία νέων τεχνητών υγροβιότοπων.

3.5.2 Ενδεχόμενες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι κυριότερες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν κατά τη διάρκεια κατασκευής και λειτουργίας των διαφόρων ΜΥΗΣ ανά παράμετρο περιβάλλοντος είναι (Λαμπροπούλου κ.α., 2004):

Παράμετρος: Έδαφος

Όταν η κατασκευή ΜΥΗΣ δε συνδυάζεται με την κατασκευή υδροταμιευτήρα, ισχύουν τα εξής:

- Αλλοίωση του εδάφους από την πιθανή κατασκευή αποθεσιοθάλαμου για την απόθεση των υλικών που προκύπτουν από την κατασκευή ορύγματος που θα δημιουργηθεί από τον αγωγό μεταφοράς και πτώσης του νερού, καθώς και από τα λοιπά βοηθητικά κατασκευαστικά έργα.
- Μεταβολή της μορφολογίας του εδάφους από τις κατασκευές αυτές.

Όταν η κατασκευή ΜΥΗΣ συνοδεύεται από τη κατασκευή υδροταμιευτήρα, τότε αναμένεται:

- Μεταβολή των χρήσεων γης της περιοχής, καθώς με τη δημιουργία του φράγματος και των λοιπών συνοδευτικών έργων κατακλύζονται εκτάσεις γης συνήθως γεωργικές.
- Μετατροπή του φυσικού περιβάλλοντος κατά μεγάλο ποσοστό σε ανθρωπογενές.
- Μεταβολή της μορφολογίας του εδάφους από την κατασκευή του ορύγματος του ταμιευτήρα και του φράγματος, καθώς και αλλοίωση του ανάγλυφου από την κατασκευή της λίμνης και των υπόλοιπων τεχνικών έργων.

- Πιθανή αλλοίωση του εδάφους από τη διάνοιξη δανειοθάλαμου για την απόληψη υλικών.
- Πιθανή πρόκληση σεισμικής δραστηριότητας ή κατολισθήσεων κατά τη διάρκεια της πλήρωσης του ταμιευτήρα, καθώς και στατικών προβλημάτων από την άνοδο του υπόγειου οριζώντιου ορίζοντα στην περιοχή του ταμιευτήρα.

Παράμετρος: Νερό

Όταν η κατασκευή ΜΥΗΣ συνοδεύεται από τη κατασκευή υδροταμιευτήρα, τότε αναμένεται όσον αφορά στην ποιότητα του νερού:

- Το νερό που υπερχειλίζει από το φράγμα είναι φτωχό σε φερτές ύλες εξαιτίας της κατακράτησης αυτών των υλών στο φράγμα, με αποτέλεσμα τη διάβρωση της παλιάς κοίτης του ποταμού (η επίπτωση αυτή ισχύει και στην περίπτωση που δεν κατασκευάζεται υδροταμιευτήρας συνοδευτικά με την κατασκευή του ΜΥΗΣ).
- Σε περίπτωση μη αποψύλωσης της βλάστησης μέσα από το χώρο που κατακλύζεται, παρατηρείται μείωση του οξυγόνου στο νερό εξαιτίας της βιοαποδόμησης των οργανικών και έκλυση μεθανίου λόγω της συνεπακόλουθης δημιουργίας αναερόβιων συνθηκών στον πυθμένα.
- Τα αναπτυσσόμενα αναερόβια βακτήρια μπορούν να μετατρέψουν τον αβλαβή ανόργανο υδράργυρο (ο οποίος προϋπάρχει στο έδαφος), σε μεθυλδραργυρό που είναι τοξικός και βιοσυσσωρεύσιμος, με αποτέλεσμα μέσω της τροφικής αλυσίδας να μεταβιβαστεί στους ανώτερους οργανισμούς.
- Πιθανή μείωση του διαλυμένου οξυγόνου και αλλαγή στη θερμοκρασία του νερού, με αποτέλεσμα το νερό της λίμνης στα ανώτερα στρώματα να είναι πιο ζεστό λόγω της στασιμότητας, και το πιο κρύο νερό να βυθίζεται και να είναι φτωχότερο σε οξυγόνο. Το πρόβλημα αυτό είναι τοπικό και επικεντρώνεται στην περιοχή αμέσως κατάντη του φράγματος ή του σταθμού παραγωγής.
- Πιθανή μείωση του pH από την αποσύνθεση της βιομάζας που υπάρχει στον ταμιευτήρα, θολότητα και αιωρούμενα στερεά από τη διάβρωση του πυθμένα, καθώς και αλάτωση του νερού.

Όταν η κατασκευή ΜΥΗΣ συνδυάζεται με την κατασκευή υδροταμιευτήρα, ισχύουν τα εξής, όσον αφορά στην ποσότητα του νερού:

- Μεταβολή της ποσότητας του νερού στα κατάντη του φράγματος με εναλλαγές περιόδων πλημμυρών και ξηρασίας.
- Επιβράδυνση της ροής του ποταμού στο φράγμα και επιτάχυνση της ροής του κατάντη του φράγματος (η επίπτωση αυτή μαζί με την πρώτη ισχύουν με ορισμένες τροποποιήσεις και στην περίπτωση που δεν κατασκευάζεται υδροταμιευτήρας συνοδευτικά με την κατασκευή του ΜΥΗΣ).
- Έντονες αυξομειώσεις στη στάθμη του ταμιευτήρα.

- Μεταβολές στον υδροφόρα ορίζοντα της περιοχής.

Παράμετρος: Χλωρίδα

- Αλλοίωση του ποτάμιου και παραποτάμιου οικοσυστήματος ανάντη και κατάντη του φράγματος και απώλεια μέρους της φυσικής παρόχθιας βλάστησης.
- Με την κατασκευή του φράγματος συγκρατείται πίσω του όλο το φορτίο των φερτών ιζημάτων που μετέφερε το νερό του ποταμού με αποτέλεσμα να μη μεταφέρεται το φορτίο αυτό στα κατάντη και να αλλοιώνεται το εκεί περιβάλλον, κυρίως στο δέλτα του ποταμού ή ακόμα οι γειτονικές ακτές.
- Πιθανή διάβρωση του εδάφους και εξαφάνιση της βλάστησης, παρόχθιας ή μη, εξαιτίας της εναλλαγής περιόδων πλημμυρών ή ξηρασίας.

Παράμετρος: Πανίδα

- Δημιουργία αναταραχής με μείωση έως και εξαφάνιση της ποτάμιας ιχθυοπανίδας και ανάπτυξη νέων ειδών ιχθυοπανίδας κυρίως λιμναίας.
- Εξαφάνιση ή αισθητή μείωση των ψαριών κατάντη του φράγματος λόγω της εκεί μικρής παροχής νερού.
- Δημιουργία προβλήματος σε όλα τα είδη των μεταναστευτικών ψαριών, καθώς απαιτούν διαφορετικό περιβάλλον (άλλοτε γλυκό νερό και άλλοτε αλμυρό) στις βασικές φάσεις της ζωής.
- Πολλαπλασιασμός κάποιων ειδών ορνιθοπανίδας, ερπετών και θηλαστικών (κυρίως αρπακτικών) λόγω της ύπαρξης του ταμιευτήρα.
- Πολλαπλασιασμός κάποιων ειδών εντόμων εξαιτίας της αύξησης της υγρασίας και του ηπιότερου περιβάλλοντος.
- Πιθανή υποβίβαση των ακτών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία προβλημάτων τόσο στην αλιεία, όσο και στα υδρόβια πουλιά.

Παράμετρος: Τοπίο

- Σημαντική σημειακή αλλαγή και τομή του τοπίου, το οποίο από φυσικό μετατρέπεται σε κάποια σημεία του σε ανθρωπογενές.
- Μετατροπή του διαμήκους, δαιδαλώδους και άγριου ποτάμιου τοπίου σε λιμναίο, συνήθως ήπιο και ομαλό.
- Τα δάση και η όποια βλάστηση προϋπάρχει, δίνουν τη θέση τους στη λίμνη, σε διώρυγες, κανάλια, στο σταθμό παραγωγής, σε νέους δρόμους πρόσβασης καθώς και σε νέα δίκτυα κοινής ωφέλειας.
- Σημαντική αλλοίωση του τοπίου μέχρι και το σημείο εκβολής του ποταμού, εξαιτίας της μειωμένης ροής του νερού κατάντη του φράγματος και της διαβρωμένης κοίτης του ποταμού.

Παράμετρος: Μικροκλίμα

- Αλλαγή του τοπικού υδρολογικού κύκλου λόγω της κατασκευής ταμιευτήρα, με αποτέλεσμα την αύξηση της υγρασίας.
- Μετατροπή του κλίματος σε ηπιότερο, καθώς παρατηρείται σχετική άνοδος της θερμοκρασίας και αλλαγή στους τοπικούς ανέμους, αφού δε συναντούν πλέον στο πέρασμά τους έδαφος, βλάστηση, δέντρα αλλά μια επίπεδη υγρή επιφάνεια.

Παράμετρος: Αέριες εκπομπές

- Αποσύνθεση της βλάστησης εξαιτίας της μη απομάκρυνσή της στη λεκάνη του ταμιευτήρα, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση και την απελευθέρωση μεθανίου, το οποίο είναι ανεπιθύμητο αέριο του θερμοκηπίου λόγω της δημιουργίας αναερόβιων συνθηκών.
- Μικρές εκλύσεις αέριων ρύπων και σκόνης κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου από τα μηχανήματα και τα οχήματα του εργοταξίου.

Παράμετρος: Απόβλητα

- Δημιουργία αποβλήτων στη φάση της κατασκευής του ΜΥΗΣ, κυρίως από εξαρτήματα, λάδια ή και από τους εργαζόμενους, τα οποία όμως είναι μικρής κλίμακας όγκου.
- Δημιουργία κάποιων αποβλήτων στην περιοχή του ταμιευτήρα κατά τον τακτικό καθαρισμό του πυθμένα του από τις συσσωρεύσεις φερτών υλών και βούρκου, προκειμένου να μη μειωθεί το δυναμικό αποθήκευσής του σε νερό.
- Για τη λειτουργία του στροβίλου και της γεννήτριας απαιτούνται κάποια λιπαντικά (όπως υδραυλικό έλαιο λειτουργίας, λιπαντικό για τον αξονικό τριβέα της ηλεκτρογεννήτριας κ.α.), για τα οποία απαιτείται ιδιαίτερη μέριμνα για τη συλλογή και τη διαχείρισή τους σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία περί διάθεσης χρησιμοποιούμενων ορυκτέλαιων.

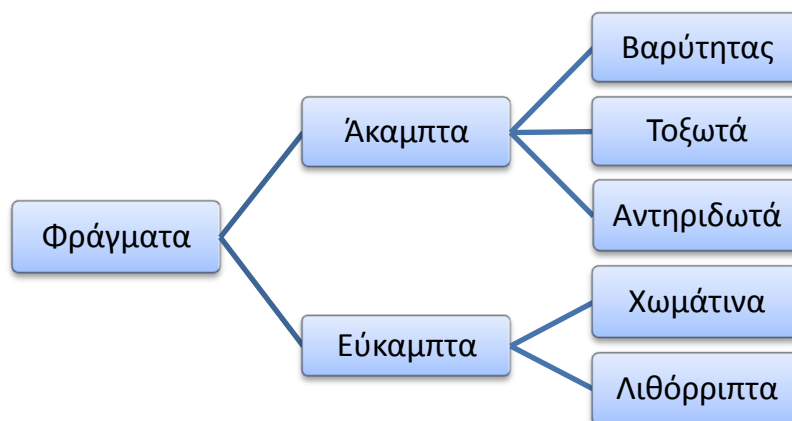
4. Σχεδιασμός ΜΥΗΣ – Τεχνικά έργα πολιτικού μηχανικού

4.1 Φράγματα

Τα φράγματα είναι τεχνικά υδραυλικά έργα, τα οποία κατασκευάζονται στις κοίτες ποταμών ή χειμάρρων και δρουν ως εμπόδιο στη φυσική ροή του νερού. Η κύρια χρησιμότητα ενός φράγματος είναι η αποθήκευση νερού σε έναν ταμιευτήρα με απώτερους στόχους (Μελίστα, 2015):

1. Την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Την άρδευση καλλιεργειών.
3. Την οικιακή κατανάλωση.
4. Την αντιμετώπιση της ξηρασίας και τον έλεγχο των πλημμύρων.
5. Τη δημιουργία χώρων ιχθυοκαλλιέργειας.
6. Τη δημιουργία χώρων ψυχαγωγίας και αθλημάτων νερού.

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται μία γενική κατηγοριοποίηση των φραγμάτων, ανάλογα με τα υλικά κατασκευής και τη γεωμετρία τους.

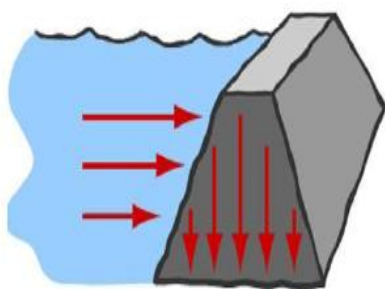


Σχήμα 4.1: Κατηγορίες φραγμάτων

Τα φράγματα βαρύτητας (Gravity Dams) (Σχήμα 4.2) κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα ή από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC- Roller Compacted Concrete) σε περιοχές με βραχώδες υπόβαθρο και με αντοχή πετρωμάτων 800-1000 kPa. Το ίδιο το βάρος των φραγμάτων αυτών εξασφαλίζει την παραλαβή των σεισμικών φορτίσεων,

καθώς και των δυνάμεων ολίσθησης και ανατροπής που ασκεί σε αυτά το νερό. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι κυρίως οι υδροστατικές στην ανάντη και ενδεχομένως στην κατάντη πλευρά, η δύναμη της άνωσης, το ίδιο το βάρος του φράγματος και η δύναμη της τριβής με το έδαφος. Το σχήμα τους είναι ευθύγραμμο ή καμπύλο, ανάλογα με την τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχής, τις λειτουργικές ανάγκες, την απαιτούμενη ασφάλεια της κατασκευής και το κόστος. Επιπλέον, η διατομή τους είναι τριγωνική ή τραπεζοειδής και με μεγάλο πλάτος (περίπου τα 2/3 του ύψους τους).

Χρησιμοποιούνται κυρίως σε κατασκευές υπερχειλίσης, καθώς το σκυρόδεμα δεν επηρεάζεται από τη ροή του νερού. Παράλληλα, απαιτούν μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος και το βάρος τους δημιουργεί τριβή που τα καθιστά ικανά ώστε να αντιστέκονται στις τεράστιες υδροστατικές πιέσεις. Τέλος, η πιο ενδεδειγμένη θέση για την κατασκευή ενός φράγματος βαρύτητας είναι η περιοχή στην οποία το βραχώδες υπόβαθρο εμφανίζεται κοντά στην επιφάνεια, τόσο στη θέση θεμελίωσης, όσο και στα πρανή του φράγματος (Βρόντζος, 2013; Αχιλλέως, 2015).



Σχήμα 4.2: (α) Απεικόνιση φράγματος βαρύτητας, (β) Το φράγμα βαρύτητας του Μαραθώνα (Πηγή: Σαμπατακάκης, 2016; <https://el.wikipedia.org/>)

Τα τοξωτά φράγματα (Arch Dams) (Σχήμα 4.3) κατασκευάζονται από σκυρόδεμα και είναι κυρτά προς το κατακόρυφο επίπεδο. Έχουν λεπτή διατομή, δηλαδή η βάση τους είναι πολύ πιο μικρή από το ύψος τους (της τάξεως του 10-20% του ύψους). Η κατασκευή τους αποτελείται από μια σειρά κατακόρυφα τμήματα που ενώνονται μεταξύ τους, με στόχο την παρεμπόδιση της ροής του νερού μεταξύ των τμημάτων.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την κατασκευή τέτοιων φραγμάτων είναι η ύπαρξη σταθερού βραχώδους υπόβαθρου, το οποίο μπορεί να αντέξει την ασκούμενη πίεση χωρίς σημαντικές καθιζήσεις. Οι δυνάμεις του νερού στον ταμιευτήρα ασκούνται πλευρικά στις συναρμογές τους, επομένως τα πετρώματα στα πρανή πρέπει να είναι

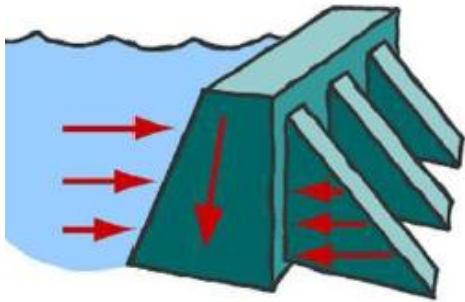
υψηλών αντοχών. Τέλος, επακόλουθο των παραπάνω είναι τα τοξωτά φράγματα να κατασκευάζονται συνήθως σε χαράδρες στενού πλάτους των οποίων τα πλευρικά τοιχώματα αποτελούνται από στιβαρό βράχο (Βρόντζος, 2013; Αχιλλέως, 2015).



Σχήμα 4.3: (α) Απεικόνιση τοξωτού φράγματος, (β) Το τοξωτό φράγμα του Ταυρωπού (Πηγή: Σαμπατακάκης, 2016; <http://blogs.sch.gr/agebi/2013/08/28/ιστορία-της-λίμνης-πλαστήρα-η-καρδίτσα/>)

Τα αντηριδωτά φράγματα (Buttress Dams) (Σχήμα 4.4) είναι ουσιαστικά φράγματα βαρύτητας, τα οποία αποτελούνται από πλάκες (επίπεδες ή τοξωτές) από σκυρόδεμα, κεκλιμένες ως προς την οριζόντιο, που στηρίζονται στα δύο άκρα τους σε κατακόρυφες αντηρίδες. Οι αντηρίδες είναι τοποθετημένες ανά 15-35m και με τη σειρά τους μεταφέρουν τις δυνάμεις στο έδαφος. Στα αντηριδωτά φράγματα το πέτρωμα θα πρέπει να έχει αντοχές μεταξύ 2200-3200 kPa.

Βασικό πλεονέκτημα αυτού του τύπου φράγματος είναι η απαίτηση περίπου 40% λιγότερου σκυροδέματος από ένα αντίστοιχο συμπαγές φράγμα σκυροδέματος. Από την άλλη πλευρά, το μειονέκτημά τους είναι ότι απαιτούν σημαντικά υψηλότερο κόστος εργασιών (Βρόντζος, 2013; Αχιλλέως, 2015).



Σχήμα 4.4: (α) Απεικόνιση αντηριδωτού φράγματος, (β) Το αντηριδωτό φράγμα του Λάδωνα (Πηγή: Σαμπατακάκης, 2016; <http://www.e-gortynia.gr/>)

Τα χωμάτινα φράγματα (Σχήμα 4.5) κατασκευάζονται με τα επιτόπου διαθέσιμα γαιώδη υλικά ώστε να ελαχιστοποιηθεί το κόστος τους. Η διάστρωση των υλικών πραγματοποιείται κατά ζώνες από διαβαθμισμένο υλικό και οι κλίσεις των πρανών είναι συναρτήσει των υλικών και της μορφής – θέσης του πυρήνα μέσα στη διατομή. Οι απαιτήσεις τους στη θεμελίωση είναι μικρές, συνεισφέροντας στο γενικότερο χαμηλό τους κόστος.



