



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΡΕΥΝΑ ΕΝΟΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

ΖΑΓΚΟΥΝΤΙΝΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΑΜ: 7301

Επιβλέπων καθηγητής: Κολτσακλής Νικόλαος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Θέμα της παρούσας πτυχιακής είναι η μελέτη ενός υδροηλεκτρικού σταθμού. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα είδη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην υδροηλεκτρική ενέργεια και πραγματευόμαστε τις προοπτικές αυτής τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά τα υδροηλεκτρικά έργα. Εδώ μιλάμε για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και αναλύουμε τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας υδροηλεκτρικός σταθμός. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής παρουσίαση των υδροστροβίλων όπου δίνονται τα κύρια χαρακτηριστικά και ο τρόπος λειτουργίας του κάθε υδροστροβίλου ανάλογα με το είδος στο οποίο ανήκει.

Το τέταρτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στις σύγχρονες και ασύγχρονες γεννήτριες όπου δίνονται τα χαρακτηριστικά τους και η αρχή λειτουργίας τους. Το τελευταίο κεφάλαιο αφορά τη συμμετοχή της υδροηλεκτρικής ενέργειας στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας μέσω της εφαρμογής GAMS.

Λέξεις κλειδιά: Υδροηλεκτρική ενέργεια, υδροηλεκτρικοί σταθμοί, τεχνοοικονομική μελέτη.

ABSTRACT

The subject of the present thesis is the study of a hydroelectric station. In the first chapter, we present renewable energy sources, emphasizing on hydroelectric power and talk about its perspectives not only in Europe but Greece as well.

The second chapter is about hydroelectric projects. Here, we talk about their advantages and disadvantages and analyse the parts of a hydroelectric plant. In the third chapter there is a detailed presentation of turbines, where we give their characteristics and the way they work according to their type.

The fourth chapter is dedicated to synchronous and asynchronous generators, where we present their characteristics and their principle of function. The final chapter is about the share of hydroelectric energy in the energy system of Greece through the GAMS application

Key words: Hydroelectric energy, hydroelectric stations, technical -financial study

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε στο δύσκολο αυτό έργο μου, την κοπέλα μου και μελλοντική γυναικά και μητέρα του παιδιού μου το οποίο θα δω για πρώτη φορά σε 5 μήνες από τώρα. Τους φίλους μου που στάθηκαν δίπλα μου σε κάθε δύσκολη στιγμή αλλά και τον καθηγητή μου κύριο Νικόλαο κολτσακλή που ήταν παρόν σε ότι τον χρειάστηκα.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	6
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο	14
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	14
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	14
1.2 ΜΟΡΦΕΣ ΠΗΓΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	15
1.2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	16
1.2.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	17
1.3 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	17
1.3.1 ΧΡΗΣΕΙΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	18
1.3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	19
1.4 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	19
1.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	21
1.4.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	21
1.5 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΉ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	22
1.5.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	23
1.5.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	23
1.6 ΒΙΟΜΑΖΑ	24
1.6.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	24
1.6.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	25
1.7 ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	25
1.7.1 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	26
1.7.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	28
1.7.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	28
1.8 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ	29
1.9 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	33
1.10 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	39
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ.....	39
2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	42
2.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	43
2.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	44
2.4 ΠΑΡΟΧΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΟΣ	46
2.5 ΦΡΑΓΜΑΤΑ.....	48
2.5.1 ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	49
2.5.2 ΑΝΤΗΡΙΔΩΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ.....	50
2.5.3 ΤΟΞΩΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ.....	51
2.6 ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗΣ.....	53
2.7 ΕΚΚΕΝΩΤΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ	54
2.8 ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ	55
2.9 ΑΓΩΓΟΙ ΠΡΟΣΑΓΩΓΗΣ	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	57
ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ	57
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΩΝ ΔΡΑΣΕΩΣ.....	59
3.1.1 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΣ PELTON	60
3.1.2 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΣ TURGO	65
3.1.3 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΣ CROSS-FLOW	67
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΣ	69
3.2.1 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ FRANCIS Ή ΜΕΙΚΤΗΣ ΡΟΗΣ.....	70
3.2.2 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ ΚΑΡΛΑΝ Ή ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ.....	73
3.3 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ ΤΥΠΟΥ ΒΟΛΒΟΥ	75
3.3.1 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ STRAFLO	76
3.3.2 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΟΙ DERIAZ.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	78
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΚΑΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	78
4.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	79
4.2 ΕΙΔΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	80
4.2.1 ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΜΟΝΙΜΩΝ ΜΑΓΝΗΤΩΝ.....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	83
Υπολογιστική εφαρμογή GAMS.....	83
5.1 ΙΣΧΥΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ.....	83
5.2 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ.....	84
5.3 ΖΗΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	85

5.4 ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΗΣ.....	85
5.5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ GAMS.....	85
5.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	86
5.7 ΣΕΝΑΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ.....	89
5.7.1 ΒΑΣΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ.....	90
5.7.2 2ο ΣΕΝΑΡΙΟ.....	92
5.7.3 3ο ΣΕΝΑΡΙΟ.....	94
5.8 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ.....	96

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Η ποσότητα ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη γη	18
Εικόνα 2 Ανεμόμυλος του 1988 για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	20
Εικόνα 3 Γεωθερμική ενέργεια	22
Εικόνα 4 Βιομάζα.....	24
Εικόνα 5 Υδροηλεκτρική ενέργεια	27
Εικόνα 6 Καθαρό ωφέλιμο ύψος υδατόπτωσης.....	46
Εικόνα 7 Διάγραμμα καμπύλης διάρκειας παροχής.....	47
Εικόνα 8 Κατηγοριοποίηση φραγμάτων	49
Εικόνα 9 Φράγμα Libby, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	50
Εικόνα 10 Φράγμα του Daniel- Johnson, Καναδάς.....	51
Εικόνα 11 Φράγμα Hoover, ΗΠΑ.....	52
Εικόνα 12 Υπερχειλιστής φράγματος Πηνειού	54
Εικόνα 13 Υπερχειλιστής στο κέντρο. Φράγμα Λίμνης Πλαστήρα	54
Εικόνα 14 Έξοδος εκκενωτή πυθμένα.....	55
Εικόνα 15 Εξωτερικοί αγωγοί προσαγωγής.....	56
Εικόνα 16 Υδροστρόβιλος τύπου Pelton.....	58
Εικόνα 17 Υδροστρόβιλος τύπου Francis.....	58
Εικόνα 18 Υδροστρόβιλος τύπου Kaplan	59
Εικόνα 19 Σχηματική απεικόνιση στροβίλου Pelton.....	61
Εικόνα 20 Διάταξη υδροστροβίλου Pelton οριζόντιου άξονα με δυο δέσμες	61
Εικόνα 21 Διάταξη υδροστροβίλου Pelton κατακόρυφου άξονα με 6 δέσμες	62
Εικόνα 22 Δρομέας και σκαφίδια Pelton	63
Εικόνα 23 Σκαφίδιο	64
Εικόνα 24 Υδροστρόβιλος Turgo	67
Εικόνα 25 Ακροφύσιο υδροστροβίλων Turgo.....	67
Εικόνα 26 Δρομέας στροβίλου Cross-flow	69
Εικόνα 27 Υδροστρόβιλος τύπου Francis(δεξιά) και υδροστρόβιλος τύπου Kaplan(αριστερά)	70
Εικόνα 28 Διατομή σπειροειδούς κελύφους υδροστροβίλου Francis.....	71

Εικόνα 29 Δρομέας τύπου Francis	72
Εικόνα 30 Υδροηλεκτρικό έργο με υδροστρόβιλο τύπου Francis.....	72
Εικόνα 31 Διατομή υδροστροβίλου Kaplan	73
Εικόνα 32 Υδροηλεκτρικό έργο με υδροστρόβιλο τύπου Kaplan	74
Εικόνα 33 Υδροστρόβιλος Kaplan κάθετης τοποθέτησης.....	75
Εικόνα 34 Υδροστρόβιλος τύπου βολβού	76
Εικόνα 35 Κυλινδρικός δρομέας και δρομέας εκτύπων πόλων.....	78
Εικόνα 36 Ασύγχρονη γεννήτρια.....	79
Εικόνα 37 Γεννήτρια ακτινικής ροής και αξονικής ροής.....	82
Εικόνα 38 Παράδειγμα καμπύλης διάρκειας παροχής.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση για ενέργεια και ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος των συμβατικών πηγών ενέργειας βρίσκονται στη βάση κάθε ενδεχόμενης ενεργειακής κρίσης στο μέλλον. Η εξάντληση των κοιτασμάτων πετρελαίου θα οδηγήσει σε περαιτέρω άνοδο την τιμή του και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης των ορυκτών καυσίμων θα είναι πλέον εμφανείς.

Η ενέργεια αποτελεί θεμελιώδες συστατικό της ανθρώπινης ζωής καθώς δεν υπάρχει βιομηχανική, γεωργική, οικιακή ή άλλου είδους διαδικασία που να μην απαιτεί κάποιο βαθμό εξωτερικής ενέργειας. Οι άνθρωποι καταναλώνουν περίπου 2.500 θερμίδες ενέργειας ως τροφή την ημέρα αλλά σε βιομηχανικές περιοχές ο ημερήσιος μέσος όρος της ενέργειας που καταναλώνουν συνδυαστικά όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες αντιστοιχεί σε 125.000 θερμίδες ανά άτομο. Με άλλα λόγια, το ανθρώπινο είδος καταναλώνει πάνω από ένα εκατομμύριο terajoules ενέργειας.

Με τον παγκόσμιο πληθυσμό να αυξάνεται διαρκώς και με την εκβιομηχάνιση των αναπτυσσόμενων χωρών να βρίσκεται σε άνοδο, η ανθρώπινη ανάγκη για ενέργεια έχει φτάσει σε επίπεδα άνευ προηγουμένου. Η περισσότερη ενέργεια προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα που εξάγονται από την γη. Εκτιμάται πως από τη στιγμή που ξεκίνησε η εμπορική εξόρυξη πετρελαίου τη δεκαετία του 1850, έχουμε χρησιμοποιήσει πάνω

από 135 δις τόνους αργού πετρελαίου για να κινήσουμε τα αμάξια μας, για να ζεστάνουμε τα σπίτια μας και να θέσουμε σε λειτουργία τα εργοστάσια μας.

Δυστυχώς όμως η αλόγιστη χρήση των ορυκτών μας καυσίμων τις τελευταίες δυο δεκαετίες είχε δραματικές επιπτώσεις στον πλανήτη. Η καύση του κάρβουνου και του πετρελαίου συνδέεται άρρηκτα με τα αυξανόμενα επίπεδα των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα της γης και αποτελεί την κύρια υπαίτιο της κλιματικής αλλαγής. Όλοι οι επιστήμονες συμφωνούν πως οδεύουμε προς την καταστροφή και το μόνο που μπορούμε να κάνουμε για να βάλουμε ένα τέρμα σε αυτή την καταστροφική πορεία είναι να σταματήσουμε να χρησιμοποιούμε τα ορυκτά καύσιμα.

Δεν υπάρχει αμφιβολία πως μια τέτοια αλλαγή αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει ο πλανήτης μας και ίσως το μεγαλύτερο πρόβλημα που τίθεται από τους επιστήμονες και τις εταιρείες είναι η αντιμετώπιση των αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων του μέλλοντος.