Σχήμα 4.5: Το χωμάτινο φράγμα των Κρεμαστών

Τα λιθόρριπα φράγματα αποτελούν απλουστευμένη μορφή των χωμάτινων φραγμάτων. Κατασκευάζονται από λίθους με προκαθορισμένο μέγεθος (η σύστασή τους είναι κατά 40-50% από λιθόρριπτο υλικό) και απαιτούν καλό έδαφος θεμελίωσης.

4.2 Εκχειλιστής

Εκχειλιστές (spillways) υπάρχουν σε όλα τα φράγματα για λόγους ασφαλείας. Ρόλος τους είναι να παρέχουν ελεγχόμενη έξοδο προς τα κατάντη στο νερό του ταμιευτήρα του φράγματος όταν η στάθμη ξεπεράσει κάποιο όριο. Ο τύπος και οι διαστάσεις του εκχειλιστή επιλέγονται έτσι ώστε η μέγιστη εκτιμώμενη πλημμυρική παροχή σχεδιασμού να διέρχεται αυτοτελώς από το σώμα του χωρίς να λαμβάνεται υπόψη άλλη συμπληρωματική παροχέτευση. Οι διάφοροι τύποι εκχειλιστών που υπάρχουν είναι:

1. Ελευθέρως ροής διαμέσου του φράγματος και κατά μήκος της κατάντη επιφάνειας του φράγματος (overflow spillway).
2. Ελευθέρως ροής επί ανοικτών αγωγών μεγάλου μήκους στα ακρόβαθρα του φράγματος που στο τέλος του φέρει λεκάνη αποτόνωσης ή κατασκευή αναπηδήσεως (flip bucket).
3. Με κεκλιμένη σήραγγα (stilling basin) που καταλήγει σε οριζόντια σήραγγα με λεκάνη αποτόνωσης ή κατασκευή αναπηδήσεως.
4. Με πλευρική διώρυγα (side channel) και κεκλιμένου ανοικτού αγωγού ή κεκλιμένης σήραγγας.
5. Χοανοειδής (morning glory), ο οποίος διατάσσεται στα ακρόβαθρα και αποτελείται από σήραγγα.
6. Σιφωνοειδής, ο οποίος διατάσσεται μέσα στο φράγμα.
7. Ελευθέρως πτώσεως μέσα στο φράγμα

4.3 Υδροληψία

Η υδροληψία (intake) είναι το τεχνικό έργο εισόδου του νερού, σε ανοικτό ή κλειστό αγωγό που συνδέει τον ταμιευτήρα με τον αγωγό προσαγωγής, και περιλαμβάνει (Ευστρατιάδης κ.α., 2015):

- ❖ Εσχάρες (trash racks), κατάλληλου ανοίγματος και κλίσης, οι οποίες εμποδίζουν την είσοδο επιπλέοντων αντικειμένων.
- ❖ Δεξαμενή καθίζησης των φερτών, με αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας του νερού.
- ❖ Εξοπλισμό ρύθμισης της ροής.
- ❖ Μηχανισμό καθαρισμού.
- ❖ Διάταξη προστασίας για απομάκρυνση των ψαριών.
- ❖ Θυροφράγματα ασφαλείας (π.χ. για την περίπτωση της συντήρησης της υδροληψίας).

Διακρίνονται τρεις κύριοι τύποι υδροληψιών: η ορεινή (tyrolean intake), η πλευρική (side intake) και η υδροληψία τύπου σίφωνα (siphon intake). Οι δύο πρώτοι εφαρμόζονται συνήθως όταν το νερό προέρχεται από φυσικό υδατόρευμα, ενώ ο

τρίτος εφαρμόζεται σε περιπτώσεις αξιοποίησης νερού από υφιστάμενο ταμιευτήρα ή κανάλι. Ο αναβαθμός που κατασκευάζεται στις υδροληψίες των ΜΥΗΣ έχει πολύ μικρό ύψος και δε στοχεύει στην αναρρόθμιση της φυσικής απορροής με τη δημιουργία, αλλά στη διαμόρφωση κατάλληλων συνθηκών για τη διοχέτευση της απαιτούμενης παροχής στο σύστημα προσαγωγής (σε αντίθεση με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα).

Η υδροληψία είναι σχεδιασμένη ώστε ένα μέρος της παροχής να αποδίδεται απευθείας στο φυσικό υδατόρευμα, προκειμένου να διατηρούνται ικανές συνθήκες διαβίωσης για το παρόχθιο οικοσύστημα. Όταν απαιτείται κατασκευάζεται ειδικό τεχνικό για τη διευκόλυνση της μετακίνησης των ψαριών κατά μήκος της κοίτης. Στις πλευρικές υδροληψίες προβλέπεται η ενσωμάτωση θυροφραγμάτων στον αναβαθμό για την εκκένωση των φερτών, ώστε να μη παρεμποδίζεται η μεταφορά των στερεών κατά μήκος της κοίτης.

Αφού αποσπαστεί από την κοίτη το νερό διοχετεύεται με ελεύθερη ροή στη δεξαμενή καθίζησης ή εξαμμωτή (εξαίρεση αποτελούν οι υδροληψίες τύπου σίφωνα, όπου δεν απαιτείται τεχνικό εξάμμωσης). Η δεξαμενή καθίζησης έχει κατάλληλες διαστάσεις ώστε να εξασφαλίζεται η κατακράτηση της ελάχιστης διάστασης κόκκου φερτών. Τέλος, σε συνέχεια του εξαμμωτή βρίσκεται η δεξαμενή φόρτισης, η οποία σχεδιάζεται ώστε να εξασφαλίζονται οι κατάλληλες υδραυλικές συνθήκες εισόδου στο υπό πίεση αγωγό προσαγωγής. Βασικό κριτήριο για το σχεδιασμό της δεξαμενής φόρτισης είναι η μη εισροή αέρα στον αγωγό προσαγωγής, που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σπηλαιώσης.

4.4 Αγωγός προσαγωγής

Οι αγωγοί πτώσεως ή αγωγοί προσαγωγής είναι οι αγωγοί που χρησιμεύουν στη διοχέτευση του νερού από τον ταμιευτήρα στους υδροστροβίλους. Το υλικό του αγωγού προσαγωγής εξαρτάται από χαρακτηριστικά όπως η παροχή, το μανομετρικό ύψος και το έδαφος έδρασης του αγωγού. Γενικότερα, σε ΜΥΗΣ χρησιμοποιούνται σωλήνες από χάλυβα, αμίαντο, πλαστικό, ελατό χυτοσίδηρο, GRP, πολυαιθυλένιο ή οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρακάτω αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του κάθε υλικού (Καράνης, 2015):

- Οι πλαστικές σωλήνες από εύκαμπτο πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο ή PVC χρησιμοποιούνται για μικρές παροχές της τάξεως των 0,03 m³/sec και μανομετρικό ύψος μικρότερο από 150m. Πλεονέκτημά τους είναι το μικρό βάρος, το μικρό κόστος, η ευκολία στην κατασκευή του αγωγού, ενώ μειονέκτημά τους είναι η γρήγορη γήρανση όταν εκτίθενται σε υπεριώδη ακτινοβολία.
- Οι πλαστικοί σωλήνες από υψηλής πυκνότητας (γνωστοί ως HDPE) έχουν αντοχή σε ονομαστική πίεση έως 220 bar. Η ένωση των τμημάτων γίνεται ή με ηλεκτροσυγκόλληση θερμαίνοντας τα 2 άκρα με ηλεκτρομούφα ή με μετωπική

θερμική συγκόλληση. Τυποποιημένα χαρακτηριστικά HDPE σωλήνων: διάμετρος 50-630mm και ονομαστική πίεση λειτουργίας 6-32 bar.

- Οι αμιαντοσωλήνες χρησιμοποιούνται για παροχές έως $0,2 \text{ m}^3/\text{sec}$ και μανομετρικό ύψος μικρότερο από 160m. Μειονεκτήματα στη χρήση τους είναι η έλλειψη ελαστικότητας, και γι' αυτό δεν εγκαθίστανται σε επικλινές ή ασταθές έδαφος, και η σύνδεση τους, η οποία απαιτεί ειδικούς συνδέσμους μορφής χιτωνίου με στεγανωτικούς δακτυλίους που αυξάνουν το χρόνο κατασκευής και προσδίδουν τοπικές απώλειες ενέργειας.

- Οι αγωγοί από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιούνται για υδραυλικές πτώσεις ύδατος έως 33m. Πλεονέκτημά τους είναι η ευκολία κατασκευής μη τυποποιημένων μεγάλων διατομών, ενώ μειονέκτημά τους θεωρείται ο χρόνος που απαιτεί το σκυρόδεμα, έναντι των άλλων υλικών, για να υποβληθεί σε φορτία λειτουργίας.

- Οι χαλυβδοσωλήνες χρησιμοποιούνται στα περισσότερα μικρά και μεγάλα ΥΗΕ. Πλεονεκτήματά τους είναι η ευκολία επί του έργου συγκόλλησης, η αντοχή σε μεγάλες τιμές πιέσεων, η ελαστικότητα και η ευκολία εύρεσης εξαρτημάτων τους στο εμπόριο. Τυποποιημένοι διάμετροι χαλυβδοσωλήνων κατασκευάζονται από 8-3000 mm.

- Οι σωλήνες από ελατό χυτοσίδηρο έχουν πιο περιορισμένο εύρος διαμέτρου σε σχέση με τους χαλυβδοσωλήνες. Δεν απαιτούν επί τόπου συγκόλληση και η σύνδεσή τους είναι γρήγορη και απλή χρησιμοποιώντας συνδέσμους και ελαστικά μέρη που εξασφαλίζουν τη στεγανότητα. Η εσωτερική επιφάνεια προσφέρει πολύ μικρές τιμές τραχύτητας σε αντίθεση με την εξωτερική. Τυποποιημένοι σωλήνες από ελατό χυτοσίδηρο υπάρχουν στο εμπόριο σε διαμέτρους 60-2000mm, σε μήκος 6m και ονομαστικές πιέσεις 25-65 bar.

- Οι σωλήνες GRP (glass reinforced plastic) κατασκευάζονται από ίνες γυαλιού περιτυλιγμένες σε σπειροειδή μορφή προσφέροντας αυξημένη αντοχή σε αξονική και περιφερειακή φόρτιση, αλλά και μειωμένες κατά πολύ υδραυλικές απώλειες. Η σύνδεσή τους απαιτεί συνδέσμους μορφής χιτωνίου και ελαστικές φλάντζες για τη στεγανότητά τους. Πλεονεκτήματά τους είναι το μικρό βάρος, η ανθεκτικότητα σε διάβρωση και η ευκολία εγκατάστασης, ενώ μειονεκτήματά τους είναι η μικρή αντοχή σε θλιπτικές εξωτερικές δυνάμεις, το περιορισμένο εύρος ονομαστικής πίεσης και η μικρή ακαμψία του υλικού. Τυποποιημένα χαρακτηριστικά GRP είναι τα ακόλουθα: διάμετροι 100-3000mm, μήκη 6,12 και 18m και ονομαστικές πιέσεις λειτουργίας 6-32 bar.

Η εγκατάσταση του αγωγού μπορεί να είναι υπόγεια ή επιφανειακή. Οι αγωγοί προσαγωγής στηρίζονται σε τσιμεντένια στηρίγματα. Τα στηρίγματα αυτά πρέπει να είναι ικανά να παραλαμβάνουν τις διάφορες δυνάμεις που αναπτύσσονται (π.χ. στην αλλαγή διεύθυνσης ή όταν λόγω θερμικών διαστολών μεταβάλλεται το μήκος του σωλήνα και κατά συνέπεια αναπτύσσονται δυνάμεις που πρέπει να παραληφθούν από τα στηρίγματα). Η μείωση των δυνάμεων αυτών μπορεί να γίνει με υπόγειο σωλήνα, με αλλαγή της κλίσης (αύξηση της ελαστικότητας) και στο έδαφος όπου η μέγιστη

θερμοκρασιακή διαφορά είναι 5-10 °C. Επιπλέον, οι δυνάμεις μειώνονται από την ύπαρξη νερού στον αγωγό. Τέλος, τα στηρίγματα μπαίνουν σε απόσταση μεταξύ τους ίση με $l = 16\sqrt{D}$, όπου D = η διάμετρος του αγωγού και παράλληλα στο αγωγό τοποθετούνται και οι απαραίτητες καλωδιώσεις για τον έλεγχο εξ αποστάσεως των θυροφραγμάτων της υδροληψίας από το σταθμό παραγωγής.

Απαραίτητα συνοδευτικά έργα του αγωγού είναι οι εξαεριστικές βαλβίδες και οι βαλβίδες εκκένωσης φερτών, στα ψηλά και χαμηλά σημεία της χάραξης αντίστοιχα και το σύστημα αντιπληγματικής προστασίας εφόσον είναι απαραίτητο (οι συνήθεις κατασκευές περιορισμού του πλήγματος είναι οι βαλβίδες ανακούφισης, οι δεξαμενές και οι πύργοι ανάπαλσης).

4.5 Πύργος ανάπαλσης

Ο πύργος ή δεξαμενή ανάπαλσης (surge tank) εφαρμόζεται σε μεσαίου και μεγάλου ύψους Η/Υ έργα, εφόσον ο ταμιευτήρας βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το σταθμό παραγωγής, ειδικότερα όταν το μήκος του αγωγού προσαγωγής είναι τουλάχιστον πενταπλάσιο του ολικού ύψους πτώσης. Ο πύργος τοποθετείται στην είσοδο του αγωγού προσαγωγής με σκοπό την εκτόνωση πιέσεων λόγω υδραυλικού πλήγματος. Διαθέτει νερό στον αγωγό προσαγωγής, όταν ο στρόβιλος ανοίγει τα ρυθμιστικά πτερύγια, και συνεπώς απαιτεί μεγαλύτερη παροχή, και αντίστροφα αποθηκεύει νερό όταν κλείνει ο στρόβιλος και μηδενίζεται η παροχή. Τέλος, ο πύργος ανάπαλσης παραλαμβάνει τις ταλαντώσεις που οφείλονται σε φαινόμενα υδραυλικού πλήγματος στον αγωγό προσαγωγής κατά το άνοιγμα ή κλείσιμο του στροβίλου, συνεπώς απαιτεί ικανή χωρητικότητα ώστε κατά την εμφάνιση του πλήγματος να μη γίνεται υπερχειλίση.



Σχήμα 4.6: Πύργος ανάπαλσης και αγωγός προσαγωγής

4.6 Σταθμός παραγωγής

Ο σταθμός παραγωγής είναι το κτίριο στο οποίο τερματίζει το σύστημα προσαγωγής και περιέχει τις μονάδες παραγωγής, δηλαδή τον υδροστρόβιλο και τη γεννήτρια με το μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Επιπλέον, περιλαμβάνει τον εξοπλισμό που είναι απαραίτητος για την εγκατάσταση και τη συντήρηση του κύριου εξοπλισμού (π.χ. γερανογέφυρα, αντλίες αποστράγγισης, εργαλεία επισκευών κλπ.).

Η διάταξη του σταθμού παραγωγής εξαρτάται από την υφιστάμενη τοπογραφία, τις συνθήκες ροής του φυσικού υδατορεύματος και τον τύπο του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Η χωροθέτηση του εξοπλισμού είναι διαφορετική για στρόβιλο οριζόντιου, κατακόρυφου ή διαγώνιου άξονα. Ο σταθμός μπορεί να είναι είτε υπέργειος είτε υπόγειος. Στη δεύτερη περίπτωση ο όγκος και η χωροθέτησή του υπόκεινται στους όρους δόμησης της περιοχής και πρέπει να τηρούνται συγκεκριμένες αποστάσεις από τα όρια του οικοπέδου και την οριογραμμή του υδατορεύματος.

Το πλήθος των μονάδων, που περιλαμβάνει ο σταθμός, εξαρτάται από τον τρόπο λειτουργίας του υδροηλεκτρικού έργου και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. Συνήθως, υπάρχουν δύο ή περισσότερες μονάδες, ώστε να δίνεται ευελιξία στη λειτουργία καθώς και εύκολη πρόσβαση για συντήρηση και ασφάλεια. Το κτίριο των ΜΥΗΣ έχει συνήθως το μικρότερο δυνατό βέλτιστο μέγεθος. Η κατασκευή του γίνεται από σκυρόδεμα και άλλα τοπικά οικοδομικά υλικά. Η απλότητα στο σχεδιασμό του με έμφαση στην πρακτικότητα και στην εύκολη κατασκευή των δομών, είναι πρωταρχικής σημασίας για ένα μικρό υδροηλεκτρικό έργο προκειμένου οι δαπάνες να περιοριστούν στο ελάχιστο (Ροδόπουλος, 2005).

Τέλος, μετά την έξοδο από το στρόβιλο το νερό αποδίδεται στη φυσική ροή του υδατορεύματος μέσω της διώρυγας φυγής. Η διώρυγα φυγής είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να διατηρούνται ομαλές συνθήκες ελεύθερης ροής και να αποφεύγεται το φαινόμενο της σπηλαιώσης (όταν πρόκειται για υδροστρόβιλους τύπου Kaplan και Francis).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Σχεδιασμός ΜΥΗΣ – Ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός

5.1 Υδροστρόβιλοι

5.1.1 Αρχή λειτουργίας

Ως υδροστρόβιλος καλείται η μηχανή, η οποία μετατρέπει την υδραυλική ενέργεια του υγρού (νερού) σε μηχανική ενέργεια μέσω συνεχούς ροής του υγρού και σταθερής περιστροφικής κίνησης του άξονα του στροβίλου. Η μετατροπή της ενέργειας του διερχόμενου υγρού υπό σταθερή παροχή σε μηχανική ενέργεια πραγματοποιείται στο στρεφόμενο μέρος της μηχανής (που ονομάζεται δρομέας), μέσω της ανάπτυξης κινητήριας ροπής σε αυτό. Η άτρακτος του δρομέα είναι συζευγμένη με ηλεκτρική γεννήτρια που με τη σειρά της μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Τέλος, κάθε υδροστρόβιλος αποτελείται από τρία βασικά κατασκευαστικά μέρη: το τμήμα εισόδου της μηχανής, το δρομέα και το τμήμα εξόδου (Γκιάλα-Φήκαρη, 2012; Ζήκος, 2012).

5.1.2 Τύποι υδροστροβίλων

Οι υδροστρόβιλοι με κριτήριο τη διαθέσιμη υδραυλική πτώση, δηλαδή την ανά μονάδα μάζας ενέργεια του νερού που διατίθεται στη μηχανή, χωρίζονται σε μηχανές μεγάλου, μεσαίου και μικρού υδραυλικού ύψους. Μια δεύτερη κατηγοριοποίηση γίνεται με βάση το βαθμό αντιδράσεως (reaction degree) ενός υδροστροβίλου, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της μεταβολής της στατικής πίεσης της ροής από την είσοδο έως την έξοδο του δρομέα του υδροστροβίλου προς τη συνολική μεταβολή της στατικής πίεσης από την είσοδο του δρομέα μέχρι την έξοδο από τη μηχανή. Έτσι, όταν η ροή διαμέσου του δρομέα πραγματοποιείται με παράλληλη μεταβολή της στατικής πίεσης η μηχανή χαρακτηρίζεται ως υδροστρόβιλος αντιδράσεως (reaction turbine) ή ολικής προσβολής. Αντίθετα, όταν ο δρομέας λειτουργεί σε χώρο ομοιόμορφης στατικής πίεσης και ο βαθμός αντιδράσεως είναι μηδενικός η μηχανή χαρακτηρίζεται ως υδροστρόβιλος δράσεως (impulse turbine) ή μερικής προσβολής (Γκιάλα-Φήκαρη, 2012; Ζήκος, 2012).