Όταν αναφερόμαστε στη κλιματική αλλαγή και στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η πρώτη λύση που έρχεται στο μυαλό όλων. Αυτό οφείλετε στο γεγονός πως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα ή άλλα επιβλαβή αέρια που επιβαρύνουν το περιβάλλον. Η υδροδυναμική ενέργεια ίσως είναι αυτή που θα δώσει τη λύση στο ενεργειακό πρόβλημα που πρόκειται να αντιμετωπίσει ο κόσμος λαμβάνοντας υπόψη πόση ενέργεια μπορεί να πάρει ο άνθρωπος από τη θάλασσα και τα ποτάμια με την χρήση των υδροστροβίλων. Εκτός όμως από την υδροδυναμική ενέργεια υπάρχουν και άλλα είδη ανανεώσιμων πηγών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τις οποίες παρουσιάζουμε εδώ.

1.2 ΜΟΡΦΕΣ ΠΗΓΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι άφθονες στο περιβάλλον και οι πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο προτού αρχίσει να χρησιμοποιεί τα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεν εξαντλούνται, δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον και ο μόνος περιορισμός που μπορεί να υπάρξει όσον αφορά την αξιοποίησή τους είναι η ανάπτυξη ή μη κατάλληλων και αξιόπιστων τεχνολογιών για να δεσμεύουν το δυναμικό τους.

Η πετρελαϊκή κρίση του 1974 έδωσε ώθηση στο να αναπτυχθούν οι τεχνολογίες αυτές ενώ τα σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης έκανε επιτακτικότερη την ανάγκη να βρεθούν εναλλακτικές μέθοδοι παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον, η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα συμβάλει στο να μειωθεί η εξάρτηση πολλών χωρών από το πετρέλαιο και να ενισχυθεί η ασφάλεια του ενεργειακού ανεφοδιασμού τους. Οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

- Η ηλιακή ενέργεια
- Η αιολική ενέργεια
- Η γεωθερμική ενέργεια
- Η βιομάζα
- Η υδροδυναμική ενέργεια

1.2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν μια σειρά από πλεονεκτήματα.

- Δεν εξαντλούνται και συμβάλλουν στη μείωση εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία έχουν αρχίσει να εξαντλούνται.
- Συμβάλλουν στην ενεργειακή ανεξαρτοποίηση των χωρών διασφαλίζουν την ύπαρξη ενεργειακών αποθεμάτων.
- Είναι περιβαλλοντικά φιλικές καθώς δεν εκπέμπουν βλαβερά αέρια για το περιβάλλον και τον άνθρωπο.
- Χαρακτηρίζονται από ευελιξία καθώς η ενέργεια που παράγουν εξαρτάται από τις ενεργειακές ανάγκες του πληθυσμού. Με αυτό τον τρόπο καταργείται η ανάγκη ύπαρξης τεράστιων μονάδων για την παραγωγή αλλά και τη μεταφορά ενέργειας σε μεγάλη απόσταση.
- Στις περισσότερες περιπτώσεις το λειτουργικό τους κόστος είναι χαμηλό. Επιπρόσθετα, το κόστος μένει ανεπηρέαστο από τις διεθνείς οικονομικές διακυμάνσεις και τις διακυμάνσεις της τιμής του πετρελαίου κ των υπόλοιπων ορυκτών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συμβάλλουν στην δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και τονώνουν τις τοπικές κοινωνίες σε οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο.

1.2.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Εκτός από τα πλεονεκτήματά τους, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα.

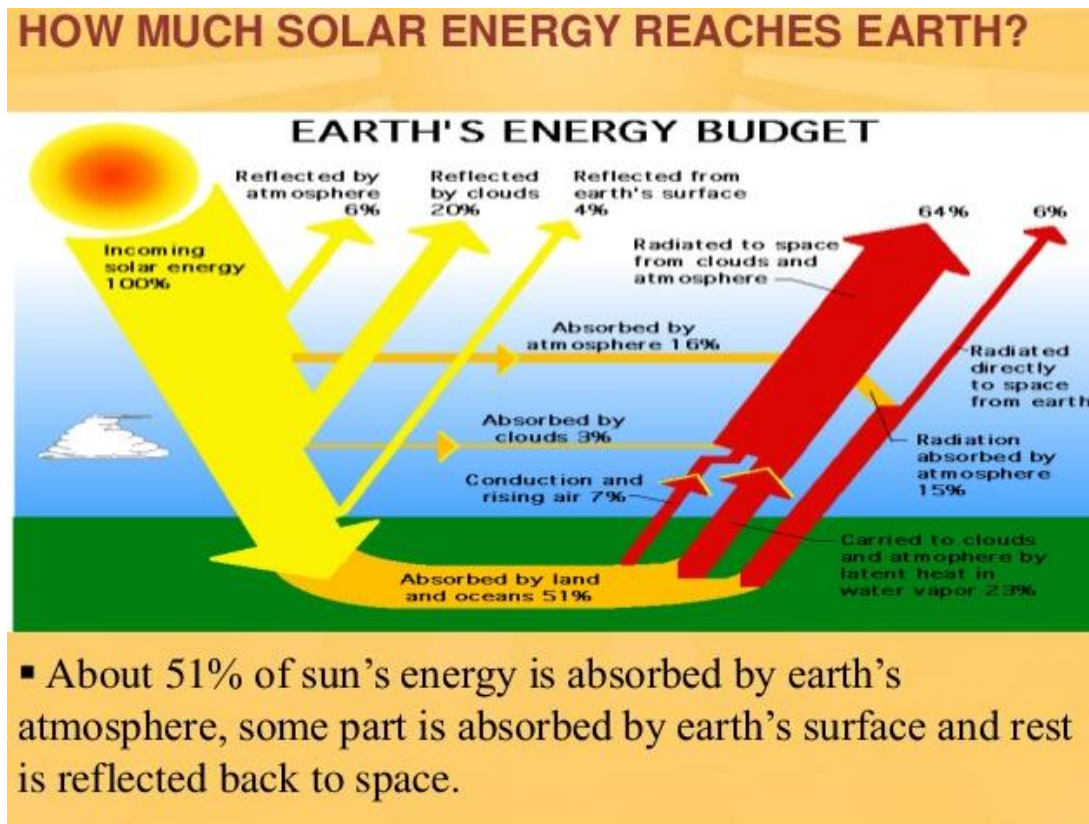
- Ο συντελεστής απόδοσής τους είναι χαμηλός καθώς φτάνει μόλις το 30%. Αυτό σημαίνει πως το αρχικό κόστος που απαιτείται για να γίνει η εφαρμογή τους σε μια εκτεταμένη επιφάνεια είναι πολύ μεγάλο. Αυτός είναι και ο λόγος που προς το παρόν η χρήση τους είναι μόνο συμπληρωματική και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των μεγάλων πόλεων.
- Τόσο η παροχή όσο και η απόδοση της ηλιακής, της αιολικής και της υδροηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται άμεσα από την εποχή του χρόνου, το κλίμα άλλα και το γεωγραφικό πλάτος που βρίσκονται οι εγκαταστάσεις.

1.3 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ο ήλιος παράγει μια απίστευτη ποσότητα ενέργειας, η οποία φτάνει στη γη. Η ποσότητα ενέργειας που απορροφάται από την γη σε μια ώρα είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που χρησιμοποιεί η ανθρωπότητα σε ένα χρόνο. Η συνολική ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που φθάνει τη γη σε ένα χρόνο είναι σχεδόν διπλάσια από την ενέργεια που μπορεί να παραχθεί συνδυαστικά από όλα τα ορυκτά καύσιμα. Ο ήλιος προσπίπτει στην επιφάνεια της γης από διαφορετικές γωνίες οι οποίες μπορεί να ποικίλει από 0 μοίρες στους πόλους μέχρι 90 μοίρες στον ισημερινό την άνοιξη και το φθινόπωρο. Στον ισημερινό κατά τη διάρκεια του μεσημεριού η επιφάνεια της γης λαμβάνει τη μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας. Καθώς ο ήλιο απομακρύνεται από τον ισημερινό, οι ακτίνες του ήλιου πρέπει να διανύσουν μεγαλύτερη απόσταση μέσα στην ατμόσφαιρα. Έτσι κάποιες ακτίνες χάνονται στο διάστημα ή διασκορπίζονται από τα σύννεφα με αποτέλεσμα να υπάρχει απώλεια ενέργειας. Κατά μέσο όρο, περίπου το 51% της ενέργειας του ήλιου καταφέρνει να διαπεράσει την ατμόσφαιρα και να φτάσει στην επιφάνεια της γης.

Η περιστροφή της γης είναι ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει την ποσότητα της λαμβανόμενης ενέργειας. Ο Βόρειος Πόλος έχει λιγότερη ηλιοφάνεια κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών και αντίστοιχα ο Νότιος Πόλος έχει λιγότερη ηλιοφάνεια κατά

τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Επομένως, η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που φτάνει σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, την εποχή του χρόνου και τον καιρό της περιοχής.



.Εικόνα 1 Η ποσότητα ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη γη

1.3.1 ΧΡΗΣΕΙΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ακτινοβολία του ήλιου για να παράγουμε θερμότητα με τη χρήση ενεργητικών και παθητικών ηλιακών συστημάτων. Αν η θερμοκρασία της θερμότητας που παράγεται είναι υψηλή, τότε μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε για να παραγάγουμε ατμό και μετέπειτα, με τη χρήση ατμοστρόβιλων, μηχανική ενέργεια. Μπορούμε επίσης να έχουμε μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια και τότε μιλάμε για θερμική παραγωγή ηλεκτρισμού με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας.

Εκτός από θερμότητα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ηλιακή ακτινοβολία για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή της μπορεί να γίνει με δυο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι με τη χρήση θερμικών εφαρμογών, με τις οποίες συλλέγουμε την

ηλιακή ενέργεια με στόχο την παραγωγή θερμότητας για να θερμανθεί το νερό και να μετατραπεί σε ατμό ώστε να κινηθούν οι ατμοστρόβιλοι. Με τις φωτοβολταϊκές εφαρμογές συλλέγουμε την ηλιακή ενέργεια η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

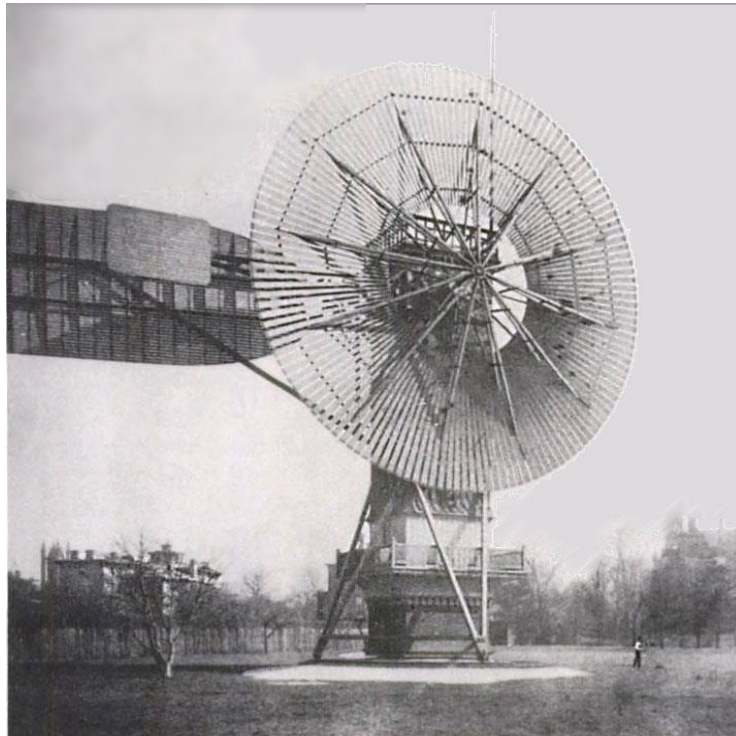
1.3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1. Μειώνονται οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα καθώς μειώνεται η ανάγκη για ενέργεια που προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα.
2. Ο ήλιος είναι ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, είναι παντού και δεν κοστίζει.
3. Υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης της ηλιακής θερμικής ενέργειας, η οποία στη συνέχεια μπορεί να απελευθερωθεί με αργό και σταθερό τρόπο.
4. Ο τρόπος τοποθέτησης ενός ηλιακού συστήματος είναι απλός ενώ δεν απαιτεί ιδιαίτερη συντήρηση και είναι εξαιρετικά ανθεκτικό.
5. Τα ηλιακά συστήματα αποτελούν μια απλή, οικονομική και συμφέρουσα λύση καθώς η απόσβεση τους μπορεί να γίνει μέσα σε τέσσερα χρόνια.
6. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε μικρή όσο και σε μεγάλη κλίμακα.
7. Αποτελεί τον εναλλακτικό τρόπο ενέργειας που μπορεί να ανταπεξέλθει στις ενεργειακές απαιτήσεις των ανθρώπων στο μέλλον.
8. Η ενέργεια που περισσεύει μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επανατροφοδότηση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.
9. Δεν υπάρχουν διακυμάνσεις στο κόστος της όπως γίνεται με τις τιμές των ορυκτών καυσίμων.
10. Η ηλιακή τεχνολογία είναι αξιόπιστη και δοκιμασμένη.
11. Αποτελεί τη τέλεια λύση για περιοχές που βρίσκονται μακριά από γεννήτριες.
12. Υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρισμού ακόμα και σε ημέρες που δεν έχει ηλιοφάνεια.
13. Δεν υπάρχει απώλεια της ηλιακής ενέργειας όταν αυτή μεταφέρεται.