Ένας τρίτος διαχωρισμός γίνεται με κριτήριο την καθοδήγηση του νερού και οι υδροστρόβιλοι διακρίνονται σε αξονικούς, ακτινωτούς και μικτούς. Στους αξονικούς υδροστροβίλους το νερό καθοδηγείται με τέτοιο τρόπο στην κινητή στεφάνη, ώστε η κυκλοφορία του να γίνεται παράλληλα προς τον άξονα του στροβίλου. Στους

ακτινωτούς υδροστροβίλους η προσαγωγή του νερού γίνεται με διεύθυνση ακτινωτή, δηλαδή κάθετα προς τον άξονα του στροβίλου. Τέλος, στους μικτούς υδροστροβίλους η κυκλοφορία του νερού μέσα στο στρόβιλο γίνεται εν μέρει παράλληλα προς τον άξονά του και εν μέρει κάθετα (Γκιάλα-Φήκαρη, 2012).

5.1.2.1 Υδροστρόβιλοι δράσεως

Οι υδροστρόβιλοι δράσεως είναι οι παλαιότεροι τύποι υδραυλικών μηχανών και παράλληλα είναι οι απλούστεροι από πλευράς σχεδιασμού, ελέγχου και ευκολίας συντήρησης. Αξιοποιούν τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού μέσω του ακροφυσίου σε κινητική ενέργεια, η οποία εκρέει και προσπίπτει στους κάδους ή τα πτερύγια του δρομέα. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε σταθμούς με μεγάλα υδραυλικά ύψη (από 500 έως 1000m) και μικρές παροχές νερού, καθώς η υψηλή ταχύτητα του νερού, επικεντρώνει τη διαθέσιμη υδραυλική ισχύ σε μια μικρή περιοχή ροής με αποτέλεσμα την αποδοτικότερη μετατροπή ισχύος.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των υδροστροβίλων δράσεως είναι (Γκιάλα-Φήκαρη, 2012):

- Η ανθεκτικότητά τους στην άμμο και σε λοιπά σωματίδια που μπορεί να μεταφέρει το νερό.
- Δεν απαιτείται ιδιαίτερη πολυπλοκότητα και βαριά κατασκευή, εξαιτίας της χαμηλής ειδικής ταχύτητας ροής που έχουν.
- Δεν κινδυνεύουν από το φαινόμενο της σπηλαιώσης, καθώς λειτουργούν σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης.
- Διατηρούν ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης σε συνθήκες μερικής ροής.

Από την άλλη πλευρά, ένα σημαντικό τους μειονέκτημα είναι η ακαταλληλότητα χρησιμοποίησής τους σε συστήματα χαμηλού λόγου ύψους προς ισχύ. Εντούτοις, δύναται να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα με χαμηλό ύψος υδατόπτωσης, αν η μεταφερόμενη ισχύς και η ταχύτητα περιστροφής είναι και αυτές χαμηλές.

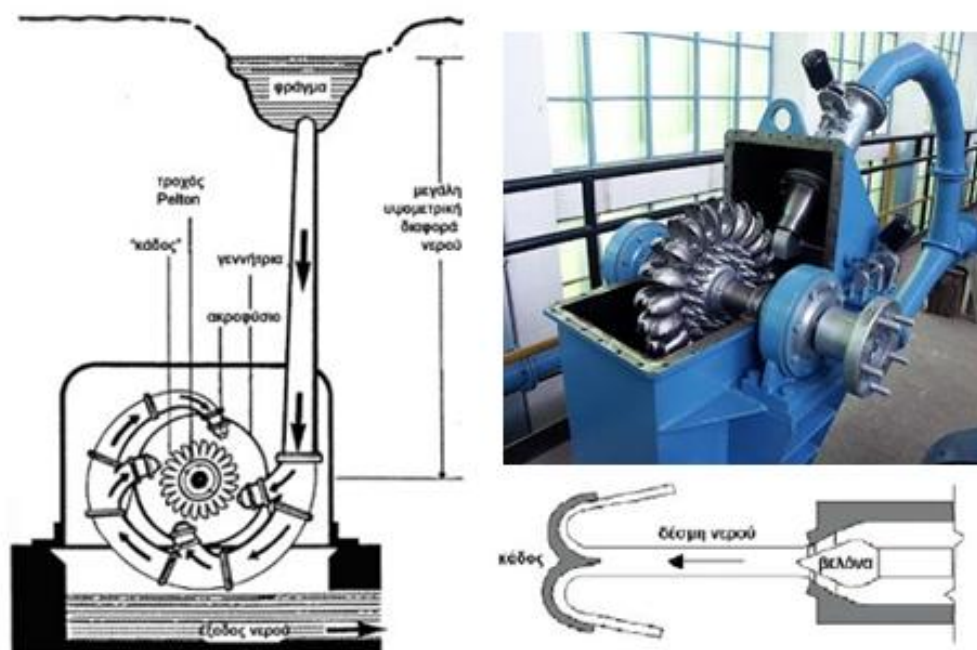
Χαρακτηριστικοί τύποι υδροστροβίλων δράσεως είναι ο υδροστρόβιλος Pelton, ο υδροστρόβιλος Turgo και ο υδροστρόβιλος Cross-flow (εγκάρσιας ροής), οι οποίοι περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες υποενότητες.

Υδροστρόβιλος Pelton

Ο υδροστρόβιλος Pelton (Σχήμα 5.1) είναι ο πιο παλιός και γνωστός υδροστρόβιλος δράσεως και πήρε το όνομά του από τον Αμερικάνο εφευρέτη του Lester Allan Pelton (1889). Χρησιμοποιείται κυρίως για μεσαία και μεγάλα ύψη υδατόπτωσης (20-200m) και για μεγάλο εύρος ισχύων (από πολύ μικρές της τάξεως του kW έως πολύ μεγάλες της τάξεως των εκατοντάδων MW), ενώ η απόδοσή του προσεγγίζει το 90%.

Το τμήμα εισόδου του Pelton αποτελείται από ένα ή περισσότερα ακροφύσια τροφοδοσίας, σκοπός των οποίων είναι η μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του ρευστού σε μηχανική, σχηματίζοντας το καθένα μία δέσμη κυκλικής διατομής. Κάθε δέσμη προσπίπτει στο δρομέα, δίνοντας του μια ώθηση κατά την περιφερειακή διεύθυνση, η οποία δημιουργεί την κινητήρια ροπή. Ο δρομέας είναι τοποθετημένος πάνω από την ελεύθερη στάθμη της δεξαμενής απαγωγής, έτσι ώστε η δέσμη του νερού, μετά την πρόσπτωσή της σε αυτόν, να πέφτει υπό την επίδραση της βαρύτητας στην ελεύθερη επιφάνεια της διώρυγας απαγωγής. Ο άξονας του δρομέα μπορεί να είναι οριζόντιος ή κατακόρυφος. Στους υδροστρόβιλους Pelton κατακόρυφου άξονα το βάρος της γεννήτριας και του στροφείου της γεννήτριας παραλαμβάνεται από ωστικό έδρανο. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι στην περίπτωση ύπαρξης πολλαπλών δεσμών είναι προτιμότερη η κατακόρυφη διάταξη του άξονα, ώστε όλα τα ακροφύσια να μη βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και να μην παρεμποδίζεται η λειτουργία τους από τα απόνερα των σκαφιδιών.

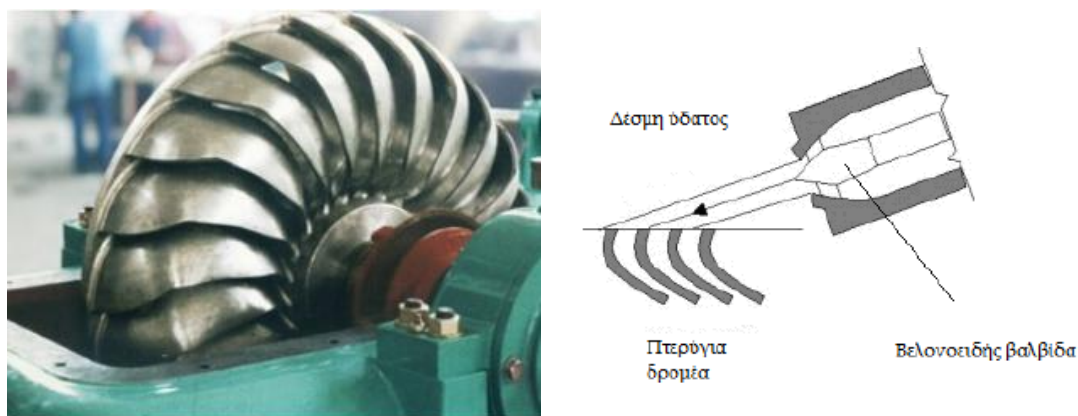
Τα σκαφίδια του Pelton έχουν το σχήμα δύο κυπέλων ενωμένων στη μια πλευρά, δημιουργώντας σε εκείνο το σημείο μια αιχμηρή ευθύγραμμη προεξοχή, στην οποία προσπίπτει η δέσμη του νερού και διαχωρίζεται σε δύο ίσες δέσμες που ρέουν στο εσωτερικό των δύο πλευρών του σκαφιδιού. Το σκαφίδιο είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να εκτρέπει τη δέσμη κατά 165° , η οποία είναι η μέγιστη δυνατή γωνία ώστε να μην επηρεάζεται το επόμενο σε σειρά σκαφίδιο από τα απόνερα αυτού που προπορεύεται. Το μέγεθός τους καθορίζεται από τη διάμετρο της δέσμης του νερού και ο αριθμός τους καθορίζει το μέγεθος και τη διάμετρο του δρομέα. Τέλος, για τη μέγιστη απόδοση του στροβίλου πρέπει η ταχύτητα της δέσμης του νερού να είναι περίπου διπλάσια της ταχύτητας των σκαφιδιών.



Σχήμα 5.1: Υδροστρόβιλος τύπου Pelton

Υδροστρόβιλος Turgo

Ο υδροστρόβιλος Turgo (Σχήμα 5.2) ανήκει και αυτός στην κατηγορία των υδροστροβίλων δράσεως και αναπτύχθηκε το 1999 από τον Gilkes ως τροποποίηση του στροβίλου Pelton. Είναι παρόμοιος με τον Pelton με τη διαφορά ότι στον Turgo η δέσμη προσπίπτει στο σκαφίδιο υπό γωνία (20° συνήθως) ως προς το επίπεδο του δρομέα. Έτσι, δεν υπάρχει ο κίνδυνος παρεμβολής των απόνερων του σκαφιδίου με τη δέσμη (όπως στην περίπτωση του Pelton), καθώς το νερό προσπίπτει στο δρομέα από τη μία πλευρά του σκαφιδίου και εξέρχεται από την άλλη. Οι Turgo λειτουργούν σε μια κλίμακα υψών υδατόπτωσης όπου οι Francis και Pelton επικαλύπτονται. Ένας δρομέας Turgo μοιάζει με ένα δρομέα Pelton χωρισμένο στη μέση. Για την ίδια ισχύ ο δρομέας του έχει τη μισή διάμετρο από τον Pelton, και έτσι διπλάσια ειδική ταχύτητα. Τέλος, οι υδροστρόβιλοι αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται ως εφαπτομενικής ροής και συναντούν εφαρμογή στις περιπτώσεις όπου το ύψος υδατόπτωσης κυμαίνεται μεταξύ 30 και 300m.



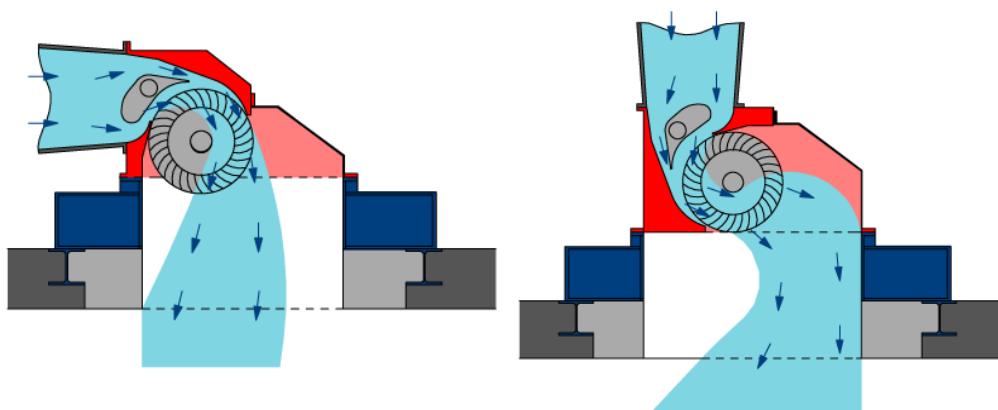
Σχήμα 5.2: Υδροστρόβιλος τύπου Turgo

Υδροστρόβιλος Cross-flow

Ο υδροστρόβιλος Cross-flow (Σχήμα 5.3) ή εγκάρσιας ροής (ή στρόβιλος Banki – Michell ή στρόβιλος Ossberger) δημιουργήθηκε από τον Αυστραλό Anthony Michell, τον Ούγγρο Donat Banki και το Γερμανό Fritz Ossberger. Σε αντίθεση με τους περισσότερους υδροστροβίλους που έχουν αξονικές ή ακτινωτές ροές, σε έναν στρόβιλο Cross-flow το νερό περνά εγκάρσια μέσω του δρομέα ή διαμέσου των λεπίδων του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο δρομέας αποτελείται από δύο ή περισσότερους παράλληλους δίσκους που συνδέονται κοντά στο άκρο τους με πτερύγια καμπύλης κατασκευής. Το νερό εισέρχεται στο στρόβιλο μέσω ενός ή περισσότερων οδηγητικών περυγίων, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε μεταβατικό τμήμα στο επάνω μέρος του δρομέα. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η πρόσκρουση του ύδατος με το πρώτο στάδιο του δρομέα που περιστρέφεται προκαλώντας μικρό βαθμός αντίδρασης και ακολούθως το νερό διασχίζει το κενό τμήμα του δρομέα, με

αποτέλεσμα να συναντά το δεύτερο στάδιό του, όπου επιτυγχάνεται συμβιβαστική ροή.

Η μέγιστη απόδοση ενός στροβίλου Cross-flow είναι μικρότερη από αυτή των στροβίλων Kaplan, Francis ή Pelton, ωστόσο έχει επίπεδη καμπύλη απόδοσης υπό ποικίλο φορτίο. Λόγω της χαμηλής τιμής του και των καλών ρυθμίσεων που διαθέτει χρησιμοποιείται περισσότερο σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς ισχύος έως 2MW και με ύψη υδατόπτωσης μικρότερα των 200m. Τέλος, η απλή κατασκευή του καθιστά ευκολότερη τη συντήρηση του σε σχέση με άλλους τύπους υδροστροβίλων και κατατάσσεται στους στροβίλους ακτινωτής ροής μερικής έγχυσης με δυνατότητα λειτουργίας για παροχές νερού από 0,02 έως 10 m³/s.



Σχήμα 5.3: Υδροστρόβιλος τύπου Cross-flow

5.1.2.2 Υδροστρόβιλοι αντιδράσεως

Οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως χρησιμοποιούν την πίεση και την ταχύτητα του νερού για να αναπτύξουν μηχανική ισχύ. Το ρεύμα του νερού διέρχεται συνεχώς μέσα από ολόκληρη την περιφέρεια του στροβίλου και εξέρχεται αξονικά. Έτσι, το νερό παρέχει σταθερή ώθηση στο δρομέα και η ροή διαμέσου της πτερωτής γίνεται με

παράλληλη μεταβολή της πίεσης του νερού. Για την επίτευξη ομοιόμορφης τροφοδοσίας και λειτουργίας της πτερωτής, το τμήμα εισόδου περιβάλλει την πτερωτή και έχει μορφή σπειροειδούς κελύφους. Επιπλέον, οι υδροστροβίλοι αυτής της κατηγορίας είναι εφοδιασμένοι στην έξοδό τους με αγωγό απαγωγής, καθώς δημιουργεί ένα ύψος αναρρόφησης που συμβάλλει μαζί με το υδραυλικό ύψος στην παραγωγή ενέργειας πάνω στο στροβίλο.

Οι υδροστροβίλοι αντιδράσεως είναι καταλληλότεροι για συστήματα με μικρά έως μεσαία υδραυλικά ύψη και μεγαλύτερες τιμές παροχής. Ειδικότερα, για εφαρμογές μικρού υδραυλικού ύψους, οι υδροστροβίλοι αυτής της κατηγορίας προσφέρουν μικρότερες διαμέτρους στροβίλου και μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής, αν και πρέπει να διαχειριστούν μεγάλες τιμές παροχής.

Εξαιτίας των μεγάλων ταχυτήτων στις οποίες μπορούν να περιστραφούν, οι υδροστροβίλοι αντιδράσεως προσφέρουν τη δυνατότητα για άμεση σύζευξη με τη γεννήτρια χωρίς την παρεμβολή κάποιου κιβώτιου ταχυτήτων, το οποίο θα αύξανε το κόστος και τις απώλειες του συστήματος. Επιπλέον, άλλα πλεονεκτήματά τους είναι ότι μπορούν να πετύχουν μεγάλες τιμές βαθμού απόδοσης και ότι η λειτουργία τους μπορεί να αντιστραφεί και να χρησιμοποιηθούν και ως αντλίες (όταν αυτό απαιτείται) για λόγους ενεργειακής αποθήκευσης. Από την άλλη πλευρά, παρουσιάζουν τα ακόλουθα μειονεκτήματα. Ο βαθμός απόδοσής τους μειώνεται πολύ σε συνθήκες μερικής ροής και χρειάζεται πιο ακριβός και πολύπλοκος μηχανισμός ελέγχου των αλλαγών της διεύθυνσης των πτερυγίων για να είναι η ροή πάντα κάθετη σε αυτά. Επιπλέον, οι υδροστροβίλοι αντιδράσεως παρουσιάζουν προβλήματα λόγω του φαινομένου της σπηλαιώσεως, δηλαδή των μεγάλων αυξομειώσεων της πίεσης του νερού, που προκαλεί ζημιές στα πτερύγια.

Στην κατηγορία των υδροστροβίλων αντίδρασης ανήκουν ο υδροστροβίλος Francis ακτινικής και μικτής ροής, οι υδροστροβίλοι αξονικής ροής, όπως ο Kaplan και ο υδροστροβίλος διαγώνιας ροής τύπου Deriaz.

Υδροστροβίλος Francis

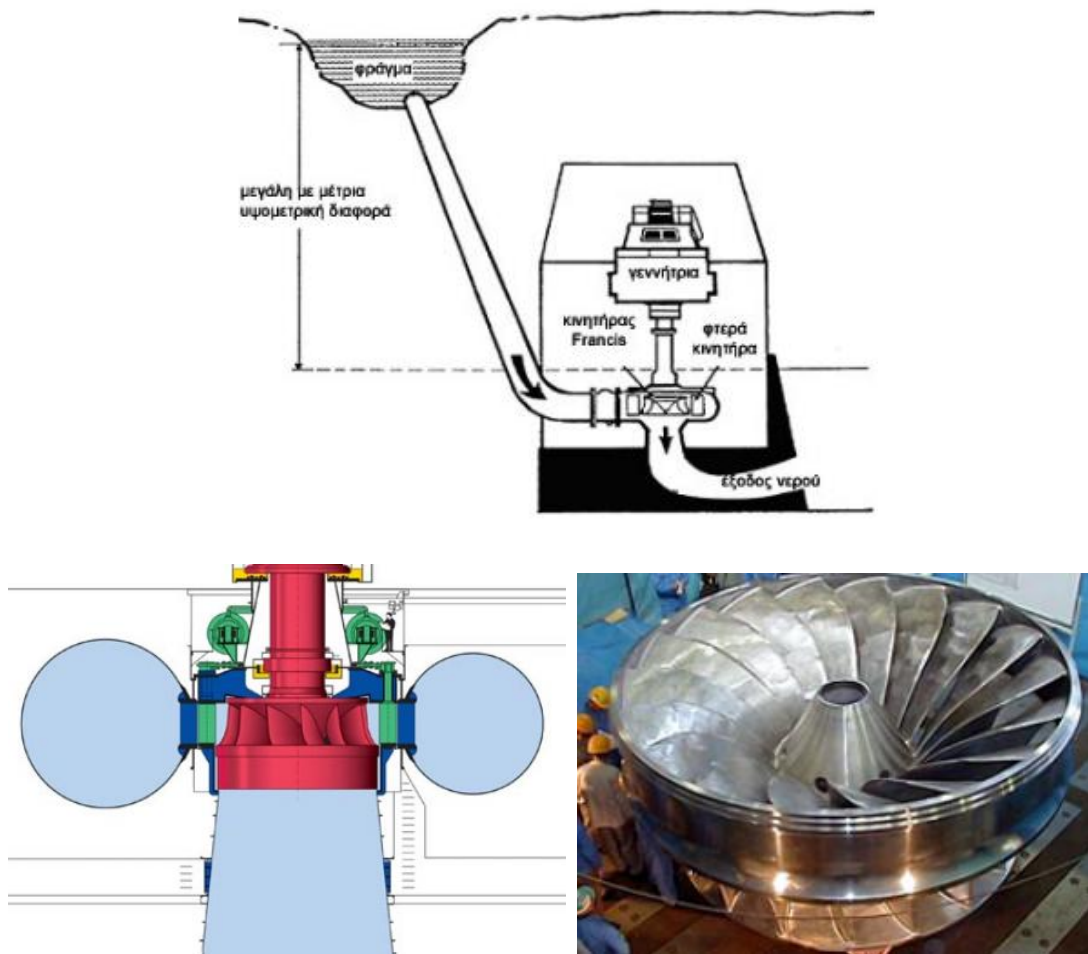
Ο υδροστροβίλος Francis (Σχήμα 5.4) είναι ένας μικτού τύπου υδροστροβίλος αντιδράσεως με που κατασκευάστηκε για πρώτη φορά στα τέλη του 19^{ου} αιώνα από τον James B. Francis. Οι Francis είναι στροβίλοι με σταθερές λεπίδες στο δρομέα και διευθυντικά οδηγητικά πτερύγια (8 έως 20) που χρησιμοποιούνται για μεσαία ύψη υδατόπτωσης. Σε αυτό τον τύπο στροβίλου η ροή εισόδου είναι πάντα ακτινωτή αλλά η ροή εξόδου αξονική.

Κατά τη λειτουργία των Francis, το νερό εισέρχεται στο στροβίλο από το σπειροειδές κέλυφος, το οποίο είναι σχεδιασμένο να διατηρεί την εφαιπτομενική ταχύτητα του σταθερή κατά μήκος των διαδοχικών τμημάτων και να τη διανέμει περιφερειακά στο δρομέα. Στόχος των οδηγητικών πτερυγίων είναι να ελέγχουν την παροχή που

εισέρχεται στο δρομέα και να προσαρμόζουν την εισερχόμενη γωνία ροής στις διαγώνιες λεπίδες του δρομέα. Περιστρέφονται γύρω από τους άξονες τους μέσω συνδετικών μοχλών που προσδένονται με ένα μεγάλο δακτύλιο που συγχρονίζει την κίνηση όλων των πτερυγίων. Τα πτερύγια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διακοπή της ροής στο στρόβιλο σε περίπτωση ανάγκης, αν και η χρήση τους δεν αποκλείει την εγκατάσταση βαλβίδας πεταλούδας στην είσοδο του στρόβιλου. Ο δρομέας μετασχηματίζει την υδραυλική ενέργεια σε μηχανική και το νερό επιστρέφει ακτινικά στον αγωγό φυγής.

Οι μικροί υδροστρόβιλοι είναι συνήθως κατασκευασμένοι από ανοξείδωτα κελύφη. Οι μεγάλοι στρόβιλοι Francis σχεδιάζονται ξεχωριστά για κάθε τοποθεσία στην οποία θα λειτουργήσουν στη μέγιστη πιθανή απόδοση. Η χρήση τους προτείνεται σε περίπτωση υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων μεσαίου ύψους υδατόπτωσης (25-350m) και παροχής ύδατος ως $30 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Τέλος, οι υδροστρόβιλοι τύπου Francis, μπορούν να τοποθετηθούν είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα και να σχεδιαστούν για ένα ευρύ φάσμα υψών και ροών. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με την υψηλή απόδοσή τους, τους καθιστά τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους στρόβιλους στον κόσμο.



Σχήμα 5.4: Υδροστρόβιλος τύπου Francis

Υδροστρόβιλοι αξονικής ροής

Οι βασικοί τύποι υδροστροβίλων αξονικής ροής είναι ο τύπος Kaplan και κάποιες παραλλαγές του, όπως ο βολβοειδής (bulb), ο σωληνωτός (tube) και ο υδροστρόβιλος δακτυλίου (Straflo).

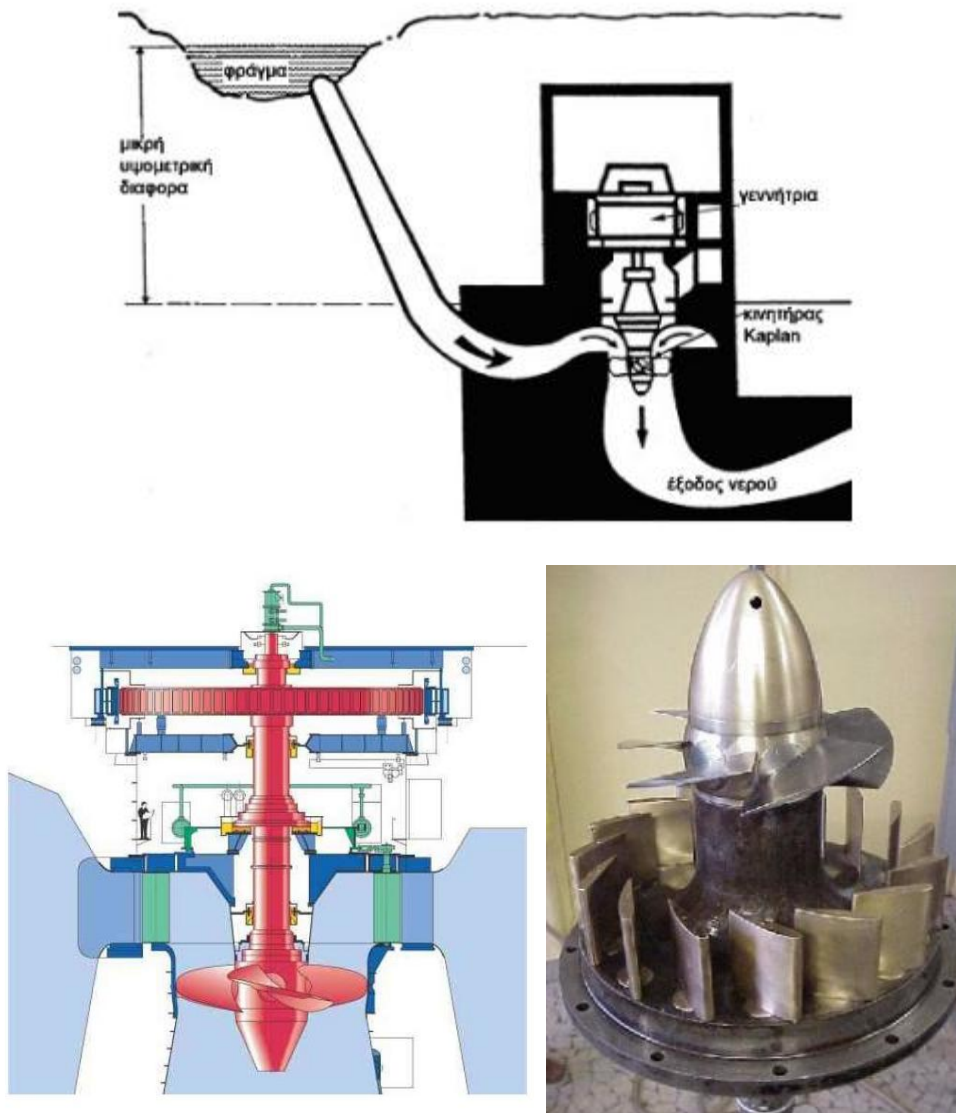
Ο υδροστρόβιλος τύπου Kaplan (Σχήμα 5.5) είναι ένας στρόβιλος προπελωτής μορφής, ο οποίος δημιουργήθηκε το 1913 από τον Αυστριακό καθηγητή Victor Kaplan και αποτελεί εξέλιξη του Francis. Η εφεύρεση αυτή επέτρεψε την αποδοτική παραγωγή ενέργειας σε εφαρμογές χαμηλού ύψους υδατόπτωσης όπου αδυνατούσαν οι Francis. Πρόκειται για στρόβιλο αξονικής ροής, που διαθέτει ρυθμιζόμενες λεπίδες στο δρομέα του και μπορεί να έχει ή να μην έχει ρυθμιζόμενα οδηγητικά πτερύγια.

Αν οι λεπίδες και τα πτερύγια είναι ρυθμιζόμενα θεωρείται στρόβιλος διπλής ρύθμισης, ενώ αν τα πτερύγια είναι σταθερά στρόβιλος απλής ρύθμισης. Στην περίπτωση που οι στρόβιλοι Kaplan έχουν σταθερές λεπίδες στο δρομέα καλούνται προπελωτοί στρόβιλοι και χρησιμοποιούνται όταν και η ροή και το ύψος υδατόπτωσης παραμένουν πρακτικά. Το χαρακτηριστικό αυτό τους καθιστά σπάνιους σε μικρά υδροηλεκτρικά έργα.

Η διπλή ρύθμιση επιτρέπει την προσαρμογή του δρομέα και των οδηγητικών πτερυγίων οποιαδήποτε στιγμή σε οποιοδήποτε ύψος ή διαφορετική παροχή. Είναι ο πιο ευέλικτος στρόβιλος Kaplan και μπορεί να λειτουργήσει μεταξύ 15 και 100% της μέγιστης σχεδιαζόμενης παροχής. Η μονή ρύθμιση επιτρέπει καλή προσαρμογή στη διαθέσιμη ροή αλλά είναι λιγότερο ευέλικτος στην περίπτωση σημαντικών αλλαγών στο ύψος υδατόπτωσης. Μπορεί να λειτουργήσει μεταξύ 30 και 100% της μέγιστης σχεδιαζόμενης παροχής.

Σε ένα στρόβιλο Kaplan η ροή εισέρχεται εσωτερικά με ακτινωτό τρόπο και κάνει δεξιόστροφη γωνία πριν εισέλθει στο δρομέα σε μια αξονική κατεύθυνση. Η κατασκευή των πτερυγίων του δρομέα έχει ως σκοπό τη διατήρηση της αξονικής ροής του νερού και ο αριθμός τους κυμαίνεται μεταξύ 4 και 10. Το σύστημα ελέγχου είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να ρυθμίζεται η γωνία των λεπίδων του δρομέα και σε συνδυασμό με τα οδηγητικά πτερύγια να παρέχεται η μέγιστη απόδοση πέρα από ένα ευρύ φάσμα ροών και υψών υδατόπτωσης. Οι λεπίδες μπορούν να περιστρέφονται με το στρόβιλο σε λειτουργία, μέσω κάθετου μοχλού που γλιστρά στον κοίλο άξονα του στροβίλου.

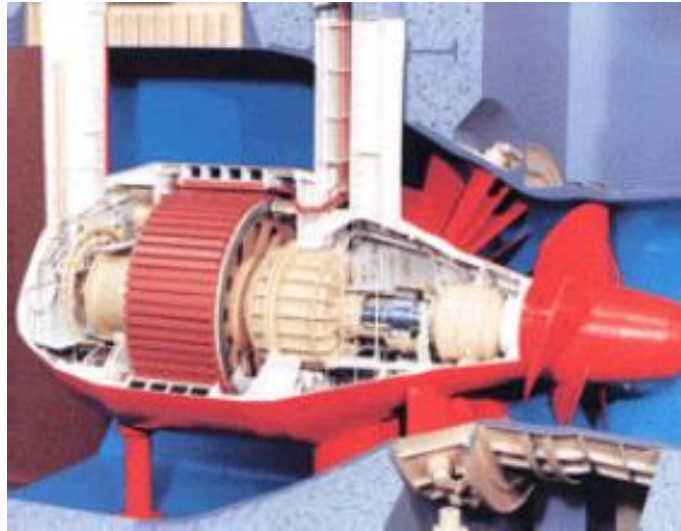
Τέλος, οι υδροστρόβιλοι Kaplan παρουσιάζουν απόδοση της τάξεως του 80-90% και χρησιμοποιούνται για παροχή ύδατος μεταξύ 5-100 m³/s και χαμηλό ύψος υδατόπτωσης από 2 έως 40m.



Σχήμα 5.5: Υδροστρόβιλος τύπου Kaplan

Όσον αφορά στους υδροστροβίλους τύπου βολβού (Σχήμα 5.6), ο δρομέας τους δεν παρουσιάζει διαφορές από τον αντίστοιχο του Kaplan. Η ιδιαιτερότητα των συγκεκριμένων διατάξεων έγκειται στο γεγονός ότι ο στρόβιλος και η γεννήτρια περιβάλλονται από κοινό, στεγανό κέλυφος, το οποίο βρίσκεται βυθισμένο στο νερό. Οι στρόβιλοι αυτοί σε συνδυασμό με τον πολλαπλασιαστή στροφών, στην περίπτωση μη άμεσης σύνδεσης στροβίλου και γεννήτριας, ψύχονται με τη βοήθεια αέρα υπό πίεση και συνδέονται με την υπόλοιπη εγκατάσταση μέσω ηλεκτρικών καλωδίων.

Η χρήση υδροστροβίλων τύπου βολβού προτείνεται στην περίπτωση χαμηλών υψών υδατόπτωσης. Η επιλογή τους ωστόσο συνοδεύεται από την ανάγκη υλοποίησης εκτεταμένων έργων πολιτικού μηχανικού για την τοποθέτηση της αντίστοιχης εγκατάστασης, ενώ παράλληλα υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις για την αποκατάσταση ειδικών βλαβών.



Σχήμα 5.6: Υδροστρόβιλος τύπου βολβού

Υδροστρόβιλος διαγώνιας ροής

Ο στρόβιλος Deriaz (Σχήμα 5.7) είναι παρόμοιος με τον Kaplan με τη διαφορά ότι διαθέτει κεκλιμένες λεπίδες, γεγονός που τον καθιστά πιο ιδανικό για μεγαλύτερα ύψη (είναι κατάλληλος για ύψη υδατόπτωσης 20-100m). Κατατάσσεται στους στρόβιλους αντίδρασης, διπλής ρύθμισης και μικτής ροής. Το όνομά του προέρχεται από τον εφευρέτη του Paul Deriaz και είναι ο πρώτος τύπος διαγώνιου στρόβιλου που δημιουργήθηκε.

Λόγω του ότι οι λεπίδες του δρομέα είναι ρυθμιζόμενες, ο στρόβιλος προσφέρει διάφορα πλεονεκτήματα όπως: ομαλή και αποτελεσματική λειτουργία σε ευρύ φάσμα υψών υδατόπτωσης και φορτίων, ομοιόμορφη κατανομή πίεσης και φορτίου εγκάρσια της λεπίδας και μη ανάπτυξη σπηλαιώσης.



Σχήμα 5.7: Υδροστρόβιλος Deriaz

Στον Πίνακα 5.1 που ακολουθεί πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ των 2 βασικότερων τύπων υδροστροβίλου, του Francis και του Pelton, από την οποία προκύπτει ότι τα πλεονεκτήματα του Francis είναι πιο σημαντικά από τα αντίστοιχα του Pelton (Πηγή: <http://cyrus.tcdn.teicrete.gr/Shmeiwseis.aspx>).

Πίνακας 5.1: Σύγκριση μεταξύ των υδροστροβίλων τύπου Francis και Pelton

Πλεονεκτήματα Francis	Πλεονεκτήματα Pelton
Μεγαλύτερη διαθέσιμη υδραυλική πτώση δεδομένου του ότι ο Pelton τοποθετείται πάντα ψηλότερα από τη μέγιστη στάθμη του κάτω ταμιευτήρα.	Υψηλότερη στάθμη τοποθέτησής του από αυτή του Francis και πάνω από τη μέγιστη στάθμη του ταμιευτήρα, συνεπώς δεν υπάρχει κίνδυνος πλημμύρας του.
Μεγαλύτερος ολικός βαθμός απόδοσης στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας.	Μη απαίτηση διάταξης προστασίας του αγωγού φυγής από υδραυλικό πλήγμα.
Μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής, με αποτέλεσμα οι ολικές διαστάσεις και το κόστος να είναι μικρότερα.	Μεγαλύτερος υδραυλικός βαθμός απόδοσης στα μερικά φορτία και πολύ εκτεταμένο πεδίο λειτουργίας.
Μικρότερο μέγεθος και κόστος της γεννήτριάς του.	Πιο εύκολη και γρήγορη αποσυναρμολόγηση στροβίλου και ειδικά της περωτής.
Ακριβέστερη και πιο ικανοποιητική ρύθμιση της λειτουργίας (ιδιαίτερα όσον αφορά στη ρύθμιση της συχνότητας ηλεκτρικού ρεύματος σε αυτόνομο δίκτυο) του μέσω της στεφάνης των ρυθμιστικών περυγίων	Πιο ήπιες και ελεγχόμενες υπερπιέσεις στον αγωγό τροφοδοσίας κατά τα μεταβατικά φαινόμενα (εκκίνηση, παύση λειτουργίας, μεταβολή παροχής).
Μικρότερη επίδραση στα λειτουργικά χαρακτηριστικά του λόγω μηχανικής διάβρωσης των διαρρέομενων στοιχείων, σε σχέση με τη φθορά των ακμών των σκαφιδιών ή της βελόνης τροφοδοσία στον Pelton.	Ευκολία στην εν κενώ λειτουργία, για την παραγωγή άεργης ισχύος και τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος, καθώς δεν απαιτείται άδειασμα του στροβίλου, όπως στην περίπτωση του Francis, δεδομένου ότι η περωτή είναι πάντοτε έξω από το νερό.
Το πρόβλημα της κόπωσης της περωτής Pelton (λόγω επαναλαμβανόμενων φορτίσεων) απαιτεί συχνότερους προληπτικούς ελέγχους απ' ό τι στον Francis.	