1.4 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Οι άνεμοι, όπως ορίζονται οι μεγάλες αέριες μάζες που κινούνται από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργούνται από την ανόμοια θέρμανση της επιφάνειας της γης από την ηλιακή ακτινοβολία. Η κινητική ενέργεια των ανέμων είναι τέτοια ώστε αν με την καινούργια τεχνολογία καταφέραμε να τη συλλέξουμε, τότε οι ανάγκες της ανθρωπότητας θα μπορούσαν να καλυφθούν στο διπλάσιο.

Η ιστορία της χρήσης της αιολικής ενέργειας ξεκινάει στα αρχαία χρόνια. Η ιστορία του Όμηρου για τον εγκλωβισμό των ανέμων στον ασκό του Αιόλου δείχνει την ανάγκη των ανθρώπων να έχουν τους ανέμους στη διάθεση τους όποτε το επιθυμούν. Για εκατοντάδες χρόνια, η κίνηση των πλοίων ήταν άμεσα εξαρτημένη από την δύναμη των ανέμων ενώ η χρήση των ανεμόμυλων εγκαταλείφθηκε μόλις στα μέσα του 2ου αιώνα.



Εικόνα 2 Ανεμόμυλος του 1988 για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ήταν η εποχή που τα συμβατικά καύσιμα άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως και ο ηλεκτρισμός είχε αρχίσει να φτάνει και στις πιο απομονωμένες περιοχές. Η πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του 1970 επανάφερε στο προσκήνιο την αιολική ενέργεια. Από εκείνη τη στιγμή μέχρι σήμερα, ο τομέας της αιολικής ενέργειας έχει γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη, αποτέλεσμα εκτός των άλλων, της επιτακτικής ανάγκης να προστατέψουμε το περιβάλλον. Όλο και περισσότεροι άνθρωποι έχουν συνειδητοποιήσει πως ο άνεμος είναι μια καθαρή και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.

Τα σύγχρονα συστήματα για τη χρήση της αιολικής ενέργειας είναι κατά κύριο λόγο μηχανές, οι οποίες μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρισμό και ονομάζονται ανεμογεννήτριες. Τις ανεμογεννήτριες μπορούμε να τις κατατάξουμε σε δυο κατηγορίες: στις ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα και τις ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα.

Η πιο σημαντική εφαρμογή, από οικονομική άποψη, των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεση τους με το δίκτυο ηλεκτρισμού μιας χώρας. Σε αυτή τη περίπτωση, ένα αιολικό πάρκο κατασκευάζεται και λειτουργεί σε μια περιοχή όπου υπάρχουν δυνατοί άνεμοι και όλη η παραγωγή μεταδίδεται στο δίκτυο ηλεκτρισμού. Φυσικά οι ανεμογεννήτριες μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα για την παραγωγή ηλεκτρισμού σε περιοχές που δεν έχουν σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο.

1.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Ο άνεμος βρίσκεται σε αφθονία, βρίσκεται παντού και είναι δωρεάν.
2. Είναι καθαρή πηγή ενέργειας. Δεν εκλύονται στην ατμόσφαιρα επιβλαβή αέρια και έτσι προφυλάσσεται το περιβάλλον.
3. Είναι μια φθηνή ίσως η φθηνότερη μορφή ενέργειας.
4. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να κατασκευαστούν σε ήδη υπάρχουσες φάρμες ή ράντζα ωφελώντας ταυτόχρονα και την τοπική οικονομία.
5. Η κατασκευή του εξοπλισμού είναι απλή όπως είναι και η συντήρηση του.
6. Συμβάλλει στην ανεξαρτητοποίηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας και ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια.

1.4.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Οι κατάλληλες τοποθεσίες για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών βρίσκονται συνήθως σε απομακρυσμένες περιοχές, μακριά από τις πόλεις όπου είναι απαραίτητος ο ηλεκτρισμός.
2. Οι ανεμογεννήτριες προκαλούν τον τραυματισμό ακόμα και το θάνατο των αποδημητικών πουλιών
3. Οι ανεμογεννήτριες ενδέχεται να προκαλέσουν θόρυβο ενώ όταν είναι εγκατεστημένες σε περιορισμένο χώρο η παρουσία τους είναι αντί-αισθητική.

4. Το κόστος έρευνας και εγκατάστασης των αιολικών συστημάτων είναι υψηλό.
5. Η απόδοση των αιολικών συστημάτων παρουσιάζει διακυμάνσεις εξαιτίας της μεταβαλλόμενης φύσης του ανέμου.
6. Η αιολική ενέργεια έχει χαμηλή πυκνότητα και η απόδοσή φτάνει μόλις το 30%.

1.5 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα που προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Το νερό ή/και ο ατμός μεταφέρουν τη γεωθερμική ενέργεια στην επιφάνεια της γης. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς θέρμανσης και ψύξης ή για τη παραγωγή καθαρής ενέργειας. Ωστόσο, για την παραγωγή ηλεκτρισμού χρειάζονται πηγές υψηλής ή μεσαίας θερμοκρασίας. Τέτοιες πηγές εντοπίζονται σε τεκτονικά ενεργές περιοχές.



Εικόνα 3 Γεωθερμική ενέργεια

Αυτή η ανανεώσιμη πηγή ενέργειας καλύπτει σημαντικό ποσοστό της ανάγκης για ηλεκτρισμό σε χώρες όπως είναι η Ισλανδία, το Ελ Σαλβαδόρ, η Κένυα, η Νέα Ζηλανδία και οι Φιλιππίνες και πάνω από το 90% της ανάγκης για θέρμανση στην Ισλανδία.

Υπάρχουν διάφορες γεωθερμικές τεχνολογίες σε διακριτά επίπεδα ωριμότητας. Οι τεχνολογίες για άμεσες χρήσεις όπως η θέρμανση, οι γεωθερμικές αντλίες, τα θερμοκήπια και άλλες εφαρμογές είναι ευρέως γνωστές και θεωρούνται ώριμες. Η

τεχνολογία για την παραγωγή ενέργειας από υδροθερμικές δεξαμενές με φυσικά υψηλή διαπερατότητα είναι επίσης ώριμη και αξιόπιστη και βρίσκεται σε χρήση από το 1913.

1.5.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

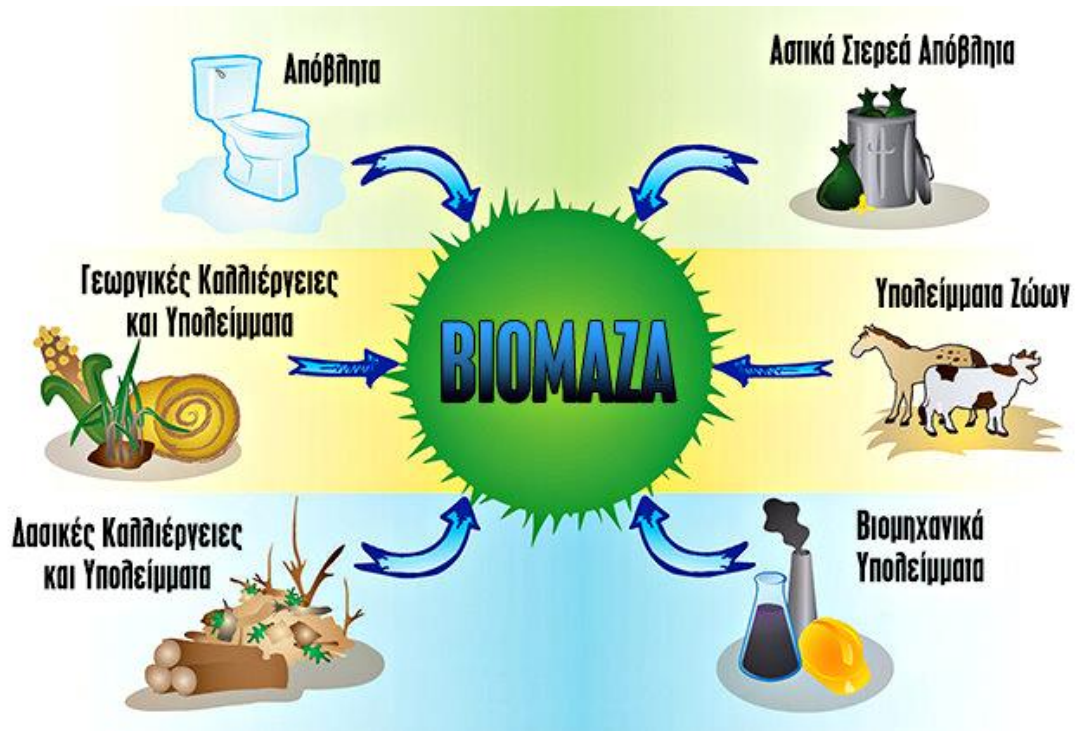
1. Είναι φιλική προς το περιβάλλον συγκριτικά με τις συμβατικές πηγές ενέργειας και τα ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, το αποτύπωμα άνθρακα ενός γεωθερμικού εργοστασίου είναι χαμηλό. Αν και υπάρχει κάποια μόλυνση που συνδέεται με τη γεωθερμική ενέργεια, είναι ελάχιστη σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα.
2. Είναι ανανεώσιμη και θα διαρκέσει μέχρι να καταστραφεί η γη από τον ήλιο σε 5 δις χρόνια. Οι θερμές δεξαμενές της γης ανανεώνονται φυσικά και έτσι είναι και ανανεώσιμες και βιώσιμες.
3. Είναι μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας σε σύγκριση με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια καθώς οι πηγές της είναι πάντα άμεσα διαθέσιμες και επιπλέον μπορεί να υπολογιστεί.
4. Δεν απαιτεί χρήση καυσίμου καθώς είναι μια πηγή που υπάρχει φυσικά σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα που για να χρησιμοποιηθούν πρέπει να γίνει πρώτα η εξόρυξη τους.

1.5.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της γεωθερμικής ενέργειας είναι ότι υπάρχει γεωγραφικός περιορισμός καθώς τα γεωθερμικά εργοστάσια θα πρέπει να κατασκευάζονται σε περιοχές όπου θα είναι προσβάσιμη η ενέργεια με αποτέλεσμα κάποιες περιοχές να αποκλείονται.
2. Παρόλο που η γεωθερμική ενέργεια δεν απελευθερώνει τυπικά αέρια του θερμοκηπίου, ωστόσο υπάρχουν πολλά αέρια στο εσωτερικό της γης και τα οποία απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια της ανασκαφής. Παρόλο που αυτά τα αέρια απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρά και φυσικά, ο ρυθμός απελευθέρωσης τους αυξάνει κοντά στα γεωθερμικά εργοστάσια.
3. Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να προκαλέσει σεισμούς εξαιτίας των αλλαγών που συμβαίνουν στη δομή της γης εξαιτίας της ανασκαφής.
4. Το κόστος εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλό.

1.6 ΒΙΟΜΑΖΑ

Η βιομάζα είναι το ανανεώσιμο οργανικό υλικό που προέρχεται από τα ζώα και τα φυτά και περιλαμβάνει φυτικές ύλες, κατάλοιπα ζωικής, φυτικής αλιευτικής παραγωγής, κατάλοιπα που προέρχονται από την επεξεργασία φυτικών υλών, αστικά λύματα και σκουπίδια που έχουν βιολογική προέλευση.



Εικόνα 4 Βιομάζα

Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια μέσω διαφόρων διαδικασιών όπως η άμεση καύση για τη παραγωγή θερμότητας, η θερμοχημική μετατροπή για τη παραγωγή στερεών, αερίων και υγρών καυσίμων, η χημική μετατροπή για τη παραγωγή υγρών καυσίμων και η βιολογική μετατροπή για την παραγωγή υγρών και αερίων καυσίμων.

1.6.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας έχει μια σειρά από πλεονεκτήματα:

1. Είναι φιλική προς το περιβάλλον.
2. Δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με διοξείδιο του θείου καθώς η περιεκτικότητά της σε αυτό είναι σχεδόν μηδαμινή
3. Συμβάλλει στην ενεργειακή ανεξαρτητοποίηση της χώρας.

4. Βοηθάει στην μείωση του μεγάλου όγκου απορριμμάτων.
5. Δημιουργούνται καινούργιες θέσεις εργασίας και ωφελούνται οικονομικά οι περιοχές στις οποίες υπάρχουν εργοστάσια επεξεργασίας βιομάζας.

1.6.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Το ποσοστό υγρασίας που περιέχει και ο μεγάλος όγκος της.
2. Η διαδικασία της συλλογής, της μεταποίησης, της μεταφοράς και της επεξεργασίας της παρουσιάζουν αρκετές δυσκολίες.
3. Το κόστος κατασκευής των εγκαταστάσεων και της αγοράς εξοπλισμού για την αξιοποίηση της βιομάζας είναι πολύ υψηλό.

1.7 ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Υδροδυναμική λέγεται η ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του νερού που βρίσκεται στη φύση. Ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται τη δύναμη των υδάτινων όγκων μέσω των φραγμάτων και των υδατοπτώσεων ενώ τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες εκμετάλλευσης της ενέργειας των παλιρροιών και των κυμάτων της θάλασσας. Η υδροδυναμική ενέργεια είναι μια περιβαλλοντικά φιλική και ανεξάντλητη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Υδατοπτώσεις: Απαραίτητη προϋπόθεση για να μπορέσει ο άνθρωπος να πάρει και να εκμεταλλευτεί τη δύναμη του νερού από τις υδατοπτώσεις είναι η πτώση του να γίνεται από υψόμετρο. Όσο μεγαλύτερο το υψόμετρο και ο όγκος του νερού, τόσο περισσότερη ενέργεια μπορούμε να πάρουμε. Ο άνθρωπος άρχισε να χρησιμοποιεί τις υδατοπτώσεις αιώνες πριν ενώ στις μέρες μας τις χρησιμοποιεί για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται γίνεται με τη τεχνική των πολύ υψηλών τάσεων. Η τεχνική αυτή επιτρέπει στη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις υδατοπτώσεις να φτάσει ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές.

Κύματα: Η ενέργεια που μπορούν να παράγουν τα κύματα είναι ιδιαίτερα μεγάλη και φυσικά ανεξάντλητη. Μελέτες έχουν δείξει πως αν ο άνθρωπος κατάφερνε να εκμεταλλευτεί έστω το 1% αυτής της ενέργειας θα μπορούσε να καλυφθούν στο

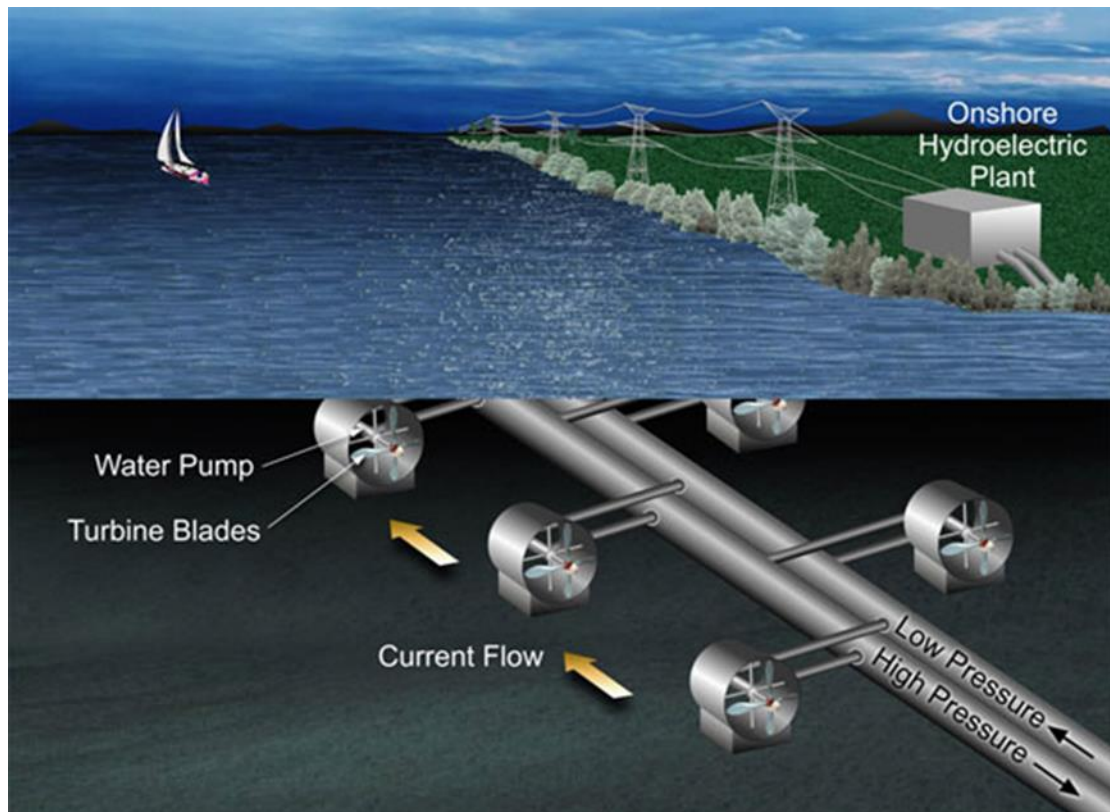
τετραπλάσιο οι ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη. Ο λόγος που μέχρι τώρα δεν ήταν εφικτή η εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων είναι οι αντίξοες συνθήκες αλλά και αντίξοα περιβάλλοντα στα οποία θα πρέπει να γίνει η εγκατάσταση του εξοπλισμού. Το γεγονός πως ο εξοπλισμός θα πρέπει να αντέχει στις εναλλαγές του καιρού αυξάνει κατά πολύ το κόστος κατασκευής. Παρόλα αυτά, η ανάγκη για ενέργεια αλλά και για προστασία του περιβάλλοντος έχει δώσει ώθηση στο να βελτιωθούν οι τεχνολογίες ώστε να μπορέσει ο άνθρωπος να εκμεταλλευτεί αυτή την ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.

Παλίρροιες: Η ενέργεια που παράγεται από τις παλίρροιες είναι αποτέλεσμα της ανόδου και της πτώσης της στάθμης των ωκεανών εξαιτίας της επίδρασης που έχουν στη γη τα βαρυτικά πεδία της σελήνης και του ήλιου. Οι παλίρροιες που μπορούν να αξιοποιηθούν είναι αυτές που η στάθμη τους μεταβάλλεται πάνω από 1,5 μέτρο και για αυτό το λόγο η κατασκευή τέτοιων εγκαταστάσεων γίνεται σε κόλπους ή όρμους. Επιπλέον, όταν η άνοδος και η πτώση της υδάτινης στάθμης είναι κατακόρυφη τότε προκαλείται η οριζόντια κίνηση των υδάτινων όγκων, ένα φαινόμενο γνωστό ως παλιρροιακό ρεύμα.

1.7.1 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει η υδροδυναμική είναι η ενέργεια που παίρνει ο άνθρωπος από τη δύναμη των υδάτινων όγκων που υπάρχουν στη φύση και μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτή την ενέργεια για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μιλάμε δηλαδή για υδροηλεκτρική ενέργεια.

Για να παραχθεί υδροηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει η δυναμική ενέργεια ενός σώματος νερού που είναι αποθηκευμένο ψηλά να μετατραπεί σε κινητική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται όταν το νερό πέφτει από το ψηλότερο σημείο στο χαμηλότερο. Η διαφορά ανάμεσα στα δυο σημεία λέγεται υδραυλικό ύψος.



Εικόνα 5 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Στο χαμηλότερο σημείο βρίσκεται ένας στρόβιλος, του οποίου η περιστροφή γίνεται από τη ροή του νερού και έτσι ενεργοποιείται μια γεννήτρια μέσω της οποίας γίνεται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι τυπικές υδροηλεκτρικές μονάδες είναι εγκατεστημένες σε ποταμούς ή καταρράκτες ώστε να εκμεταλλεύονται τη φυσική ροή των υδάτων. Πολλές φορές συνδυάζονται με τεχνητούς ταμιευτήρες ή φράγματα στα οποία αποθηκεύεται στο νερό, το οποίο αργότερα μεταφέρεται στις μονάδες μέσω αγωγών μεταφοράς.

Υπάρχουν δυο κύρια χαρακτηριστικά της υδροηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αξιοποιηθεί, η παροχή και ωφέλιμο ύψος από το οποίο πέφτει το νερό. Μιλάμε επομένως για την υψομετρική διαφορά που υπάρχει από τη στιγμή που εισάγεται το νερό μέχρι τη στιγμή που φτάνει στο στρόβιλο αφού υπάρξει αφαίρεση των απωλειών λόγω του στροβιλισμού και της τριβής. Μιλώντας γενικά θα μπορούσαμε να πούμε πως ένα σύστημα το οποίο έχει μεγάλη υψομετρική διαφορά και μικρή παροχή μπορεί να παραγάγει την ίδια ενέργεια με ένα σύστημα που έχει χαμηλή υψομετρική διαφορά αλλά μεγάλη παροχή. Το κόστος κατασκευής και συντήρησης του δεύτερου συστήματος είναι πολύ χαμηλότερο συγκριτικά με το πρώτο.

Τα μεγέθη των σταθμών παραγωγής ποικίλουν. Μπορεί να έχουμε μεγάλους σταθμούς παραγωγής με δυνατότητα τροφοδότησης πολλών καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια, μεσαίου μεγέθους, μικρού μεγέθους και πολύ μικρού μεγέθους. Η λειτουργία των μικρών και των πολύ μικρών μονάδων παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας ανήκει σε ιδιώτες με στόχο είτε τη κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών είτε για τη πώληση ενέργειας σε δημόσιους ή ιδιωτικούς παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας.