5.1.3 Απόδοση υδροστροβίλου

Ως αποδοτικότητα ενός υδροστροβίλου ορίζεται ο λόγος της ισχύος που παρέχει ο στρόβιλος (μηχανική ισχύς μεταδιδόμενη από τον άξονα του στροβίλου) προς την απορροφούμενη ισχύ (υδραυλική ισχύς που ισοδυναμεί με τη μετρούμενη παροχή υδάτων βάσει του καθαρού ύψους πτώσης). Για τον υπολογισμό της συνολικής αποδοτικότητας του συστήματος, η αποδοτικότητα του στροβίλου πολλαπλασιάζεται με αυτές του πολλαπλασιαστή στροφών και της ηλεκτρογεννήτριας.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 6.5 (του επόμενου κεφαλαίου), η αποδοτικότητα μειώνεται ραγδαία κάτω από ένα συγκεκριμένο ποσοστό της ονομαστικής παροχής. Ο στρόβιλος προορίζεται από κατασκευής του να λειτουργεί στο ή κοντά στο σημείο της καλύτερης απόδοσής του (συνήθως στο 80% της μέγιστης παροχής). Καθώς η ροή αποκλίνει από αυτή τη συγκεκριμένη τιμή, αποκλίνει και η υδραυλική απόδοση του στροβίλου.

Το εύρος των παροχών που θα πρέπει να χρησιμοποιούνται, και συνακόλουθα η παραγόμενη ενέργεια διαφέρει αν η μονάδα θα παρέχει ηλεκτρισμό σε ένα μικρό δίκτυο ή αν προορίζεται για σύνδεση με ένα μεγάλο δίκτυο διανομής.

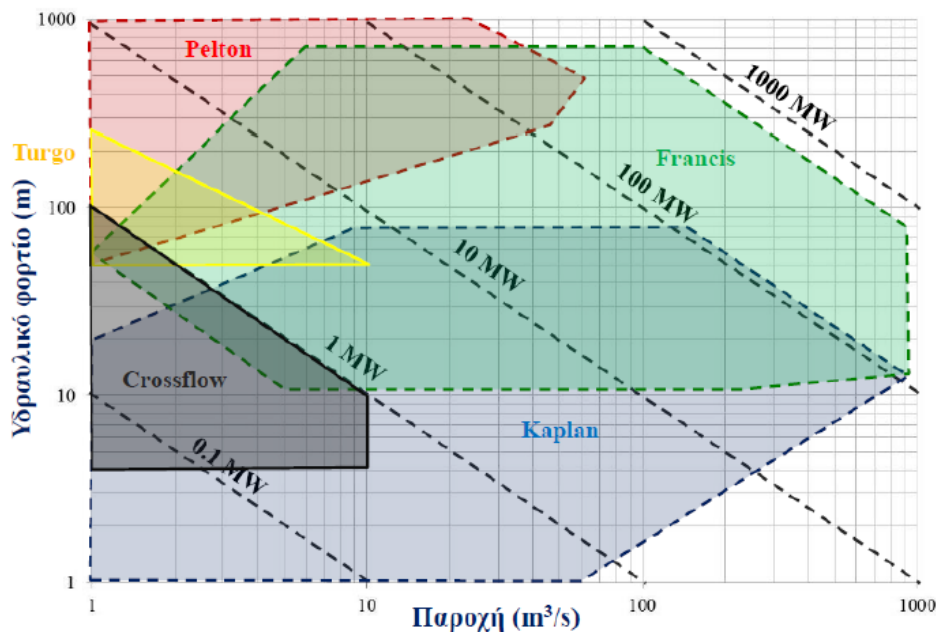
Τέλος, όπως φαίνεται από το σχήμα, οι στρόβιλοι Kaplan και Pelton διπλής ρύθμισης λειτουργούν ικανοποιητικά σε ένα ευρύ φάσμα ροών, ενώ οι στρόβιλοι Kaplan μονής ρύθμισης έχουν αποδεκτή αποδοτικότητα πάνω από το 1/3 και οι στρόβιλοι Francis από το 1/2 της ονομαστικής παροχής. Κάτω του 40% της ονομαστικής παροχής, οι Francis μπορεί να παρουσιάσουν αστάθεια που οδηγεί σε κραδασμούς ή μηχανικές δονήσεις.

5.1.4 Επιλογή κατάλληλου υδροστροβίλου

Ο τύπος, η γεωμετρία και οι διαστάσεις του υδροστροβίλου που θα επιλεγεί για το ΜΥΗΣ καθορίζονται κατά κύριο λόγο από τα ακόλουθα κριτήρια (Κοντίνη, 2016):

- ❖ Το καθαρό ύψος πτώσης.
- ❖ Το εύρος των παροχών του νερού που διέρχεται από το στρόβιλο.
- ❖ Το κόστος.
- ❖ Την ταχύτητα περιστροφής.
- ❖ Τα προβλήματα σπηλαίωσης.

Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 5.8) παρουσιάζεται το εύρος λειτουργίας των διαφόρων τύπων υδροστροβίλων συναρτήσει του ύψους πτώσης και της παροχής.



Σχήμα 5.8: Εύρος λειτουργίας διαφόρων τύπων υδροστροβίλων (Πηγή: Ευστρατιάδης κ.α., 2015)

Σύμφωνα με τον Paish (2002), το ύψος πτώσης αποτελεί από μόνο του το πρώτο κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου τύπου υδροστροβίλου.

5.2 Κιβώτια ταχυτήτων και άλλοι πολλαπλασιαστές ταχύτητας

Όταν ο στρόβιλος και η γεννήτρια λειτουργούν με την ίδια ταχύτητα και μπορούν να τοποθετηθούν έτσι ώστε οι άξονές τους να είναι σε ευθεία, η ενδεδειγμένη λύση είναι η άμεση σύζευξή τους, καθώς τότε δεν υφίστανται απώλειες ισχύος και είναι ελάχιστη η συντήρηση. Όμως σε πολλές περιπτώσεις (ειδικές σε μικρότερες ισχύς), οι στρόβιλοι περιστρέφονται με λιγότερες από 400rpm, οπότε απαιτείται ένας πολλαπλασιαστής ταχύτητας για να καλυφθούν οι στροφές των γεννητριών.

Για τα εύρη ισχύος που απαντώνται στους ΜΥΗΣ η λύση αυτή είναι συνήθως πιο οικονομική από ότι η χρήση γεννήτριας ειδικής κατασκευής. Ο πολλαπλασιαστής ταχύτητας μπορεί να επιλεγεί μεταξύ των παρακάτω εμπορικά διαθέσιμων τύπων (ΚΑΠΕ κ.α, 2001):

- Κιβώτιο ταχυτήτων παράλληλου άξονα.
- Επικυκλικό κιβώτιο ταχυτήτων.
- Κιβώτιο ταχυτήτων ορθής γωνίας με κωνικά γρανάζια.
- Μετάδοση κίνησης με μάντα (οι επίπεδοι ή οι σχήματος V μάντες αποτελούν την απλούστερη και οικονομικότερη λύση).

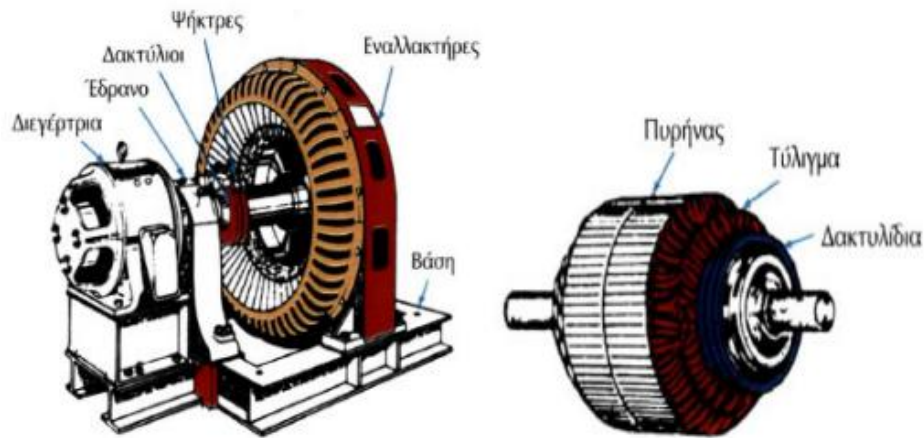
5.3 Γεννήτριες

Η γεννήτρια ή ηλεκτρογεννήτρια (generator), είναι η μηχανή της οποίας η λειτουργία βασίζεται στους νόμους της ηλεκτροφυσικής και ιδιαίτερα στο φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (αφορά στη μετατροπή της ενέργειας από μια μορφή σε άλλη) που ανακάλυψε ο Άγγλος φυσικός Michael Faraday το 1831. Πιο συγκεκριμένα, η γεννήτρια μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική, σύμφωνα με το φαινόμενο της φυσικής κατά το οποίο εάν ένα πηνίο περιστραφεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, τότε στις άκρες του πηνίου παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Η γεννήτρια αποτελείται από δύο μέρη: το ακίνητο μέρος της που ονομάζεται στάτης (stator) ή επαγωγέας ή πόλοι μηχανής, στο οποίο υπάρχουν μαγνήτες (μόνιμοι μαγνήτες ή ηλεκτρομαγνήτες) και το κινητό μέρος της που λέγεται δρομέας ή ρότορας (rotor) ή επαγωγίμο, στο οποίο υπάρχουν τα πηνία. Γυρίζοντας το ρότορα μέσα στο στάτη παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Η περιστροφή του ρότορα γίνεται με διάφορες μεθόδους, στη περίπτωση του ΜΥΗΣ ο ρότορας κινείται με υδροστρόβιλο.

Αν και οι πρώτοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί ήταν συνεχούς ρεύματος (ΣΡ), ώστε να συνδυάζονται με τα πρώιμα εμπορικά ηλεκτρικά συστήματα, σήμερα στην πράξη χρησιμοποιούνται μόνο τριφασικές γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ). Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις του δικτύου στο οποίο θα συνδεθεί, καθώς και τη θέση που θα κατέχει σε αυτό και τα φορτία που θα κληθεί να τροφοδοτήσει, η γεννήτρια που θα χρησιμοποιηθεί μπορεί να είναι (ΚΑΠΕ κ.α, 2001):

- ✚ Σύγχρονη γεννήτρια (Σχήμα 5.9), εξοπλισμένη με σύστημα διέγερσης ΣΡ (στατικό ή περιστρεφόμενο) συνδεδεμένο με ένα ρυθμιστή τάσης, για τον έλεγχο της τάσης, της συχνότητας και της γωνίας φάσης πριν από τη σύνδεση της με το δίκτυο, καθώς και για την παροχή αμελητέου ποσοστού άεργης ισχύος που απαιτείται από το σύστημα ισχύος όταν συνδέεται στο δίκτυο. Με τη διακοπή της παράλληλης σύνδεσης, η σύγχρονη γεννήτρια θα συνεχίσει να παράγει σε τάση και συχνότητα που καθορίζονται από τον εξοπλισμό ελέγχου της. Τέλος, καθώς η ισχύς διέγερσης δεν εξαρτάται από το δίκτυο, η σύγχρονη γεννήτρια μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα από το δίκτυο.
- ✚ Ασύγχρονη γεννήτρια (Σχήμα 5.10), η οποία είναι απλός ηλεκτρικός επαγωγικός κινητήρας κλωβού, χωρίς δυνατότητα ρύθμισης της τάσης, που λειτουργεί σε ταχύτητα άμεσα σχετιζόμενη με τη συχνότητα του συστήματος. Η ασύγχρονη γεννήτρια αντλεί το ρεύμα διέγερσης της από το δίκτυο απορροφώντας άεργο ισχύ. Αυτή μπορεί να αντισταθμιστεί με την προσθήκη συστοιχίας πυκνωτών. Τέλος, δεν μπορεί να παράγει όταν αποσυνδεθεί από το δίκτυο, καθώς δεν είναι ικανή να παρέχει το δικό της ρεύμα διέγερσης.



Σχήμα 5.9: Σύγχρονη γεννήτρια με κυλινδρικό δρομέα



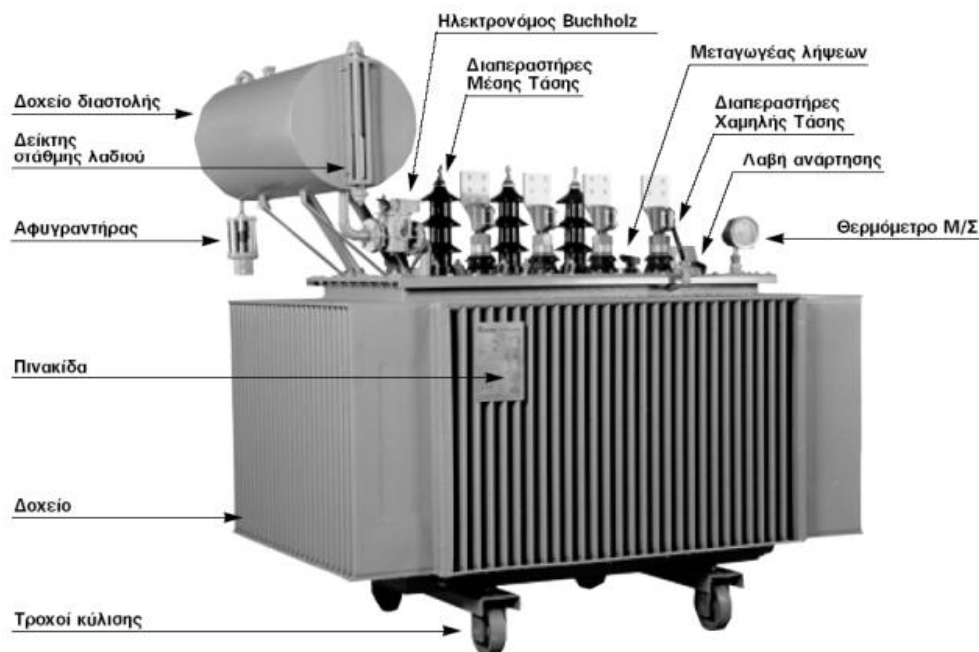
Σχήμα 5.10: Ασύγχρονη γεννήτρια

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι οι σύγχρονες γεννήτριες ΕΡ είναι πιο ακριβές από τις ασύγχρονες, τουλάχιστον για ισχύς μέχρι 2MW, και βρίσκουν εφαρμογή σε συστήματα ισχύος όπου η παραγωγή της γεννήτριας αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό του φορτίου του συστήματος ισχύος. Από την άλλη πλευρά, οι ασύγχρονες γεννήτριες χρησιμοποιούνται σε μεγάλα δίκτυα όπου η παραγωγή τους είναι αμελητέο ποσοστό του φορτίου του συστήματος ισχύος και η αποδοτικότητά τους είναι 2-4% μικρότερη από αυτή των σύγχρονων σε όλο το εύρος λειτουργίας τους.

5.4 Μετασχηματιστές ανύψωσης και βοηθητικών

Εάν η ισχύς του ΜΥΗΣ είναι μικρότερη των 100 kW, η μονάδα μπορεί σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, να συνδεθεί κατευθείαν στο δίκτυο χαμηλής τάσης (ΧΤ), διαφορετικά η σύνδεση πρέπει να γίνει στο δίκτυο μέσης τάσης (ΜΤ). Άρα, μεταξύ της γεννήτριας θα πρέπει να παρεμβληθεί τριφασικός μετασχηματιστής ισχύος, ο οποίος εξασφαλίζει την κατάλληλη ανύψωση της τάσεως.

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός μετασχηματιστή (Μ/Σ) είναι η σχέση μετάδοσης και ο τρόπος ψύξης. Οι Μ/Σ που εγκαθίστανται στους ΜΥΗΣ όσον αφορά στον τρόπο ψύξης τους είναι συνήθως τύπου ελαίου (Σχήμα 5.11), με ψύξη μέσω φυσικού εξαερισμού ή στερεού τύπου με παρόμοιο τρόπο ψύξης. Ο πρώτος τύπος εγκαθίσταται σε χώρο (εξωτερικό ή εσωτερικό του σταθμού), όπου πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη για την απαγωγή των λαδιών σε περίπτωση ατυχήματος ή σφάλματος, ενώ ο δεύτερος πρέπει να βρίσκεται σε ξηρό χώρο (σε ιδιαίτερο δωμάτιο του ΜΥΗΣ). Στην περίπτωση που η τάση της γεννήτριας είναι διαφορετική από τα 400V, τότε στον σταθμό απαιτείται υποχρεωτικά να εγκατασταθεί και δεύτερος Μ/Σ για την τροφοδοσία των βοηθητικών (κινητήρων, φωτισμού κλπ.). Στην περίπτωση που ο Μ/Σ αυτός τροφοδοτείται από το δίκτυο μέσης τάσης, ο σταθμός αποκτά ανεξαρτησία στην τροφοδότησή του σε περίπτωση βλάβης του κύριου Μ/Σ και των παρελκόμενων του (Ροδόπουλος, 2005).