Αν και υπάρχουν διαφορές στους ορισμούς, μπορούμε να κατατάξουμε τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς ανάλογα με το μέγεθος ως εξής:

- Μεγάλοι σταθμοί: Εγκαταστάσεις με δυναμικότητα πάνω από 50 MW.
- Μεσαίοι σταθμοί: Εγκαταστάσεις με δυναμικότητα που κυμαίνεται από 10 MW ως 50 MW
- Μικροί σταθμοί: Εγκαταστάσεις με δυναμικότητα από 100 KW ως 10 MW.
- Πολύ μικροί σταθμοί: Εγκαταστάσεις με δυναμικότητα μικρότερη από 100 KW.

1.7.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Καθαρή πηγή ενέργειας.
2. Ανανεώσιμη και ανεξάντλητη.
3. Η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι τεράστια.

1.7.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Το κόστος κατασκευής και εγκατάστασης του εξοπλισμού είναι ιδιαίτερα υψηλό ενώ ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση τέτοιων έργων είναι μεγάλος.
2. Στις περιοχές που γίνονται τέτοιες κατασκευές αλλοιώνεται το φυσικό περιβάλλον, αλλάζει το μικροκλίμα ενώ παρατηρείται και αύξηση της σεισμικής δραστηριότητας.

1.8 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Η υδροηλεκτρική ενέργεια διατηρεί τη κυρίαρχη παρουσία της στην παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ευρώπη αλλά υπάρχει μια διάχυτη και αυξανόμενη ανησυχία για τον αντίκτυπο που θα έχει η κλιματική αλλαγή στο Ευρωπαϊκό σύστημα ενέργειας γενικότερα. Η προσαρμογή και η ανθεκτικότητα θα είναι το κλειδί της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας στο μέλλον καθώς έρχεται αντιμέτωπη με συχνότερα και ακραία καιρικά φαινόμενα.

Για δυο συνεχόμενα χρόνια, οι ανανεώσιμες πηγές έχουν παράξει περισσότερη ενέργεια από τα ορυκτά καύσιμα σε όλη την Ευρώπη και κυρίως κατά το δεύτερο τρίμηνο του χρόνου. Η μεγαλύτερη συνεισφορά προέρχεται από τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια και σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη πάνω στον Ευρωπαϊκό ηλεκτρισμό, η υδροηλεκτρική ενέργεια πρόκειται να παραμείνει η κυρίαρχη ανανεώσιμη πηγή παραγωγής ενέργειας στην Ευρώπη και στο μέλλον.

Κατά το δεύτερο τρίμηνο του χρόνου, η υδροηλεκτρική ενέργεια παρήγαγε 109.2TWh και έρχεται δεύτερη πίσω από τα πυρηνικά εργοστάσια που παρήγαγαν το 28,2% της συνολικής ενέργειας. Η υδροηλεκτρική παρήγαγε το 17,5%, το αέριο και το κάρβουνο 17% και 14,7% αντίστοιχα ακολουθούμενοι από τον αέρα 11,5%, την ηλιακή ενέργεια 6,5% και τέλος τη βιομάζα.

Μια ανάλυση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος έδειξε πως η κλιματική αλλαγή αρχίζει να ασκεί πίεση στο ενεργειακό σύστημα της Ευρώπης. Στη μελέτη που δημοσιεύτηκε τον Ιούνιο του 2019, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος δήλωσε πως όλα τα τμήματα του Ευρωπαϊκού ενεργειακού συστήματος, από τη διαθεσιμότητα των πηγών ενέργειας μέχρι την κατανάλωση είναι επιρρεπή στην κλιματική αλλαγή και στα ακραία καιρικά φαινόμενα. Στην αναφορά αναλύονται η τωρινή αλλά και μελλοντική ανάγκη για προσαρμογή και ανθεκτικότητα του Ευρωπαϊκού ενεργειακού συστήματος στην κλιματική αλλαγή.

Οι αλλαγές στο κλίμα όπως η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και του νερού, οι αλλαγές στη διαθεσιμότητα του νερού, τα ακραία καιρικά φαινόμενα όπως επίσης οι παράκτιοι και θαλάσσιοι κίνδυνοι δεν θα έχουν αντίκτυπο μόνο στη διαθεσιμότητα των βασικών πηγών ενέργειας κυρίως των ανανεώσιμων αλλά και στη μεταφορά, στη διανομή και αποθήκευση της ενέργειας και στη ζήτηση της ενέργειας.

Σύμφωνα με τη μελέτη, η κλιματική αλλαγή έχει ήδη επηρεάσει τη διαθεσιμότητα του νερού. Υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των Ευρωπαϊκών περιοχών αλλά γενικά προβλέπεται πως ο κύκλος του νερού θα ενταθεί και θα αλλάξει τα μοτίβα της βροχής. Η Βόρεια Ευρώπη έχει γίνει πιο υγρή τις τελευταίες δεκαετίες(περίπου 70mm ανά δεκαετία) ενώ η Νότια Ευρώπη πιο ξηρή(περίπου 90mm ανά δεκαετία) και αυτή η τάση προβλέπεται να συνεχιστεί και στο μέλλον αλλά με σημαντικές εποχιακές διαφορές. Η μεγαλύτερη μείωση προβλέπεται για τη Βόρεια Ευρώπη το καλοκαίρι. Οι προβλεπόμενες αλλαγές στην ετήσια ροή των ποταμών δείχνει ένα μοτίβο παρόμοιο με εκείνο της ετήσιας βροχόπτωσης. Μειωμένες ροές των ποταμών προβλέπεται για τις χώρες της Νότιας Ευρώπης- ειδικά Κύπρο, Ελλάδα, Ιταλία, Μάλτα, Πορτογαλία, Ισπανία και Τουρκία- και αυξημένες ροές για τις χώρες της Βόρειας Ευρώπης.

Γενικά, η Βόρεια Ευρώπη θα βιώσει και τις ευεργετικές αλλά και τις αρνητικές συνέπειες στο ενεργειακό της σύστημα ενώ η οι περιοχές της Νότιας Ευρώπης θα έρθουν αντιμέτωπες με εξαιρετικά δυσμενείς επιπτώσεις. Τέτοιες αλλαγές δεν θα επηρεάσουν μόνο τη διαθεσιμότητα δροσερού νερού για τα εργοστάσια θερμικής ενέργειας του Ευρωπαϊκού ενεργειακού συστήματος αλλά θα επηρεάσουν και τα εργοστάσια υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Όπως τονίζει ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, η εξάρτηση των υδροηλεκτρικών εργοστασίων από τη ροή των ποταμών τα καθιστά ευάλωτα στις αλλαγές στη βροχόπτωση, στη χιονόπτωση και στο λιώσιμο των πάγων, που σημαίνει πως μείωση στην ροή μπορεί να υπονομεύσει την παραγωγή ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί μια σημαντική πηγή ενέργειας για τις Ευρωπαϊκές χώρες του Νότου που αντιμετωπίζουν μείωση στη διαθεσιμότητα του νερού, κυρίως η Τουρκία αλλά και η Ιταλία, η Πορτογαλία και η Ισπανία.

Στον αντίποδα έχουμε την Νορβηγία, τη Σουηδία και την περιοχή των Άλπεων που προβλέπεται πως θα έχουν αυξημένη ετήσια ή εποχική διαθεσιμότητα νερού χάρη στην αυξημένη βροχόπτωση και στο λιώσιμο των πάγων. Το λιώσιμο των πάγων που προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να έχει διαφορετικές επιπτώσεις στην υδροηλεκτρική ενέργεια. Στο κοντινό μέλλον, μπορεί να αυξήσει την παραγωγή ενέργειας με την αύξηση της ροής αλλά η υπερβολική διαθεσιμότητα νερού μπορεί να δοκιμάσει τις αποθηκευτικές δυνατότητες του υδροηλεκτρικού σταθμού και να προκληθούν διακοπές ρεύματος. Μπορεί επίσης να αυξήσει τη μεταφορά ιζημάτων,

ειδικά στην περιοχή των Άλπεων, τα οποία μπορεί να συγκεντρωθούν στους ταμιευτήρες και στα κανάλια με αποτέλεσμα να μειωθεί η αποθηκευτική χωρητικότητα και η ροή του νερού και να προκληθεί ζημιά στις τουρμπίνες αν δεν αντιμετωπιστεί εγκαίρως. Μακροπρόθεσμα, το λιώσιμο των πάγων μειώνει τη ροή ειδικά την άνοιξη και το καλοκαίρι.

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί με μεγάλη αποθηκευτική χωρητικότητα μπορούν να είναι πιο ανθεκτικοί σε βραχυπρόθεσμες αλλαγές στη ροή των ποταμών και μπορούν να παρέχουν και επιπρόσθετες υπηρεσίες όπως προστασία από πλημμύρες. Ωστόσο, επηρεάζονται από τις μεγάλες θερμοκρασίες καθώς αυξάνεται η εξάτμιση από τον ταμιευτήρα

Η κλιματική αλλαγή έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πολλών ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως ξηρασίες και ισχυρές βροχοπτώσεις, τόσο σε όλο τον κόσμο όσο και στην Ευρώπη ενώ αναμένεται να υπάρξουν και άλλες αλλαγές στη συχνότητα, την τοποθεσία και την ένταση αυτών των φαινομένων.

Τα φαινόμενα ισχυρής βροχόπτωσης έχουν αυξηθεί από το 1950 στην Βόρεια Ευρώπη, με περισσότερες αλλαγές στη Νότια Ευρώπη, με αποτέλεσμα να αυξηθούν οι πλημμύρες. Αυτές οι πλημμύρες μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ενεργειακή υποδομή όπως φάνηκε από την ισχυρή και παρατεταμένη βροχή στην Πορτογαλία το 2000, που προκάλεσε ζημιές στα αναχώματα και υπερχειλίση του φράγματος. Η πλημμύρα που ακολούθησε απείλησε ένα μεγάλο αγωγό αερίου στην περιοχή ενώ περισσότεροι από 100 άνθρωποι έπρεπε να εγκαταλείψουν την περιοχή.

Πιο συχνά φαινόμενα ισχυρής βροχόπτωσης αναμένεται να αυξήσουν τον αριθμό των πλημμυρών σε πολλές περιοχές της Ευρώπης κυρίως στο Ηνωμένο Βασίλειο, στη Γαλλία, στην Ιταλία, Ρουμανία, Ουγγαρία και Τσεχία. Από την άλλη πλευρά οι υψηλές θερμοκρασίες που παρατηρούνται τους καλοκαιρινούς μήνες συμβάλλουν στη δημιουργία συνθηκών ξηρασίας σε πολλές Ευρωπαϊκές περιοχές ενώ ο παρατεταμένος καύσωνας αυξάνει τη ζήτηση για ηλεκτρικό ρεύμα με την παροχή να μειώνεται καθώς τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια που εξαρτώνται από το νερό δεν λειτουργούν στο 100% με αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής του ρεύματος.

Σύμφωνα με την μελέτη για την πρόοδο της ανανεώσιμης ενέργειας, το 2017, η Ευρώπη έφτασε το 17,5% ανανεώσιμης ενέργειας της γενικής κατανάλωσης με στόχο να πιάσει το 20% το 2020. Τον Δεκέμβριο του 2018, η νέα αναθεωρημένη Ευρωπαϊκή

οδηγία τέθηκε σε ισχύ. Ο καινούργιος στόχος για την Ευρωπαϊκή Ένωση για το 2030 είναι το 32% σε σύγκριση με τον προηγούμενο στόχο που ήταν 27% ενώ υπάρχει και όρος πως ενδέχεται να γίνει νέα αναθεώρηση το 2023.

Η συνεχώς αυξανόμενη συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών αναμένεται να αναδείξει την υδροδυναμική ως κύριο παίκτη στην αγορά της ενέργειας εξαιτίας της αυξανόμενης ανάγκης για αποθήκευση και της δυνατότητας των υδροηλεκτρικών εργοστασίων να παρέχουν προσαρμοστικότητα, διευκολύνοντας έτσι την αποδοτική ενσωμάτωση των διαφόρων ανανεώσιμων πηγών όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια.

Η ιστορία της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη είναι μακρά καθώς το πρώτο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο κατασκευάστηκε το 1886 στη Σουηδία και πολλές χώρες πρόσθεσαν την υδροηλεκτρική ενέργεια στα 1950, 1960 και 1970. Πολλά από αυτά τα εργοστάσια χρειάζεται να αποκατασταθούν, να ανακαινιστούν και να εκμοντερνιστούν.

Οι μεγαλύτερες προοπτικές για την υδροηλεκτρική ενέργεια που μένουν ανεκμετάλλευτες στην Ευρώπη υπάρχουν στην Ανατολική Ευρώπη και κυρίως στην περιοχή των δυτικών Βαλκανίων. Η περιοχή υπολογίζεται πως έχει τεχνική δυνατότητα 80,000GWh, που συγκεντρώνεται στις βραχώδεις περιοχές του Μοντενέγκρο και της Αλβανίας. Παρά τις μεγάλες ανεκμετάλλευτες προοπτικές στην περιοχή των Βαλκανίων, η ανάπτυξη νέων υδροηλεκτρικών έργων δεν προχωράει αρχικά λόγω περιβαλλοντικών ανησυχιών και δεύτερον λόγω έλλειψης χρηματοδότησης. Βέβαια, υπάρχουν πολλά μελλοντικά έργα αλλά βρίσκονται ακόμα στο στάδιο του σχεδιασμού.

Αυτό δεν ισχύει για τον υπόλοιπο κόσμο. Το 2018 για παράδειγμα, στην περιοχή του Ειρηνικού και της Ανατολικής Ασίας προστέθηκαν 9,169MW, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων προστέθηκαν στην Κίνα, που παραμένει η πρώτη χώρα στην αύξηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το εθνικό πανεπιστήμιο της Αυστραλίας έχει αναπτύξει ένα παγκόσμιο χάρτη πιθανών ενεργειακών έργων. Βρέθηκαν περίπου 530,000 πιθανές τοποθεσίες για την κατασκευή της με αποθηκευτική δυνατότητα 22,000TWh.

Περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες καθώς και τεχνολογικές προκλήσεις είναι λόγοι που θα ωθήσουν την υδροηλεκτρική ενέργεια να συνεχίσει να αναπτύσσεται, να καινοτομεί και να γίνεται όλο και πιο αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική.

1.9 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η συνολική παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα έφτασε το 2008 στο υψηλότερο σημείο όλων των εποχών με 70TWh. Ο λιγνίτης, το αέριο και το πετρέλαιο παρήγαγαν περίπου 60TWh το 2007. Η συνεισφορά τους μειώθηκε το 2016 στα 40TWh καθώς το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών αυξήθηκε και μειώθηκε και η ανάγκη για ηλεκτρισμό. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από τον λιγνίτη μειώνεται από το υψηλό 32.5TWh το 2004 στο χαμηλό 14.9TWh το 2018. Το αέριο αντικαθιστά σταδιακά το λιγνίτη με αύξηση από 8.0TWh το 2005 σε 14.1TWh το 2018.

Το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα σηματοδοτεί τη «χρυσή εποχή» της ανάπτυξης της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Από δυνατότητα 120MW το 1955, τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα έφτασαν τα 3,018MW το 2000. Περιβαλλοντικές ανησυχίες, πολιτική, γραφειοκρατία και προκατάληψη ενάντια σε μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα οδήγησαν σε αναπτυξιακή στασιμότητα.

Τα τελευταία 20 χρόνια, έχει προστεθεί μόνο ένας μεγάλος υδροηλεκτρικός σταθμός, αυξάνοντας την εγκατεστημένη δυνατότητα σε 3,173MW. Έργα όπως αυτά στη Μεσοχώρα και στη Συκιά έχουν ανασταλεί για σχεδόν δυο δεκαετίες. Αντίθετα, η ανάπτυξη μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών συνεχίστηκε και μέχρι το 2018, η εγκατεστημένη ισχύς αντιστοιχούσε σε 239.5MW. Οι σταθμοί της Σφηκιάς και του Θησαυρού αποτελούν το 22% της εγκατεστημένης ισχύς.

Η χρήση της αντλητικής αποθήκευσης ήταν ευρεία μέχρι το 2009. Ρυθμιστικοί περιορισμοί και περιορισμοί της αγοράς όπως:

- Αυξημένες υποχρεώσεις άρδευσης και παροχής φρέσκου νερού
- Περιορισμοί αναφορικά με τις μεταβολές στο επίπεδο του νερού και
- Απόσυρση επενδύσεων από τα εργοστάσια λιγνίτη

έκαναν τη χρήση της αντλητικής αποθήκευσης μη κερδοφόρα. Από το 2011, η ενέργεια που παραγόταν από υδροηλεκτρικούς σταθμούς με αντλιοστάσια έχει μειωθεί σημαντικά. Από το 2012 μέχρι το 2018 η ενέργεια που παράχθηκε από όλες τις ανανεώσιμες πηγές έφτασε τα 104TWh. Η συνεισφορά της υδροηλεκτρικής, της αιολικής και της ηλιακής στο μείγμα των ανανεώσιμων αντιστοιχεί σε 35,5%, 31,9% και 23,8% αντίστοιχα.

Η Ελλάδα είχε δεσμευτεί πως μέχρι το 2020 το 40% της ζήτησης για ηλεκτρισμό θα προερχόταν από τις ανανεώσιμες πηγές αλλά δεν μπόρεσε να πιάσει αυτόν στον στόχο. Η βροχόπτωση παίζει σημαντικό ρόλο στη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών και στη συνολική ζήτηση. Οι ανανεώσιμες πηγές έχουν δημιουργήσει προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν διαφορετικά θα εμποδιστεί η περαιτέρω ανάπτυξη τους.

Υπάρχει μεγάλο περιθώριο ανάπτυξης της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Με βάση διάφορες μελέτες υπολογίζεται πως υπάρχει επιπρόσθετη δυνατότητα 536MW σε συμβατικούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς και 1,346MW σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς με αντλητική αποθήκευση. Αυτά τα έργα θα αυξήσουν τον όγκο του νερού που αποθηκεύεται σε ταμιευτήρες σε όλη την Ελλάδα σε 1.9 δις m³. Τα έργα που προτείνονται φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Θα πρέπει να σημειωθεί πως για κάποια από αυτά έχουν προκύψει αρκετές αντιρρήσεις.

Table 9. Future HEPP Projects (Reservoir (RES), Run of River (ROR), Pumped Storage (PS) and Hybrids (HY)).

No	Name	Type	Power (MW)	Power PS (MW)	Prod. (GWh/a)	Prod. PS (GWh/a)	Cost (m€)	Volume (mcm)	Notes
1	Messochora	RES	160		365		130	228	Hold
2	Metsovitiko	ROR	29		51.89		60	0.26	Constr.
3	Temenos	RES	18.9		62		50	11.35	Late Des
4	Avlaki	RES	65		225		120	250	Design
5	Agios Nikolaos	RES	90		320		150	60	Design
6	Pyrgos	PS		220		264	195	2	Late Des
7	Agios Georgios	PS		460		552	405	5	Late Des
8	Amari-Potamoi	HY		50		227	280	1.2	Design
9	Sykia	RES	174		390		140	300	Hold
10	Elafi††	PS		147	235	165	280	1,000	Late Des
11	Kastraki A+B†	PS		128		262	84	6	RAE Proposal 2 nd Report
12	Pournari PS†	PS		27.3		52	20	0.97	
13	Kremasta PS†	PS		94		183	60	1.91	
14	Sfikia II PS†	PS		18		38	16	0.69	
15	Magoula‡	PS		8.3		18	16	0.24	RAE Proposal 4 th Report
16	Gerogiannis‡	PS		9.8		21	20	0.12	
17	Petra Pappou‡	PS		39.8		87	87	1.15	
18	Korasiou‡	PS		59.6		131	62	0.9	
19	Koryfi‡	PS		62.6		137	67	0.6	
20	Kandalos‡	PS		21.8		48	30	0.3	
Total			536.9	1,346.2	1,648.89	2,185	2,272	1,870.69	

Πίνακας 1 Προτεινόμενα έργα υδροηλεκτρισμού

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός της Μεσσοχώρας έχει ήδη κατασκευαστεί αλλά εξαιτίας διαφόρων αντιδράσεων, η λειτουργία του έχει ανασταλεί. Ο υδροηλεκτρικός σταθμός στη Συκιά είναι μέρος του αμφιλεγόμενου σχεδίου εκτροπής του Αχελώου και η κατασκευή του έχει επίσης ανασταλεί. Ο υδροηλεκτρικός σταθμός στην Ελάφη βρίσκεται σε τελική σχεδιαστική φάση αλλά περιβαλλοντικές ανησυχίες και οικονομική αβεβαιότητα εμποδίζουν την υλοποίηση του έργου.

Αυτά τα έργα είναι σημαντικά για πολλούς λόγους καθώς πρόκειται να προσθέσουν ετησίως 1.65TWh από συμβατική λειτουργία και 2.2TWh από αντλητική αποθήκευση. Καθαρά αντλητικής αποθήκευσης υδροηλεκτρικοί σταθμοί θα αυξήσουν την ζήτηση ενέργειας όταν αυτή είναι χαμηλή, αποφεύγοντας την περικοπή, κάνοντας χώρο για νέες ανανεώσιμες πηγές και βελτιώνοντας τη λειτουργία των συμβατικών εργοστασίων. η αντλητική αποθήκευση περιλαμβάνει τη χρήση ηλεκτρισμού από το δίκτυο για την άντληση του νερού στον υψηλότερο ταμιευτήρα με τη μορφή αποθήκευσης ενέργειας. Μέρος αυτής της ενέργειας επιστρέφει στο δίκτυο.

Με την επένδυση περίπου 6 ή 7 δις ευρώ:

- Θα είναι δυνατή η ολοκλήρωση 25 μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων
- Θα προστεθούν στο σύστημα 2.500 MW ισχύος αιχμής
- Θα παραχθούν περίπου 6.000 GWh πρόσθετης ενέργειας
- Θα προστεθούν 5.000 εκ m³ αποθήκης νερού.
- Θα βελτιωθεί η ενεργειακή αυτονομία της Ελλάδας
- Θα θωρακιστεί η χώρα και θα είναι σε θέση να αντιμετωπίσει παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας.

1.10 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το υδροδυναμικό της Ελλάδας αναπτύχθηκε όταν ιδρύθηκε η ΔΕΗ το 1950. Από το 1950 ως το 1975 είχαμε την κατασκευή επτά μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών (Πολυφύτου, Εδεσσαίου, Καστρακίου, Κρεμαστών, Πλαστήρα, Λάδωνα, Άγρα) και ενός μικρού (Λούρου) που η συνολική τους εγκατεστημένη ισχύς είναι 1411,4 MW. Από το 1976 μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί πέντε μικροί και εννιά μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (Πουρναρίου I και II, Σφηκιών, Ασωμάτων, Στράτου II, Αώου, Θησαυρού Πλατανόβρυσης, Γκιώνας, Μακροχωρίου, Αγ. Βαρβάρας και Ιλαρίωνος.). Με αυτούς τους σταθμούς η εγκατεστημένη συνολική ισχύς φτάνει τα 3217, 4 MW. Τα τέσσερα συγκροτήματα στα οποία ανήκουν οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί- 16 στο σύνολο- είναι τα εξής:

- Συγκρότημα Αχελώου
- Συγκρότημα Αλιάκμονα
- Συγκρότημα Αράχθου
- Συγκρότημα ποταμού Νέστου

Υπάρχουν επίσης και δυο ανεξάρτητοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί αυτοί του Λάδωνα και του Πλαστήρα.