Σχήμα 5.11: Μετασχηματιστής ελαίου

5.5 Λοιπός ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός

Τα υπόλοιπα ηλεκτρικά και μηχανολογικά των μικρών ΜΥΗΣ που συνοδεύουν τον υδροστρόβιλο, τη γεννήτρια και το μετασχηματιστή ισχύος είναι τα ακόλουθα (Ροδόπουλος, 2005):

- 1) Οι ηλεκτρικοί πίνακες οι οποίοι περιλαμβάνουν τον ακόλουθο εξοπλισμό:
 - Αυτόματους διακόπτες ασφαλείας από τις γεννήτριες προς τον Μ/Σ ισχύος.
 - Μετασχηματιστές τάσεως και εντάσεως, μετρήσεων και προστασίας.
 - Μετρητικά όργανα, όπως για παράδειγμα αμπερόμετρα για κάθε φάση, κιλοβατόμετρο, όργανο μέτρησης του συντελεστή ισχύος $\cos\phi$ και ηλεκτρονόμους.
 - Συστοιχία πυκνωτών διόρθωσης του συντελεστή ισχύος $\cos\phi$ για κάθε γεννήτρια.
 - Αναχώρηση προς τις εσωτερικές καταναλώσεις του ΜΥΗΣ.
- 2) Οι εσωτερικές καταναλώσεις του ΜΥΗΣ που καλύπτουν τις ανάγκες του σταθμού για φωτισμό ασφαλείας, τροφοδοσία γερανογέφυρας, τροφοδοσία ρυθμιστή υδροστρόβιλο, ανιχνευτές, ρευματοδότες, φορτιστή μπαταριών, αεροσυμπιεστή, τροφοδότηση με ηλεκτρικό ρεύμα της δεξαμενής φόρτισης και της υδροληψίας κλπ. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι οι εσωτερικές καταναλώσεις ενός ΜΥΗΣ αντιστοιχούν στο 1-3% της παραγόμενης ενέργειάς του.
- 3) Οι αυτοματισμοί ασφαλείας και λειτουργίας του ΜΥΗΣ καθώς και ηλεκτρονικό σύστημα προστασίας και ελέγχου. Η ανάπτυξη των Η/Υ επιτρέπει την αξιόπιστη, γρήγορη και σχετικά οικονομική επιτήρηση ενός ΜΥΗΣ ώστε αυτό να λειτουργεί αυτόματα και με ασφάλεια σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο πρόγραμμα. Για τον σκοπό αυτό απαιτείται ένα σύστημα συλλογής και επεξεργασίας των παραμέτρων λειτουργίας του συστήματος, καθώς και εξαγωγής των κατάλληλων εντολών. Το σύστημα αυτό για λόγους ασφαλείας θα πρέπει να λειτουργεί και με βοηθητική πηγή ενέργειας (συστοιχία μπαταριών). Ο αυτοματισμός της λειτουργίας ενός ΜΥΗΣ αναφέρεται στα 3 βασικά συστήματα του υδροηλεκτρικού σταθμού και συγκεκριμένα:
 - Στη ροή της υδραυλικής ενέργειας και στη λειτουργία των μονάδων (π.χ. αυτοματισμός εκκίνησης και κράτησης, αυτόματη λειτουργία ρυθμιστή στροφών, προστασία έναντι ανάπτυξης υδραυλικού πλήγματος ή λειτουργίας με σπηλαίωση κλπ.).
 - Στο ηλεκτρολογικό τμήμα (πχ. σύστημα συγχρονισμού σε περίπτωση σύγχρονης γεννήτριας κατά τη φάση της εκκίνησης, σύστημα ρύθμισης της διέγερσης, αυτοματισμοί προστασίας έναντι αύξησης της θερμοκρασία εδράνων και τυλιγμάτων κλπ.).

- Στην επιτήρηση και στους αυτοματισμούς του βοηθητικού εξοπλισμού (π.χ. φόρτιση μπαταριών, πίεση στο κύκλωμα λαδιού του ρυθμιστή στροφών, σύστημα ανίχνευσης και προστασίας έναντι πυρκαγιάς κλπ.).
- 4) Ο ρυθμιστής στροφών του υδροστροβίλου, ο οποίος συγχρονίζει την ιδανική ταχύτητα περιστροφής του με αυτήν της γεννήτριας, ώστε να παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα σταθερής συχνότητας αν είναι απαραίτητο. Ο ρυθμιστής στροφών επενεργεί στο όργανο ρύθμισης του στροβίλου, δηλαδή στη στεφάνη των ρυθμιστικών περυγίων και στην κλίση των περυγίων του δρομέα (για στρόβιλο διπλής ρύθμισης) ή στη μετατόπιση της βελόνης του ακροφυσίου για υδροστρόβιλο δράσεως.
 - 5) Το σύστημα τηλεσηματοδοσίας και τηλεχειρισμού έτσι ώστε να μην απαιτείται η παρουσία τεχνίτη ολόκληρο το 24ώρο. Έτσι, το επιπλέον κόστος του εξοπλισμού αυτού αποσβένεται γρήγορα λόγω της σημαντικής μείωσης των λειτουργικών δαπανών. Ωστόσο, απαιτείται η γνώση της κατάστασης λειτουργίας των μονάδων ώστε στην περίπτωση που το σύστημα τεθεί εκτός λειτουργίας, ύστερα από την επέμβαση ενός αυτοματισμού, αυτό να γίνει γρήγορα αντιληπτό και να πραγματοποιηθεί παρέμβαση ή συντήρηση όπου απαιτείται. Τέλος, η σύνδεση μεταξύ του ΜΥΗΣ και της θέσης ελέγχου μπορεί να γίνει μέσω τηλεφωνικής γραμμής, οπτικής ίνας ή ασύρματα.
 - 6) Τα βοηθητικά μηχανολογικά και ηλεκτρικά μέρη που είναι απαραίτητα σε ένα ΜΥΗΣ όπως είναι ο εξοπλισμός σύνδεσης με το δίκτυο, το σύστημα γείωσης, το σύστημα ψύξης νερού και λίπανσης, το σύστημα εξαερισμού, τα συστήματα συναγερωμένων πυρκαγιάς και ασφάλειας και η εφεδρική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Πρακτικό μέρος - Μελέτη

6.1 Εισαγωγή

Για έναν υπάρχον ιδιωτικό ΜΥΗΣ στην Ελλάδα, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 7,5 MW, ο οποίος λειτουργεί με δύο υδροστροβίλους τύπου Francis και έναν υδροστρόβιλο τύπου Pelton κατακόρυφου άξονα, υπολογίζεται η υδραυλική και η ηλεκτρική ισχύ. Στόχος της μελέτης είναι η επαλήθευση της ηλεκτρικής ισχύος του σταθμού και των τύπων υδροστροβίλων που χρησιμοποιούνται. Στο σημείο αυτό παρατίθενται τα δεδομένα για τον ΜΥΗΣ, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς:

- Μήκος αγωγού προσαγωγής (τύπου GRP):

$$L = 1.020\text{m}$$

- Διάμετρος αγωγού προσαγωγής:

$$d = 1.800\text{mm} = 1,8\text{m}$$

- Βαθμός απόδοσης των 3 γεννητριών:

$$n = 0,85$$

- Αρχική υψομετρική διαφορά (γεωδαιτικό ύψος):

$$H = 126\text{m}$$

- Παροχή:

$$Q = 8.000 \text{ lt/sec}$$

- Αριθμός στροφών υδροστροβίλου Τύπου Francis:

$$n_{\text{francis}} = 1.000 \text{ rpm}$$

- Αριθμός στροφών υδροστροβίλου Τύπου Pelton:

$$n_{\text{pelton}} = 600 \text{ rpm}$$

6.2 Θεωρητικό υπόβαθρο

6.2.1 Αρχική υδραυλική ισχύς

Το νερό στη λίμνη είναι σε ύψος h , επομένως έχει δυναμική ενέργεια $E = mgh$. Η διαθέσιμη ισχύς είναι:

$$P = E/t \Rightarrow P = mgh/t \left(\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \frac{\text{m}}{\text{sec}} \rightarrow \text{W} \right) \quad (6.1)$$

Η πυκνότητα του νερού είναι:

$$\rho = m/V (= 1000 \text{ kg/m}^3) \Rightarrow m = \rho \times V \quad (6.2)$$

Οπότε, ο τύπος (6.1) μετασχηματίζεται στη σχέση:

$$P = \rho Vgh/t = \rho Qgh \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{\text{m}^3}{\text{sec}} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \text{m} \rightarrow \text{W} \right) \quad (6.3)$$

όπου:

ρ = η πυκνότητα του νερού = 1000 (σε kg/m^3),

Q = η παροχή (σε m^3/sec),

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας = 9,81 (σε m/sec^2) και

h = η υψομετρική διαφορά (σε m).

Αφού $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, η σχέση (6.3) μπορεί να γραφτεί απλούστερα:

$$P = gQh \text{ (kW)} \quad (6.4)$$

Επειδή ο υδροστρόβιλος έχει βαθμό απόδοσης $\eta_{\text{στρ}}$ και η ηλεκτρική γεννήτρια έχει βαθμό απόδοσης η_g , υπάρχει ένας τελικός βαθμός απόδοσης ο οποίος συμπεριλαμβάνεται στον παραπάνω τύπο και τελικά είναι:

$$P = gQhn_{ολ} \text{ (kW)} \quad (6.5)$$

όπου $n_{ολ} = n_{στρ} n_g h_{απωλ}$ και ο οποίος δύσκολα υπερβαίνει το 85%.

Στον τύπο (6.5) πρέπει να ληφθεί υπόψη η καθαρή υψομετρική διαφορά h και όχι το γεωδαιτικό ύψος H . Είναι:

$$h = H - h_{απωλ} \quad (6.6)$$

όπου $h_{απωλ}$ = οι υδραυλικές απώλειες στο σύστημα σωληνώσεως, οι οποίες μπορούν να υπολογιστούν σε m και επομένως να προκύψει και το καθαρό ωφέλιμο ύψος σε m .

6.2.2 Υδραυλικές απώλειες

Σε ευθύγραμμο σωλήνα κυκλικής διατομής, ο οποίος πληρούται από διακινούμενο υγρό, οι υδραυλικές απώλειες σε πίεση που αναπτύσσονται σε μήκος L υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\delta p = \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho}{2} u^2 \text{ σε Nt/m}^2 \quad (6.7)$$

Εκφράζοντας την πίεση p μέσω της πυκνότητας ($p = \rho gh$), οι υδραυλικές απώλειες σε μέτρα στήλης υγρού είναι:

$$\delta h = \lambda \frac{L}{d} \frac{u^2}{2g} \quad (6.8)$$

όπου λ = ο συντελεστής γραμμικών απωλειών.

Οι απώλειες μπορούν να υπολογιστούν από τη σχέση των Hazen – Williams ως εξής:

$$\delta h = L \frac{u^{1,85}}{0,147 C^{1,85} D^{1,17}} \quad (6.9)$$

όπου:

u = η ταχύτητα του υγρού (σε m/sec),

D = η διάμετρος του σωλήνα (σε m),

L = το μήκος του σωλήνα (σε m) και

C = συντελεστής Hazen – Williams για αγωγό κυκλικής (από Πίνακα 6.1)

Πίνακας 6.1: Τιμές συντελεστή C Hazen – Williams για αγωγό κυκλικής διατομής

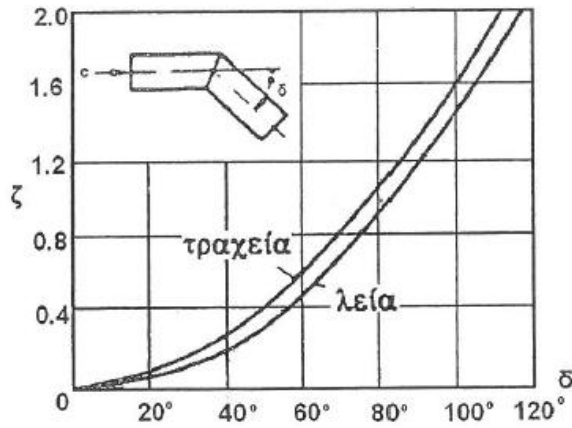
Σωλήνας	C
Εξαιρετικά λείος	140
Πολύ λείος	130
Σωλήνας από σκυρόδεμα	120
Νέος σιδηροσωλήνας	110
Κανονικός χυτοσίδηρος σωλήνας, χαλύβδινος 10ετή χρήση ή παλιός ξύλινος	100
Σωλήνας με έντονη φθορά	60

Η εξίσωση Hazen – Williams είναι πολύ απλή στην εφαρμογή της, καθώς συνδέει άμεσα τη διάμετρο ενός αγωγού με την πτώση πίεσης και την παροχή, και αποτελεί ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για την άμεση διαστασιολόγηση μιας εγκατάστασης. Ισχύει για ροή νερού σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας 20 °C, δηλαδή για τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές προβλημάτων υδραυλικής.

Οι απώλειες από ειδικές διαμορφώσεις του σωλήνα ή διάφορα εξαρτήματα, δίνονται γενικά από τον τύπο:

$$\delta h = j \frac{u^2}{2g} \quad (6.10)$$

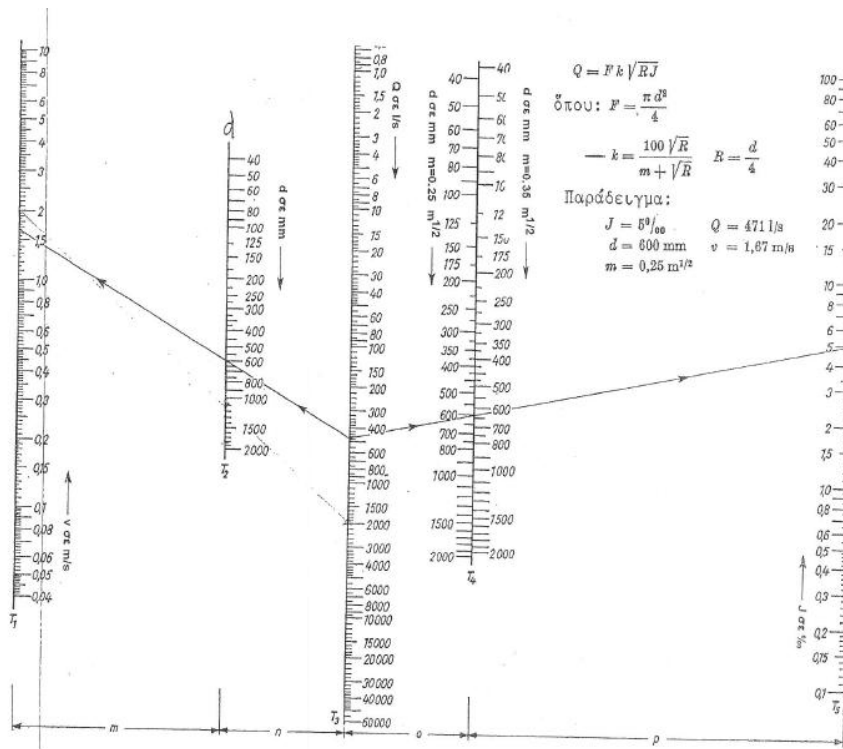
όπου j = ένας ειδικός συντελεστής, ο οποίος δίνεται από το σχήμα 6.1.



Σχήμα 6.1: Συντελεστής αντίστασης j για αλλαγή κλίσης χωρίς καμπυλότητα

6.3 Υπολογισμοί

Από το νομογράφημα (Σχήμα 6.2) με χρήση χάρακα και έχοντας ως δεδομένα την παροχή $Q = 8.000 \text{ l/sec}$ και τη διάμετρο του αγωγού $d = 1,8 \text{ m}$ υπολογίζεται η ταχύτητα: $u = 2,8 \text{ m/s}$.



Σχήμα 6.2: Νομογράφημα υπολογισμού

Επίσης, από τον Πίνακα 6.1 λαμβάνεται η τιμή του συντελεστή $C = 130$ (θεωρώντας ότι ο αγωγός προσαρμογής είναι πολύ λείος) και έχοντας ως δεδομένα το μήκος και τη διάμετρο του αγωγού, υπολογίζονται από τη σχέση των Hazen – Williams (6.9) οι υδραυλικές απώλειες:

$$\delta h = 1020 \frac{2,8^{1,85}}{0,147^{1,85} 130^{1,85} 1,8^{1,17}} = 2,87\text{m} \quad (6.11)$$

Στη συνέχεια, θεωρώντας ότι ο αγωγός έχει δύο στροφές με γωνία 60° από το Σχήμα 6.1 λαμβάνεται η τιμή του συντελεστή $j = 0,45$. Οπότε, οι υδραυλικές απώλειες από τις ειδικές διαμορφώσεις του αγωγού ισούνται με:

$$\delta h_2 = 2 \times 0,45 \frac{2,8^2}{2 \times 10} = 0,35\text{m} \quad (6.12)$$

Επιπλέον, επειδή ο αγωγός έχει άλλη μία γωνία, η οποία είναι ορθή (90°), ακολουθώντας την προηγούμενη διαδικασία προκύπτει ότι $j = 1,2$ και υδραυλικές απώλειες είναι ίσες με:

$$\delta h_3 = 1,2 \frac{2,8^2}{2 \times 10} = 0,47\text{m} \quad (6.13)$$

Οπότε, οι συνολικές υδραυλικές απώλειες είναι:

$$\delta h_{ολ} = \delta h + \delta h_2 + \delta h_3 = 2,87 + 0,35 + 0,47 = 3,69 \approx 3,7\text{m} \quad (6.14)$$

Με δεδομένο ότι η αρχική υψομετρική διαφορά (γεωδαιτικό ύψος) είναι $H = 126\text{m}$, η καθαρή υψομετρική διαφορά (ωφέλιμο ύψος) h σύμφωνα με τη σχέση 6.6, ισούται με:

$$h = H - \delta h_{ολ} = 126 - 3,7 = 122,3 \approx 122\text{m} \quad (6.15)$$

Στο σημείο αυτό μπορεί να υπολογιστεί η καθαρή υδραυλική ισχύς:

$$P_{υδραυλ} = gQh = 9,81 \times 8 \times 122 = 9.575 \approx 9.600 \text{ kW} \quad (6.16)$$

Κάνοντας την παραδοχή ότι καθένας από τους δύο υδροστροβίλους τύπου Francis έχει $P_{\text{υδραυλ francis}} = 3.500\text{kW}$ με παροχή του καθένα $Q_{\text{o francis}} = 2,91 \text{ m}^3/\text{sec}$ και οφέλιμο ύψος που αντιστοιχεί σε αυτή την παροχή $H_0 = 122\text{m}$, υπολογίζονται ο ειδικός αριθμός στροφών στροβίλου ως προς την παροχή (n_Q) από τη σχέση:

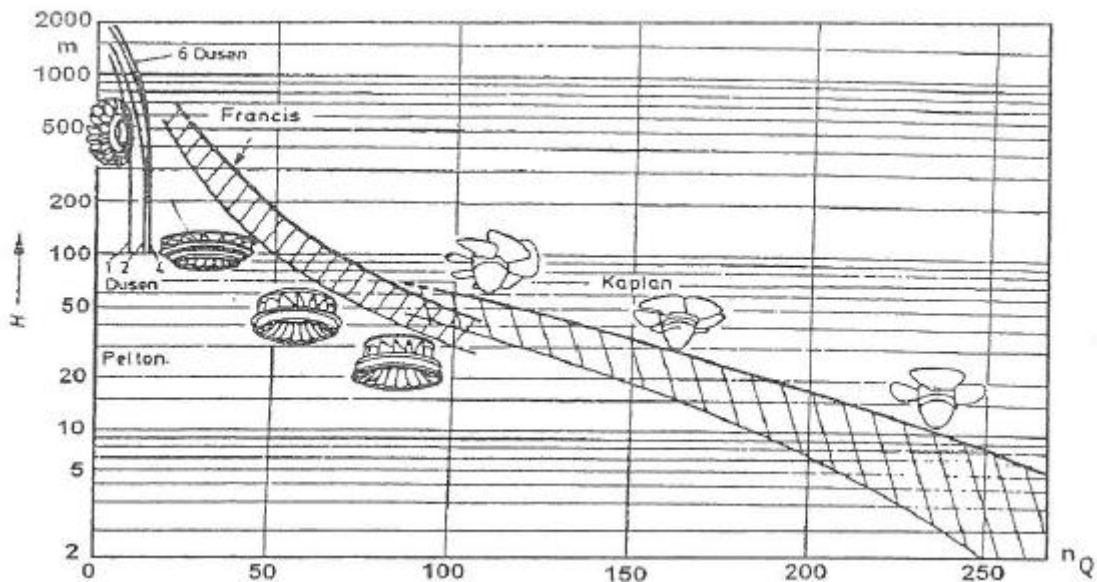
$$n_Q = n \frac{Q_o^{1/2}}{H_o^{3/4}} \quad (6.17)$$

και ο ειδικός αριθμός στροβίλου ως προς την ισχύ (n_s) από τη σχέση:

$$n_s = n \frac{P_o^{1/2}}{H_o^{5/4}} \quad (6.18)$$

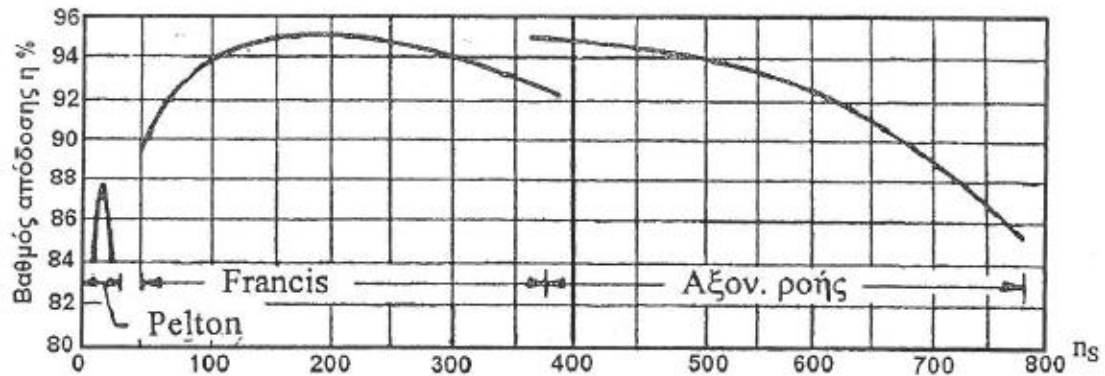
όπου n = ο αριθμός στροφών του υδροστροβίλου.

Οι ειδικοί αριθμοί στροφών στροβίλου προσδιορίζουν τον τύπο του υδροστροβίλου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί (Σχήμα 6.3).

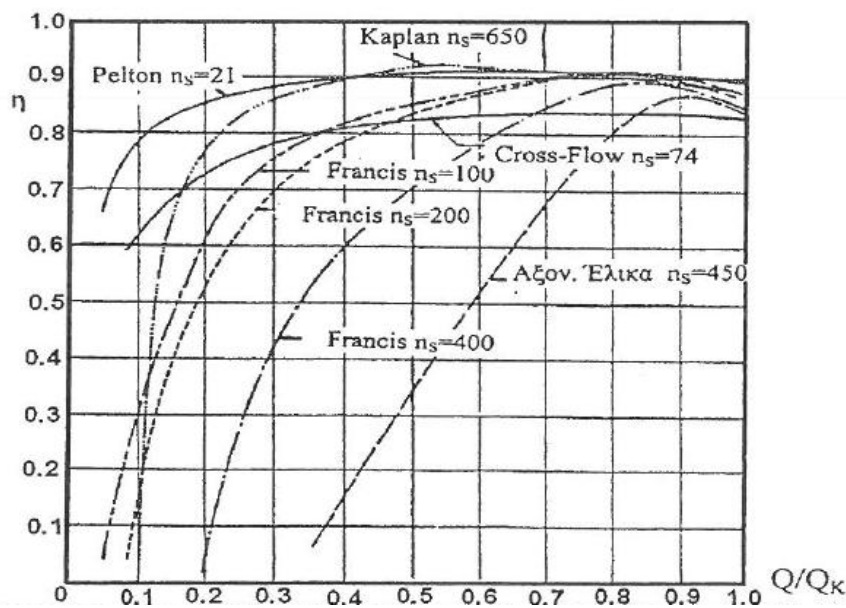


Σχήμα 6.3: Συσχέτιση του ειδικού αριθμού στροφών n_Q και του τύπου του υδροστροβίλου συναρτήσει της διαθέσιμης υδραυλικής πτώσης H

Στο Σχήμα 6.4 δίνεται ο βαθμός απόδοσης κάθε υδροστροβίλου ανάλογα με τον ειδικό αριθμό στροβίλου n_s , ενώ στο Σχήμα 6.5 δίνεται ο βαθμός απόδοσης για μεταβολή της παροχής του υδροστροβίλου.



Σχήμα 6.4: Μέγιστη τιμή του ολικού βαθμού απόδοσης υδροστροβίλου συναρτήσει του ειδικού αριθμού στροβίλου n_s



Σχήμα 6.5: Ενδεικτική μεταβολή του βαθμού απόδοσης υδροστροβίλων συναρτήσει του φορτίου

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, ο n_Q για τους υδροστροβίλους τύπου Francis είναι:

$$n_{Q_{\text{francis}}} = 1000 \frac{2,91^{1/2}}{122^{3/4}} = 46,5 \quad (6.19)$$

οπότε από Σχήμα 6.3 προκύπτει ότι πρόκειται όντως για υδροστρόβιλο Francis.

Αντίστοιχα υπολογίζεται και ο n_s :

$$n_{s_{\text{francis}}} = 1000 \frac{3500^{1/2}}{122^{5/4}} = 145,9 \quad (6.20)$$

Από το Σχήμα 6.4 για αυτή τη τιμή προκύπτει βαθμός απόδοσης $n_t = 0,945$.

Γνωρίζοντας από τα δεδομένα ότι ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας είναι $n_g = 0,85$, η τελική ηλεκτρική ισχύς του κάθε υδροστρόβιλου Francis είναι:

$$P_{\text{out}_{\text{francis}}} = P_o n_t n_g = 3.500 \times 0,945 \times 0,85 = 2811 \text{ kW} \quad (6.21)$$

Στη συνέχεια, επαναλαμβάνεται η ίδια ακριβώς διαδικασία για τον υδροστρόβιλο τύπου Pelton για παροχή $Q_o = 2,18 \text{ m}^3/\text{s}$ ($= 8 - 2 \times 2,91$) και υδραυλική ισχύ:

$$\begin{aligned} P_{\text{pelton}} &= P_{\text{υδραυλ}} - 2P_{\text{francis}} = 9.600 - 2 \times 3.500 \\ &\Rightarrow P_{\text{pelton}} = 2.600 \text{ kW} \end{aligned} \quad (6.22)$$

Οπότε προκύπτει:

$$n_{Q_{\text{pelton}}} = 600 \frac{2,18^{1/2}}{122^{3/4}} = 24,13 \quad (6.23)$$

και από Σχήμα 6.3 φαίνεται οριακά ότι πρόκειται για υδροστρόβιλο Pelton. Άρα, τελικά ο υδροστρόβιλος Pelton χρειάζεται μικρότερη παροχή και οι υδροστρόβιλοι Francis μεγαλύτερη. Αναπροσαρμόζοντας τις παροχές σε $Q'_{o_{\text{francis}}} = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (για κάθε Francis) και $Q'_{o_{\text{pelton}}} = 1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ και την υδραυλική ισχύ $P'_{\text{francis}} = 3.840 \text{ kW}$ και $P'_{\text{pelton}} = 1.920 \text{ kW}$, επαναλαμβάνονται από την αρχή οι παραπάνω υπολογισμοί.

$$n'_{Q_{\text{francis}}} = 1000 \frac{3,2^{1/2}}{122^{3/4}} = 48,47 \quad (6.24)$$

Από το Σχήμα 6.3 φαίνεται ότι είναι όντως στην περιοχή του Francis.

$$n'_{s_{\text{francis}}} = 1000 \frac{3.840^{1/2}}{122^{5/4}} = 132,8 \quad (6.25)$$

Από το Σχήμα 6.4 για αυτή τη τιμή προκύπτει βαθμός απόδοσης $\eta_t = 0,95$. Άρα, η τελική ηλεκτρική ισχύς του κάθε υδροστρόβιλου Francis είναι:

$$P'_{\text{out}_{\text{francis}}} = 3.840 \times 0,95 \times 0,85 = 3.100 \text{ kW} \quad (6.26)$$

Οι αντίστοιχοι υπολογισμοί για τον υδροστρόβιλο Pelton είναι:

$$n'_{Q_{\text{pelton}}} = 600 \frac{1,6^{1/2}}{122^{3/4}} = 20,68 \quad (6.27)$$

Από το Σχήμα 6.3 προκύπτει ότι βρίσκεται όντως εντός της ζώνης του Pelton.

$$n'_{s_{\text{pelton}}} = 600 \frac{1.920^{1/2}}{122^{5/4}} = 64,84 \quad (6.28)$$

Από το Σχήμα 6.4 για αυτή τη τιμή προκύπτει βαθμός απόδοσης $\eta_t = 0,83$.

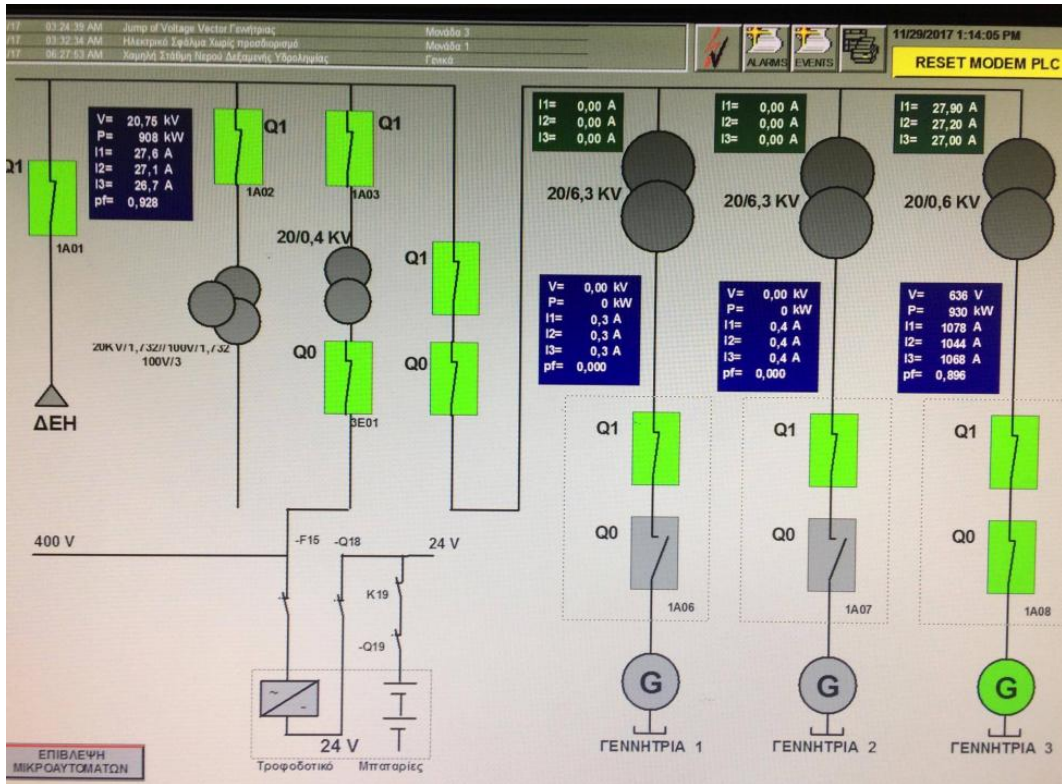
Άρα, η τελική ηλεκτρική ισχύς του υδροστρόβιλου Pelton είναι:

$$P'_{\text{out}_{\text{pelton}}} = 1.920 \times 0,83 \times 0,85 = 1.354 \text{ kW} \quad (6.29)$$

Τελικά, με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, προκύπτει ότι η συνολική ισχύς του εξεταζόμενου ΜΥΗΣ είναι:

$$P_{\text{out}_{\text{ολ}}} = 2P'_{\text{out}_{\text{francis}}} + P'_{\text{out}_{\text{pelton}}} = 7.554 \text{ kW} \quad (6.30)$$

Παρακάτω ενδεικτικά παρατίθεται το μονογραμμικό διάγραμμα του ΜΥΗΣ σε λειτουργία μόνο του υδροστρόβιλου Pelton (Σχήμα 6.6).



Σχήμα 6.6: Μονογραμμικό διάγραμμα εξεταζόμενου ΜΥΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. Συμπεράσματα

Οι αρνητικές επιπτώσεις που προκαλούν τα συμβατικά καύσιμα στο περιβάλλον, (π.χ. η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στη γη και η μεγάλη συσσώρευση ρύπων και διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, σε συνδυασμό με τη σταδιακή εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων τους και την αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια οδηγούν τις σύγχρονες κοινωνίες στην αξιοποίηση των ΑΠΕ. Το συγκριτικό πλεονέκτημά τους έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας είναι ότι οι ΑΠΕ είναι ανεξάντλητες, φιλικές προς το περιβάλλον και μακροπρόθεσμα συμβάλουν στη μείωση τους κόστους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μία τέτοια μορφή ενέργειας είναι και η υδροηλεκτρική.

Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάστηκαν αναλυτικά οι Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (ΜΥΗΣ) και τα τεχνικά έργα καθώς και ο εξοπλισμός που απαιτούνται για το σχεδιασμό τους. Παράλληλα, στο πρακτικό μέρος της εργασίας υπολογίστηκαν για έναν υπάρχον ιδιωτικό ΜΥΗΣ στην Ελλάδα, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 7,5 MW, ο οποίος λειτουργεί με δύο υδροστροβίλους τύπου Francis και έναν υδροστρόβιλο τύπου Pelton κατακόρυφου άξονα, η υδραυλική και η ηλεκτρική ισχύς του.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε καθώς και από το πρακτικό μέρος της εργασίας είναι τα ακόλουθα:

- Η αξιοποίηση των ΑΠΕ έχει αυξηθεί αρκετά στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια, όμως υπάρχουν αρκετά περιθώρια για περαιτέρω αξιοποίηση.
- Στην Ελλάδα (και ιδιαίτερα στη Δυτική και Βόρεια Ελλάδα) υπάρχει ιδιαίτερα πλούσιο δυναμικό υδατοπτώσεων, εξαιτίας της διαμόρφωσης λεκανών απορροής με έντονες κλίσεις και των σημαντικών βροχοπτώσεων, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (μέχρι σήμερα η μέση συνεισφορά της υδροηλεκτρικής ενέργειας αντιπροσωπεύει το 8-10% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας).
- Ο σχεδιασμός ενός ΜΥΗΣ περιλαμβάνει ένα πλήθος τεχνικών έργων (φράγμα, υδροληψία, αγωγό προσαγωγής, σταθμό παραγωγής κλπ) και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (στρόβιλος, γεννήτρια, μετασχηματιστής κλπ).
- Για τον υπολογισμό της συνολικής ηλεκτρικής ισχύος του εξεταζόμενου σταθμού είναι απαραίτητο να προηγηθούν οι υπολογισμοί της υδραυλικής ενέργειας, των υδραυλικών απωλειών, του ειδικού αριθμού στροφών στροβίλου και του ειδικού αριθμού στροβίλου.

- Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν όντως είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση 2 υδροστροβίλων τύπου Francis και ενός 1 τύπου Pelton, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή ισχύς του σταθμού σε συνδυασμό των τριών μονάδων.
- Τέλος, προκύπτει ότι είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση του υδροστρόβιλου Pelton για την επίτευξη της βέλτιστης λειτουργίας του εξεταζόμενου ΜΥΗΣ σε χαμηλή παροχή νερού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- [1] Αβαγιανός Ε. (2009), "*Μελέτη τυπικού υβριδικού υδροηλεκτρικού έργου Ικαρίας*", Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, ΤΕΙ Καβάλας, Καβάλα.
- [2] Ανδριόπουλος Π. (2011), "*Παραγωγή βιοαερίου και λιπάσματος από τα απορρίμματα κοτόπουλων - Σχεδιασμός, ενεργειακή και περιβαλλοντική ανάλυση - Η περίπτωση του Δήμου Μεγάρων*", Μεταπτυχιακή Διατριβή, Διεπιστημονικό Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Περιβάλλον και Ανάπτυξη", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- [3] Ανδρίτσος Ν. (2015), "*Ενέργεια και Περιβάλλον*", Σημειώσεις Μαθήματος, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- [4] Αντωνακούδη Ο. (2014), "*Εφαρμογή των βιοκλιματικών αρχών σχεδιασμού και διερεύνηση χρήσης ΑΠΕ σε θερμοκήπια*", Μεταπτυχιακή Διατριβή, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Πόλεων και Κτιρίων, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
- [5] Αραβαντινός Α., Βλαστός Θ., Εμμανουήλ Δ., Μαρίνος-Κουρής Δ., Μέμος Κ., Σκίκος Γ., Συμπονιάς Κ., Τσούτσος Θ. (1999), "*Το Ανθρωπογενές Περιβάλλον*", Διδακτικό Υλικό, Τόμος Β₁, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- [6] Αχιλλέως Γ. (2015), "*Σεισμική ευστάθεια γεωφραγμάτων*", Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- [7] Βαφειάδης Δ. (2008), "*Εξοικονόμηση ενέργειας σε θερμοκήπια με εμπλουτισμό CO₂*", Διδακτορική Διατριβή, Ειδίκευση Γεωργικής Μηχανικής και Υδατικών Πόρων, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- [8] Βρόντζος Ι. (2013), "*Συμπεριφορά φραγμάτων λιθορριπής διερχόμενων από ενεργό τεκτονικό ρήγμα*", Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΠΜΣ Εφαρμοσμένη Μηχανική και Προσομοίωση Συστημάτων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- [9] Γκιάλα-Φήκαρη Σ. (2012), "*Μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή μικρού υδροηλεκτρικού συστήματος με υδρογεννήτρια 350W για αγροτικές εφαρμογές χαμηλού κόστους*", Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

- [10] Γραφιαδέλλης Μ. (1987), *"Σύγχρονα Θερμοκήπια"*, Β' Έκδοση, σελ. 328, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.
- [11] Ευστρατιάδης Α., Μαμάσης Ν., Κουτσογιάννης Δ. (2015), *"Αρχές υδροενεργειακής τεχνολογίας"*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις μαθήματος Υδροηλεκτρικά Έργα, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- [12] Ζήκος Ι. (2012), *"Βέλτιστη οικονομοτεχνική σχεδίαση ΜΥΗΕ στον ποταμό Αγραφιώτη"*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- [13] Καράνης Ι. (2015), *"Σχεδιασμός μικρού υδροηλεκτρικού έργου στον ποταμό Πηνειό"*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- [14] ΚΑΠΕ, ARMINES, ZREU (2001), *"Οδηγός τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ"*, Πρόγραμμα Leonardo Da Vinci 1999, Τίτλος έργου: Guide for the Training of Engineers in the Electricity Production Technologies from Renewable Energy Sources, Αθήνα. Διαθέσιμο στο: http://www.cres.gr/kape/education/ODHGOS_TERESs.pdf.
- [15] Κοντίνη Α. (2016), *"Λογισμικό προσομοίωσης λειτουργίας μικρού υδροηλεκτρικού έργου (Μ.Υ.Η.Ε.)"*, Διπλωματική Εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- [16] Κορωναίος Ι. Χριστοφής (2012), *"Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας"*, Διδακτικές Σημειώσεις, Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Περιβάλλον και Ανάπτυξη», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- [17] Λαμπροπούλου Β., Καραγεωργόπουλος Α., Κορνάρος Μ., Τσούτσος Θ. (2004), *"Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς – η ελληνική εμπειρία"*, Τεχν. Χρον. Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ, ΙΙΙ, Τεύχ. 1-2, σελ. 9-24.
- [18] Μελίστα Ε. (2015), *"Χωμάτινα φράγματα της Ελλάδας"*, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα.
- [19] Μπουσδέκης Α. (2012), *"Αξιοποίηση βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ελληνικά νησιά"*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- [20] Ντίνας Γ. (2012), *"Πειραματική και υπολογιστική διερεύνηση υβριδικού ηλιακού συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας και στήριξης υδροπονικής καλλιέργειας σε θερμοκήπιο"*, Διδακτορική Διατριβή, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Ειδίκευση Γεωργικής Μηχανικής και Υδατικών Πόρων, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

- [21] Παπαχρήστου Δ. (2017), *"ΡΑΕ – Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές"*, Παρουσίαση στην 82^η ΔΕΘ, Θεσσαλονίκη.
- [22] Ροδόπουλος Φ. (2005), *"Μεθοδολογία τεχνο-οικονομικής αξιολόγησης μικρών υδροηλεκτρικών έργων"*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- [23] Σαμπατακάκης Ν. (2016), *"Φράγματα: Ταξινόμηση – κατασκευαστικές απαιτήσεις"*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις μαθήματος Γεωλογία Τεχνικών Έργων και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- [24] Σκόδρας Γ. (2015), *"Υδροηλεκτρική Ενέργεια"*, Σημειώσεις μαθήματος Ήπιες και Νέες Μορφές Ενέργειας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.
- [25] Σταυρόπουλος Κ. (2015), *"Ενεργειακή αξιοποίηση ληγμένων γαλακτοκομικών προϊόντων μέσω αναερόβιας συγχώνευσης με αγροτοκτηνοτροφικά απόβλητα και παραγωγή εδαφοβελτιωτικού υψηλής προστιθέμενης αξίας με χρήση γαιοσκωλήκων"*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- [26] Συμεωνίδου Σ. (2008), *"Κατασκευή και διαχείριση μικρών υδροηλεκτρικών έργων"*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- [27] Τσαγγάρης Η. (2013), *"Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας - Βιομάζα"*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Οικονομικής Επιστήμης, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- [28] Φιρφιρής Β. (2013), *"Σχεδιασμός και απόδοση ηλιακά υποβοηθούμενου συστήματος θέρμανσης θερμοκηπίου με αβαθή γεωθερμία"*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Γεωργικής Μηχανικής & Υδατικών Πόρων, Γεωπονική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Ξενόγλωσση

- [29] Lund J.W., Freeston D.H., Boyd T.L. (2010), *"Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review"*, Proceedings World Geothermal Congress 2010, pp. 1-23, Bali, Indonesia.
- [30] Paish O. (2002), *"Small hydro power: technology and current status"*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 6, Issue 6, pp. 537-556.

Διαδίκτυο

- [31] ΑΔΜΗΕ: <http://www.admie.gr/>.
- [32] Βικιπαίδεια: https://el.wikipedia.org/wiki/Φράγμα_Μαραθώνα (Ανάκτηση την 11/10/17)
- [33] ΔΕΗ Ανανεώσιμες: <https://www.ppcr.gr/el/hydroelectric/> (Ανάκτηση την 05/10/17)
- [34] Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών – Ι.Γ.Μ.Ε.: <http://www.igme.gr/index.php/erevnitika-antikeimena/geothermia> (Ανάκτηση την 20/09/17).
- [35] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας – ΚΑΠΕ: <http://www.cres.gr/kape/index.htm>.
- [36] ΛΑΓΗΕ: <http://www.lagie.gr/>.
- [37] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας – ΤΕΕ, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/OMADES_ERGASIAS_2010-12/OI_PROOPTIKES_TWN_APE_STHN_ELLADA/, (Ανάκτηση την 02/09/17).
- [38] Σημειώσεις Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, ΤΕΙ Κρήτης: <http://cyrus.tcdn.teicrete.gr/Shmeiwseis.aspx> (Ανάκτηση την 10/10/17).
- [39] Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας: <http://www.ypeka.gr/>.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Φωτογραφικό υλικό από ΜΥΗΣ της Ελλάδας

ΜΥΗΣ Μακροχώρι (Νομός Ημαθίας)



ΜΥΗΣ Σμόκοβο (Νομός Καρδίτσας)



ΜΥΗΣ Λούρος (όρια νομών Άρτας και Πρέβεζας)



ΜΥΗΣ Γλαύκος (Νομός Αχαΐας)



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Αναλυτική αδειοδοτική διαδικασία για ΜΥΗΣ

Έκδοση Άδειας Παραγωγής

Οι διαδικασίες για την έκδοση άδειας παραγωγής καθορίζονται από τις διατάξεις του Ν. 3468/2006 και τον «Κανονισμό Αδειών Παραγωγής και Προμήθειας Ηλεκτρικής Ενέργειας» της ΡΑΕ. Προκειμένου για την έκδοσης Άδειας Παραγωγής από ΜΥΗΣ πρέπει να υποβληθεί αντίστοιχη αίτηση στη ΡΑΕ, η οποία είναι υποχρεωμένη εντός διαστήματος 4 μηνών να υποβάλει τη γνώμη της στο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Ο υπουργός εκδίδει τη σχετική απόφαση εντός 15 ημερών από την υποβολή, σε αυτόν, της εισήγησης της ΡΑΕ. Ο φάκελος υποβολής στη ΡΑΕ πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Νομική υπόσταση, διοικητική και οργανωτική δομή του αιτούντος, καθώς και οικονομικά στοιχεία των τελευταίων 3 ετών.
- Συνοπτική παρουσίαση του Επιχειρηματικού Σχεδίου για τα επόμενα 5 έτη, που περιλαμβάνει στοιχεία για τη θέση και ενδεικτικά τεχνικά στοιχεία της εγκατάστασης, οικονομικά μεγέθη του έργου και χρονοδιάγραμμα κατασκευής και λειτουργίας.
- Μελέτη σκοπιμότητας που περιλαμβάνει τεχνική περιγραφή του έργου, προκαταρκτική εκτίμηση του τρόπου και κόστους σύνδεσης με το Σύστημα, προκαταρκτική εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, προγραμματισμό του ενεργειακού και οικονομικού ισοζυγίου του έργου, σχεδιασμό για εκπλήρωση υποχρεώσεων κοινής ωφέλειας και λεπτομερή στοιχεία που τεκμηριώνουν την ένταξη της μονάδας σε ολοκληρωμένο σχεδιασμό ανάπτυξης και ενεργειακής διαχείρισης του υδάτινου δυναμικού της οικείας ενεργειακής λεκάνης.
- Συνοπτικός χρηματοοικονομικός προγραμματισμός για το έργο που θα παρέχει την προβλεπόμενη ταμειακή ροή.

Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την έκδοση θετικής ή αρνητικής γνωμοδότησης της ΡΑΕ είναι τα ακόλουθα:

- Η ασφάλεια και προστασία του Συστήματος, του Δικτύου, των εγκαταστάσεων παραγωγής και του συνδεδεμένου εξοπλισμού.
- Η προστασία του περιβάλλοντος.
- Η αποδοτική παραγωγή και χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι τεχνικές, οικονομικές και χρηματοδοτικές δυνατότητες του αιτούντος.
- Η ωριμότητα υλοποίησης του έργου, σύμφωνα με τις εκπονηθείσες μελέτες.
- Ο μακροπρόθεσμος ενεργειακός σχεδιασμός της χώρας.
- Η προστασία των καταναλωτών.

Η χορηγούμενη Άδεια Παραγωγής έχει διάρκεια 25 ετών με δυνατότητα ανανέωσης μέχρι ίσο χρόνο. Εάν εντός 24 μηνών δεν έχει χορηγηθεί Άδεια Εγκατάστασης, με υπαιτιότητα του αδειούχου, η Άδεια Παραγωγής ανακαλείται.

Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ)

Η ΕΠΟ είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη συνέχιση της διαδικασίας αδειοδότησης σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Για την έκδοσή της, ο κάτοχος Άδειας Παραγωγής υποβάλει αίτηση στην αρμόδια διεύθυνση της οικείας Περιφέρειας. Επισημαίνεται ότι με το Ν. 3851/2010, τροποποιήθηκε ο Ν. 1650/1986 που απαιτούσε τη διενέργεια Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και πλέον δεν απαιτείται. Ωστόσο τα περιβαλλοντικά κριτήρια που εξετάζονταν κατά τη διενέργεια της ΠΠΕΑ, εξετάζονται και τώρα αλλά στα πλαίσια της ΕΠΟ.

Η αρμόδια αρχή εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα προτεινόμενα μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης, μεριμνά για την τήρηση των διαδικασιών δημοσιοποίησης και αποφαιίνεται για τη χορήγηση ή μη απόφαση ΕΠΟ μέσα σε 4 μήνες από το χρόνο που ο φάκελος θεωρήθηκε πλήρης. Η απόφαση ΕΠΟ ισχύει για 10 έτη και μπορεί να ανανεώνεται με αίτηση που υποβάλλεται υποχρεωτικά 6 μήνες πριν από τη λήξη της, για μία ή περισσότερες φορές, μέχρι ίσο χρόνο κάθε φορά.

Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Τα κείμενα και οι χάρτες της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) υποβάλλονται και σε ηλεκτρονική μορφή και συνοδεύουν απαραίτητα την αίτηση προς την οικεία Περιφέρεια για την ΕΠΟ. Οι ΜΠΕ περιλαμβάνουν:

- Περιγραφή του κύριου έργου, των συνοδών αυτών έργων και ιδιαίτερα της οδοποιίας και της ηλεκτρικής διασύνδεσης με το Σύστημα ή το Δίκτυο.
- Περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης του περιβάλλοντος με τα στοιχεία και τις τεκμηριώσεις για την αξιολόγηση και την εκτίμηση των κυριότερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου στον άνθρωπο, το έδαφος, τα νερά, την πανίδα, τη χλωρίδα, το κλίμα, το τοπίο, τα υλικά αγαθά, την πολιτιστική κληρονομιά, καθώς και την αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων που αναφέρονται στις προηγούμενες περιπτώσεις.
- Εκτίμηση και αξιολόγηση άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.
- Συνοπτική περιγραφή των μέτρων που προβλέπεται να ληφθούν για την αποφυγή, τη μείωση και την επανόρθωση σημαντικών επιπτώσεων στο περιβάλλον.
- Συνοπτική περιγραφή των κύριων εναλλακτικών λύσεων που μελετά ο κύριος του έργου και υπόδειξη των κύριων λόγων της επιλογής τους, λαμβάνοντας υπόψη των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον.
- Απλή περίληψη των πληροφοριών που αναφέρονται στις προηγούμενες περιπτώσεις.

Έκδοση Άδειας Εγκατάστασης

Οι κύριες διαδικασίες για την έκδοση άδειας εγκατάστασης καθορίζονται από τις διατάξεις του Ν. 3468/2000 και την ΥΑ 2000/2002, καθώς και από την ΚΥΑ 104247/2006 για την περιβαλλοντική αδειοδότηση. Αρμόδιος για την έκδοση Άδειας Εγκατάστασης είναι ο Γενικός Γραμματέας της οικείας Περιφέρειας, ο οποίος υποχρεούται να προβεί στην έκδοσή της εντός 15 ημερών από την υποβολή των απαραίτητων δικαιολογητικών. Τα βασικά δικαιολογητικά για την υποβολή του φακέλου που συνοδεύει την αίτηση είναι τα εξής:

- Συνοπτική μελέτη / περιγραφή του έργου συνοδευόμενη από τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1:5.000 θεωρημένη από τη ΡΑΕ.
- Νόμιμο αποδεικτικό στοιχείο αποκλειστικής χρήσης του χώρου εγκατάστασης του σταθμού δυνάμει εμπράγματος δικαιώματος ή ενοχικής σχέσης.
- Θεωρημένο αντίγραφο κάθε επιμέρους σχετικής έγκρισης που εκδίδεται από δημόσια αρχή, εάν αυτή δεν κοινοποιείται υπηρεσιακά στην Αδειοδοτούσα Αρχή.
- Υπεύθυνη δήλωση του ιδιοκτήτη του σταθμού και του μελετητή για ανάθεση και ανάληψη της μελέτης εγκατάστασης αντίστοιχα.
- Παραστατικά πληρωμής φόρων, κρατήσεων, τελών κλπ.

Τα ειδικά δικαιολογητικά που πρέπει να συμπεριληφθούν στο φάκελο της αίτησης και αφορούν στους ΜΥΗΣ είναι:

- Σε περίπτωση σύνδεσης σταθμού στο Σύστημα ή σε Δίκτυο τα αναγκαία στοιχεία για τη διατύπωση προσφοράς σύνδεσης του δικτύου (τοπογραφικό διάγραμμα 1:50.000, διάγραμμα κάλυψης 1:200 ~ 500, περιγραφή Η/Μ εγκαταστάσεων κλπ.).
- Φάκελος μελέτης προέγκρισης χωροθέτησης για την εξέταση έκδοσης απόφασης χωροθέτησης σταθμού για έργα ΑΠ κατηγορίας.
- Φάκελος μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, για την εξέταση έκδοσης απόφασης έγκρισης περιβαλλοντικών όρων.
- Άδεια χρήσης νερού και εφόσον ο αιτών είναι νομικό πρόσωπο που δεν υπάγεται στον ευρύτερο δημόσιο τομέα, άδεια εκτέλεσης έργου αξιοποίησης υδατικών πόρων, σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν. 1739/1987.

Η χορηγούμενη Άδεια Εγκατάστασης έχει διάρκεια ισχύος 2 έτη και μπορεί να παραταθεί για ίσο χρόνο εφόσον: κατά τη λήξη της 2ετίας έχει εκτελεστεί έργο, οι δαπάνες του οποίου καλύπτουν το 50% της επένδυσης ή δεν έχει γίνει έναρξη εκτέλεσης του έργου για λόγους που αποδεδειγμένα δεν οφείλονται σε υπαιτιότητα του κατόχου της και με την προϋπόθεση ότι έχουν συναφθεί οι συμβάσεις για την προμήθεια του απαραίτητου εξοπλισμού.

Άδεια Χρήσης Νερού – Εκτέλεσης Έργου Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων

Για την χρήση νερού και την εκτέλεση έργου για την αξιοποίηση υδατικών πόρων απαιτείται άδεια (Ν.3199/2003). Για να εκδοθεί αυτή άδεια, πρέπει να τεκμηριώνεται η διαθεσιμότητα των ποσοτήτων νερού που θα αξιοποιηθούν, καθώς και η σκοπιμότητα της έκδοσής της σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής της Διεύθυνσης Υδάτων της οικείας Περιφέρειας. Επιπλέον, για την εκτέλεση έργων εκμετάλλευσης του νερού απαιτείται Άδεια Εκτέλεσης Έργων Αξιοποίησης Υδατικού Δυναμικού.

Ειδικά για την ενεργειακή χρήση νερών με την κατασκευή και την λειτουργία των ΜΥΗΣ ισχύος μέχρι 15 MW, εκδίδεται Ενιαία Άδεια που περιλαμβάνει τις δύο παραπάνω. Αρμόδιος για την έκδοσή της καθίσταται ο Γενικός Γραμματέας της Περιφέρειας όπου πρόκειται να ασκηθεί η χρήση του νερού και να κατασκευαστεί το έργο.

Η σχετική αίτηση-δήλωση υποβάλεται στην Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας, ενώ προϋπόθεση για την χορήγηση της άδειας είναι η προηγούμενη έκδοση απόφασης ΕΠΟ. Η Ενιαία Άδεια χορηγείται εντός 20 ημερών από την έκδοση της απόφασης ΕΠΟ, ενώ η διάρκεια ισχύος της δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 10 έτη αφενός και την διάρκεια ισχύος της ΕΠΟ αφετέρου. Για την ανανέωσή της πρέπει να υποβληθεί εκ νέου αίτηση-δήλωση και να ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία. Τα περιεχόμενα του συνοδευτικού της αίτησης φακέλου είναι τα εξής:

- Τοπογραφικό διάγραμμα κατάλληλης κλίμακας που θα παρουσιάζει την περιοχή εκτέλεσης του έργου και χρήσης νερού και της χρήσεις γης σε ακτίνα 200m από την περιοχή εκτέλεσης του έργου.
- Αντίγραφο ιδιωτικού συμφωνητικού, σε περίπτωση χρήσης νερού από χώρο ξένης ιδιοκτησίας.
- Νόμιμη εξουσιοδότηση εκπροσώπησης, σε περίπτωση που ο αιτών εκπροσωπεί νομικό πρόσωπο ιδιωτικού δικαίου ή συλλογικό όργανο.
- Γενική περιγραφή του έργου.
- Επαρκή στοιχεία μελέτης στα οποία αναλύεται η ποιοτική και ποσοτική κατάσταση των υδατικών πόρων, πριν και μετά την εκτέλεση του έργου.

Έκδοση Άδειας Λειτουργίας

Η Άδεια Λειτουργίας χορηγείται μετά από σχετική αίτηση από το Γενικό Γραμματέα της οικείας Περιφέρειας, ο οποίος υποχρεούται στην έκδοσή της εντός 15 ημερών από την ολοκλήρωση των απαιτούμενων τεχνικών ελέγχων. Η Άδεια Λειτουργίας έχει διάρκεια ισχύος 20 έτη και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρονικό διάστημα. Τα δικαιολογητικά του συνοδευτικού της αίτησης φακέλου είναι:

- Επικυρωμένο αντίγραφο της σύμβασης σύνδεσης στο Σύστημα ή στο Δίκτυο, μεταξύ Παραγωγού και ΑΔΜΗΕ ή ΔΕΗ αντίστοιχα.
- Επικυρωμένο αντίγραφο της σύμβασης αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ Παραγωγού και ΑΔΜΗΕ ή ΔΕΗ, ανάλογα με το αν η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται στο Σύστημα ή στο Δίκτυο αντίστοιχα.
- Βεβαίωση του ΑΔΜΗΕ ή της ΔΕΗ περί ολοκλήρωσης των κατασκευών του δικτύου σύνδεσης και των λοιπών αναγκαίων εγκαταστάσεων, σύμφωνα με τις ελάχιστες προδιαγραφές που ορίζονται στη σύμβαση σύνδεσης.
- Νόμιμα θεωρημένο αντίγραφο της οικοδομικής άδειας του σταθμού παραγωγής.
- Πιστοποιητικό της αρμόδιας Υπηρεσίας του Πυροσβεστικού Σώματος, ότι έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα πυρασφάλειας σύμφωνα με τις υποδείξεις της.
- Έκθεση αυτοψίας της Αδειοδοτούσας Αρχής, με την οποία βεβαιώνεται η τήρηση των όρων και περιορισμών της άδειας εγκατάστασης.
- Υπεύθυνη δήλωση του φορέα του έργου ότι έχουν τηρηθεί οι όροι της απόφασης ΕΠΟ και ότι θα τηρούνται και κατά τη διάρκεια λειτουργίας.
- Λοιπές υπεύθυνες δηλώσεις του ιδιοκτήτη, του μηχανικού που έκανε την επίβλεψη και του μηχανικού επίβλεψης της λειτουργίας του έργου.

Πριν την έκδοση της άδειας λειτουργίας και μετά την αποπεράτωση των εγκαταστάσεων του σταθμού, γίνεται προσωρινή σύνδεση του σταθμού στο Σύστημα ή σε Δίκτυο για την εκτέλεση των απαιτούμενων δοκιμών των εγκαταστάσεων, για διάστημα έως 4 μηνών.