Παρακάτω παρουσιάσουμε κάποιους από αυτούς.

Υδροηλεκτρικός σταθμός Πουρναρίου

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός Πουρναρίου στον ποταμό Άραχθο βρίσκεται σε απόσταση 4 km από την Άρτα και ξεκίνησε να λειτουργεί το 1981. Η ισχύς του είναι 300 MW και η ενέργεια που παράγει ετησίως είναι 437 GWh.. Το φράγμα του είναι χωμάτινο με ύψος 102 m, μήκους 580 m και όγκου φράγματος 9 εκ. m³. Ο υπερχειλιστής του είναι από σκυρόδεμα και ο σταθμός παραγωγής διαθέτει τέσσερις μονάδες. Ο ταμιευτήρας έχει χωρητικότητα 730 εκ. m³.

Το 2000 ξεκίνησε να λειτουργεί το έργο «Πουρνάρι II» στην κάτω πλευρά του υδροηλεκτρικού σταθμού Πουρναρίου με ισχύς 32 MW. Η ενέργεια που παράγει ετησίως αγγίζει τα 52 GWh και ο ρόλος του είναι αυτός του αναρρυθμιστικού ταμιευτήρα ώστε να εξασφαλίζεται η συνεχής ροή του νερού τόσο στην κοίτη όσο και στις εκβολές του Αράχθου καθ'ολη τη διάρκεια του χρόνου ώστε να αξιοποιούνται ορθολογικά και αποτελεσματικά τα αρδευτικά δίκτυα της περιοχής.

Το φράγμα του είναι χωμάτινο και είναι τοποθετημένο στην αριστερή όχθη με μήκος περίπου 2km και ύψος 15m. Ο ταμιευτήρας είναι χωρητικότητας 4,5 εκ. m³ με επιφάνεια 0,65 km² ενώ στο σταθμό παραγωγής υπάρχουν τρεις μονάδες.

Υδροηλεκτρικός σταθμός Πηγών Αώου

Βρίσκεται σε απόσταση 45 km από την πόλη των Ιωαννίνων και 20 km από την πόλη του Μετσόβου και ρόλος του είναι η εκτροπή ενός μικρού μέρους των υδάτων του Αώου προς τον ποταμό Άραχθο. Άρχισε να λειτουργεί το 1990, έχει ισχύ 210 MW και η ενέργεια που παράγει ετησίως φτάνει τα 205 GWh. Υπάρχουν συνολικά 7 φράγματα με το κύριο και βοηθητικό φράγμα να βρίσκονται στο οροπέδιο Πολιτσών ενώ τα άλλα πέντε είναι αυχενικά. Ο ταμιευτήρας έχει χωρητικότητα εκ. m³ ενώ το συνολικό μήκος των υπόγειων σηράγγων υπερβαίνει τα 10 km.

Υδροηλεκτρικός σταθμός Σφηκιάς

Βρίσκεται νοτίως της Βέροιας σε απόσταση 25 km και άρχισε να λειτουργεί το 1985. Η ισχύς του είναι 315 MW ενώ η ενέργεια που παράγει ετησίως φτάνει τα 220 GWh.

Ο ταμιευτήρας έχει ωφέλιμο όγκο 18 εκ. m³ ενώ η επιφάνεια του είναι σχεδόν 4.3 km². Διαθέτει λιθόρριπτο φράγμα, δύο εκχειλιστές, έργο εκτόξευσης και σήραγγα απαγωγής.

Ασώματα

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός Ασωμάτων βρίσκεται στην κάτω πλευρά του υδροηλεκτρικού σταθμού Σφηκιάς σε απόσταση 8 km νοτίως της πόλης της Βέροιας, ο οποίος άρχισε να λειτουργεί το 1985. Η ισχύς τους είναι 110 MW και η ενέργεια που παράγει ετησίως αγγίζει τα 134 GWh.. Διαθέτει χωμάτινο φράγμα, εκχειλιστή με τρία τοξωτά θυρό-φράγματα και δύο υδροληψίες.

Ιλαρίωνας

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός του Ιλαρίωνα είναι κοντά στην πόλη της Κοζάνης και άρχισε να λειτουργεί το 2012. Αποτελείται από δύο μονάδες παραγωγής με την ισχύ του να φτάνει τα 157MW ενώ από το 2014 προστέθηκε στην ισχύ του άλλα 4,2 MW από την εκμετάλλευση της οικολογικής παροχής στην έξοδο του εκκενωτή πυθμένα με την λειτουργία του μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού Ιλαρίωνα. Η ενέργεια που παράγεται ετησίως φτάνει τα 270 GWh. Το φράγμα του είναι χωμάτινο με ύψος 130 m, μήκος 540 m με συνολικό όγκο 9 εκ. m³ ενώ η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι 400 εκ. m³.

Θησαυρός

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός του Θησαυρού βρίσκεται κοντά στο χωριό Παρανέστι, 60 km από τη Δράμα και άρχισε να λειτουργεί το 1997. Η ισχύς του φτάνει τα 348 MW ενώ η ενέργεια που παράγει ετησίως είναι 507 GWh. Το φράγμα του είναι λιθόρριπτο ύψους 175m, μήκους 480 m και όγκου 12 εκ. m³.

Πλατανόβρυση

Ο υδροηλεκτρικός σταθμός Πλατανόβρυσης βρίσκεται στην κάτω πλευρά του υδροηλεκτρικού σταθμού Θησαυρού και άρχισε να λειτουργεί το 1999. Η ισχύς του φτάνει τα 116 MW ενώ η ενέργεια που παράγει ετησίως αγγίζει τα 278 GWh. Το φράγμα του είναι κατασκευασμένο από κυλινδρικό σκυρόδεμα και έχει ύψος 95 m, μήκος 270 m και όγκο 450.000 m³. Ο ταμιευτήρας έχει χωρητικότητα 57 εκ. m³ και επιφάνεια 3.3 km²

Στράτος I και II

Εκτός από τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς Κρεμαστών και Καστρακίου στον Αχελώο ποταμό, υπάρχει και το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Στράτου I που άρχισε να λειτουργεί το 1988. Η ισχύς του φτάνει τα 156 MW ενώ η ενέργεια που παράγει ετησίως αγγίζει τα 364 GWh. Διαθέτει φράγμα ύψους 26 m, μήκους 1.900 m και όγκου 2,8 εκ. m³. Ο ταμιευτήρας είναι χωρητικότητας 15 εκ. m³ και επιφάνειας 8,4 km². Το 1989 άρχισε να λειτουργεί ο μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός Στράτου II ισχύς 6,3 MW για την αξιοποίηση της παροχής του Αχελώου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ

Ο όρος υδροηλεκτρικά έργα περιγράφει τις έρευνες, τα τεχνικά έργα, τις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό που είναι απαραίτητα για να αξιοποιήσουμε και να εκμεταλλευτούμε το φυσικό υδάτινο δυναμικό μιας περιοχής ή για να αξιοποιήσουμε και να δημιουργήσουμε ένα τεχνητό υδάτινο δυναμικό μέσω ταμιευτήρων. Τα υδροηλεκτρικά έργα μπορούμε να τα κατηγοριοποιήσουμε ως εξής:

- Υδροηλεκτρικά έργα συνεχούς ροής για την αξιοποίηση της φυσικής ροής ενός ποταμού με την εγκατάσταση σε ένα συγκεκριμένο σημείο του μιας υδροηλεκτρικής μονάδας.
- Υδροηλεκτρικά έργα με μικρή δεξαμενή όπου έχουμε την εκτροπή ενός μέρους του νερού από τον ποταμό και τη συσσώρευσή του σε μια μικρού μεγέθους δεξαμενή από όπου καταλήγει στην υδροηλεκτρική μονάδα.
- Υδροηλεκτρικά έργα με ταμιευτήρα. Σε αυτά τα έργα έχουμε την κατασκευή ενός φράγματος για τη δημιουργία μιας τεχνητής λίμνης όπου γίνεται η συλλογή του νερού για κάποιο χρονικό διάστημα και η επαναχρησιμοποίηση του όταν υπάρχει μεγάλη ζήτηση φορτίου.
- Υδροηλεκτρικά έργα με αναστρέψιμες-αντλητικές μονάδες. Σε ώρες που δεν υπάρχει μεγάλη ζήτηση φορτίου, κυρίως το βράδυ, πραγματοποιείται άντληση του νερού από το χαμηλότερο σημείο του ταμιευτήρα και μεταφορά του στην άλλη πλευρά. Όταν υπάρξει ζήτηση, η ποσότητα αυτή του νερού χρησιμοποιείται ξανά για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την κατασκευή των υδροηλεκτρικών έργων απαιτούνται μια σειρά από μελέτες από διάφορα επιστημονικά πεδία της φυσικής και της μηχανικής όπως επίσης και διάφορες κατασκευές που μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- ✓ Μελέτες γεωλογικές, υδρολογικές και μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την επιστήμη της τοπογραφίας, της εδαφολογίας, της γεωλογίας, της δασολογίας και της υδρολογίας. Αυτές οι μελέτες αποτελούν το πρώτο στάδιο ενός υδροηλεκτρικού έργου και τα αποτελέσματά τους είναι αυτά που θα καθορίσουν τα επόμενα στάδια.

- ✓ Κατασκευαστικά και δομικά έργα που είναι κατά κύριο λόγο το αντικείμενο των πολιτικών μηχανικών και είναι αυτά που θα καθορίσουν πόσο μεγάλο θα είναι το ύψος της επένδυσης και το πόσο εκτεταμένη θα είναι η παρέμβαση. Οι κύριες εργασίες και οι μελέτες που θα πρέπει να φέρει εις πέρας ένας πολιτικός μηχανικός σε ένα υδροηλεκτρικό έργο είναι οι εξής:
 - Το φράγμα, όπου υπάρχει απαίτηση για τέτοιο, για την έμφραξη του ποταμού και η δημιουργία ταμιευτήρα στον οποίο γίνεται η συγκέντρωση του νερού που προέρχεται από τη φυσική ροή αυτού.
 - Η υδροληψία, το σημείο δηλαδή εκείνο από το οποίο θα μεταφερθεί το νερό μέσω των αγωγών πτώσης στον υδροστρόβιλο.
 - Ο υπερχειλιστής ο οποίος διασφαλίζει την αποφυγή πλημμυρικών παροχών στο ταμιευτήρα καθώς και την αποφυγή προβλημάτων στατικότητας των φραγμάτων.
 - Τα έργα εκτροπής του νερού για την εκτροπή της ροής του νερού του ποταμού καθ' όλη τη διάρκεια κατασκευής του φράγματος.
 - Ο εκκενωτής πυθμένα έτσι ώστε να είναι εφικτή η ελεγχόμενη και ασφαλής εκκένωση του ταμιευτήρα όταν υπάρχει έκτακτη ανάγκη ή όταν είναι ανάγκη πρόσβασης στον ταμιευτήρα για την εκτέλεση διορθωτικών έργων και παρεμβάσεων.
 - Οι αγωγοί προσαγωγής ή οι αγωγοί πτώσης του νερού προς τους υδροστροβίλους. Ο αριθμός των αγωγών εξαρτάται από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος
 - Ο αγωγός φυγής που είναι ο αγωγός από που φεύγει το νερό μετά τη διοχέτευσή του στον υδροστρόβιλο.
 - Κτηριακή εγκατάσταση του σταθμού παραγωγής που είναι ο χώρος φιλοξενίας όλων των μονάδων παραγωγής και όλων των απαραίτητων συστημάτων ελέγχου και του βοηθητικού ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.
- ✓ Μηχανολογικός εξοπλισμός στον οποίο περιλαμβάνονται ο εξοπλισμός αξιοποίησης της παροχής νερού, οι κατασκευές ρύθμισης της παροχής του νερού του ποταμού, ο βοηθητικός εξοπλισμός για τη ρύθμιση της παραγωγής ρεύματος και ο εξοπλισμός για την εύρυθμη λειτουργία και συντήρηση του υδροηλεκτρικού σταθμού. Αναλυτικότερα, στον εξοπλισμό περιλαμβάνονται:

- ◆ Οι σχάρες είτε στατικές είτε κυλιόμενες στην υδροληψία ώστε να προστατεύονται οι υδροστρόβιλοι από υλικά που μπορεί να φέρει ο ποταμός όπως φύλλα δέντρων, ξύλα ή σκουπίδια μαζί με μηχανισμούς καθαρισμού.
 - ◆ Οι βάνες και βαλβίδες προστασίας για να ρυθμίζεται η ροή του νερού που εισέρχεται στους αγωγούς προσαγωγής αλλά και για να αποφευχθούν μηχανικά προβλήματα και φθορές στους αγωγούς.
 - ◆ Οι υδροστρόβιλοι για να μετατρέπεται η δυναμική ενέργεια του ύδατος σε περιστροφική αρχικά και εν συνεχεία σε ηλεκτρική.
 - ◆ Οι ρυθμιστές στροφών και ανοίγματος των πτερύγων στροβίλου ώστε να σταθεροποιείται η περιστροφή του υδροστροβίλου και άρα και της γεννήτριας και για να σταθεροποιείται η συχνότητα του ρεύματος ανεξαρτήτως της ζήτησης του φορτίου που υπάρχει στο δίκτυο.
 - ◆ Οι υπερσυμπιεστές αέρα, οι αεροκώδωνες και τα υδραυλικά συστήματα πίεσης λαδιού απαραίτητα για τη λειτουργία των διαφόρων βοηθητικών και περιφερειακών συστημάτων.
 - ◆ Τα συστήματα λίπανσης του λαδιού και του γράσου ώστε να οι άξονες και τα έδρανα του ζεύγους στροβίλου- γεννήτριας να λειτουργούν ομαλά.
- ✓ Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός στον οποίο συμπεριλαμβάνεται ο συνολικός εξοπλισμός και τα συστήματα που είναι απαραίτητα για την ομαλή και αξιόπιστη παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και για την σωστή σύζευξη αυτής στο δίκτυο μεταφοράς. Επιπλέον περιλαμβάνεται και το περιφερειακό ηλεκτρολογικό υλικό που χρειάζεται για να λειτουργεί ο υδροηλεκτρικός σταθμός. Περιλαμβάνει κυρίως τα παρακάτω:
- Τις γεννήτριες εναλλακτικές που είναι συνδεδεμένες με τους υδροστροβίλους για την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια.
 - Τους ηλεκτρικούς κινητήρες που εξυπηρετούν διάφορες ανάγκες εντός του σταθμού.

- Τα συστήματα ελέγχου της γεννήτριας, τα συστήματα ρύθμισης της διέγερσης και τους αυτομάτους ρυθμιστές τάσης.
- Τους μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης για να φτάνει η παραγόμενη τάση την αναγκαία τιμή για τη διασύνδεση με το δίκτυο μεταφοράς.
- Τους διακόπτες ζεύξης, τους διακόπτες απόζευξης και στους συγχρονιστές με το κεντρικό δίκτυο μεταφοράς.
- Τα όργανα για τον έλεγχο της ομαλής λειτουργίας των κυρίων και των βοηθητικών συστημάτων.
- Τους πίνακες υψηλής, μεσαίας και χαμηλής τάσης.
- Τους πίνακες για την προστασία της γεννήτριας, του στροβίλου και των βοηθητικών.
- Τις μπαταρίες για την τροφοδότηση των περιφερειακών και βοηθητικών συστημάτων σε περίπτωση που υπάρξει μπλάκ άουτ.
- Τα σταθμήμετρα για τη μέτρηση της στάθμης του νερού στη δεξαμενή φόρτισης ή στον ταμιευτήρα.

Οι διαστάσεις που θα έχει ένα υδροηλεκτρικό έργο, πόσο θα κοστίσει και ποιο θα είναι το τελικό του μέγεθος εξαρτάται από το πόσες μονάδες θα εγκατασταθούν στο σταθμό και από το ποια θα είναι η ονομαστική του ισχύς. Φυσικά, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και η ύπαρξη ή μη τεχνητής λίμνης και το μέγεθος του φράγματος εφόσον αυτό υπάρχει καθώς είναι μεγάλες, χρονοβόρες παρεμβάσεις που έχουν μεγάλο κόστος.

2.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

1. Η ροή του νερού και η παραγωγή ηλεκτρισμού μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν. Όταν η κατανάλωση ενέργειας είναι χαμηλή, τότε μειώνεται η ροή του νερού ενώ όταν η κατανάλωση είναι υψηλή τότε αυξάνεται η ροή του νερού.
2. Η παραγωγή ενέργειας μέσω της υδροδυναμικής ενέργειας δεν μολύνει το περιβάλλον. Η μόνη πηγή μόλυνσης είναι η κατασκευή των υδροηλεκτρικών σταθμών/
3. Όταν χρησιμοποιούνται τα συστήματα του φράγματος η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται δεν εκπέμπει αέρια θερμοκηπίου και άρα η ατμόσφαιρα δεν επιβαρύνεται.
4. Το νερό από την λίμνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση.

5. Εκτός του ότι παράγουν ηλεκτρισμό για πολλά χρόνια, τα φράγματα είναι έτσι κατασκευασμένα ώστε να κρατάνε για δεκαετίες.
6. Ένα φράγμα μπορεί να παράγει ενέργεια με σταθερό ρυθμό μόλις κατασκευαστεί.
7. Κλείνοντας τον υδατοφράχτη, δεν μπορεί να παραχθεί ενέργεια αν δεν είναι απαραίτητο και το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί αργότερα σε περιόδους που υπάρχει μεγάλη ζήτηση για ενέργεια.
8. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και υπάρχει κάποιος περιορισμός για τη χρήση της. Ωστόσο τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια μπορούν να κατασκευαστούν μόνο σε συγκεκριμένα σημεία και μόνο με συγκεκριμένο αριθμό ταμιευτήρων.
9. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι εξαιρετικά αξιόπιστη και πολύ πιο ασφαλής από την πυρηνική ενέργεια ή την ενέργεια που παράγεται από τα ορυκτά καύσιμα.

2.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

1. Τα εργοστάσια ενέργειας είναι γενικά ακριβά να κατασκευαστούν και το ίδιο ισχύει και για υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Βέβαια, αυτού του είδους ο σταθμός απαιτεί λιγότερους εργάτες και το κόστος συντήρησης είναι σχετικά χαμηλό.
2. Η κατασκευή φραγμάτων που εμποδίζουν τη ροή του ποταμού σε μια χώρα, συνήθως αφήνει την άλλη χώρα ανίκανη να ελέγξει τη ροή του ίδιου ποταμού. Αυτό μπορεί να προκαλέσει διαμάχες μεταξύ των χωρών.
3. Τα μεγάλης κλίμακας φράγματα μπορεί να καταστρέψουν την γεωλογία της γης. Για παράδειγμα, όταν γινόταν η κατασκευή του φράγματος Χούβερ στην Αμερική, προκλήθηκαν αρκετοί σεισμοί και διαταράχθηκαν η επιφάνεια του εδάφους.
4. Η κατασκευή φραγμάτων είναι αρκετά δαπανηρή και θα πρέπει να κατασκευάζονται σύμφωνα με πολύ υψηλές προδιαγραφές ώστε να μπορούν να λειτουργούν για αρκετές δεκαετίες.
5. Το φυσικό επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα μπορεί να επηρεαστεί από την κατασκευή μεγάλων φραγμάτων. Στην Αίγυπτο για παράδειγμα, η κατασκευή του φράγματος Aswan προκάλεσε σημαντικές αλλαγές στον υδροφόρο ορίζοντα, με αποτέλεσμα να προκαλείται φθορά στα μνημεία εξαιτίας των

αλάτων που εναποτίθενται πάνω στις πέτρες. Η κατασκευή φραγμάτων στα ποτάμια, η αλλαγή της ροής του νερού και η κατασκευή δρόμων ενδέχεται να έχουν επίπτωση στον κύκλο ζωής των ψαριών.

2.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε πως γίνεται η αξιοποίηση της ροής του νερού από ένα ποτάμι ή από κάποια τεχνητή λίμνη από ένα υδροηλεκτρικό έργο θα πρέπει να διευκρινίσουμε κάποιες έννοιες αναφορικά με την υδραυλική ενέργεια του νερού και από τι εξαρτάται. Η υδραυλική ισχύς P που παίρνουμε από ένα συγκεκριμένο ρεύμα ύδατος με παροχή Q και λαμβάνεται από μια διαφορά ύψους H είναι:

$$P = g * \rho * Q * H \quad (1) \text{ όπου}$$

g = επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/sec)

ρ = πυκνότητα του νερού (kg/m)

Q = παροχή του υδατορεύματος (m /sec).

H = υψομετρική διαφορά - ύψος πτώσης του ύδατος (m)

Ως ύψος πτώσης λαμβάνεται η τιμή $H = H_{\text{High}} - H_{\text{low}}$ (2) όπου H_{High} είναι η στάθμη του νερού στη δεξαμενή φόρτισης ή στο ταμιευτήρα και H_{low} είναι η στάθμη κατάντη της υδροηλεκτρικής μονάδας όπου γίνεται διοχέτευση της παροχής στη φύση. Ουσιαστικά, το συνολικό μεικτό ύψος πτώσης του ύδατος ισούται με το ύψος από το οποίο θα γίνει η λήψη αφαιρώντας το ύψος του αγωγού φυγής μετά τον υδροστρόβιλο.

Η λαμβανόμενη μηχανική ισχύς από τον υδροστρόβιλο της κάθε μονάδας είναι πάντα μικρότερη από τη διαθέσιμη υδραυλική ισχύ του ρεύματος του ύδατος και αυτό είναι αποτέλεσμα των υδραυλικών απωλειών ενέργειας εξαιτίας της τριβής από τη ροή του ύδατος στον αγωγό προσαγωγής και πτώσης αλλά και των μηχανικών απωλειών στον ίδιο τον υδροστρόβιλο.

Οι υδραυλικές απώλειες από τη ροή του ύδατος στους αγωγούς μπορεί να θεωρηθούν μονάδες ύψους πτώσης και επομένως αφαιρούνται από το ολικό ύψος πτώσης ενώ είναι ανάλογες του τετραγώνου της παροχής:

$$\delta H = \lambda * Q^2 \quad (3).$$

Άρα το νέο ύψος της πτώσης αφού λάβουμε υπόψη τις απώλειες της ροής του ύδατος στους αγωγούς είναι ίσο με:

$$H_{new} = H - \delta H \rightarrow H_{new} = H_{high} - H_{low} - \delta H \quad (4).$$

Επομένως, με την ίδια λογική μειώνεται και η υδραυλική ισχύς η οποία λαμβάνοντας υπόψη τις άνωθεν απώλειες στο ύψος πτώσης θα είναι:

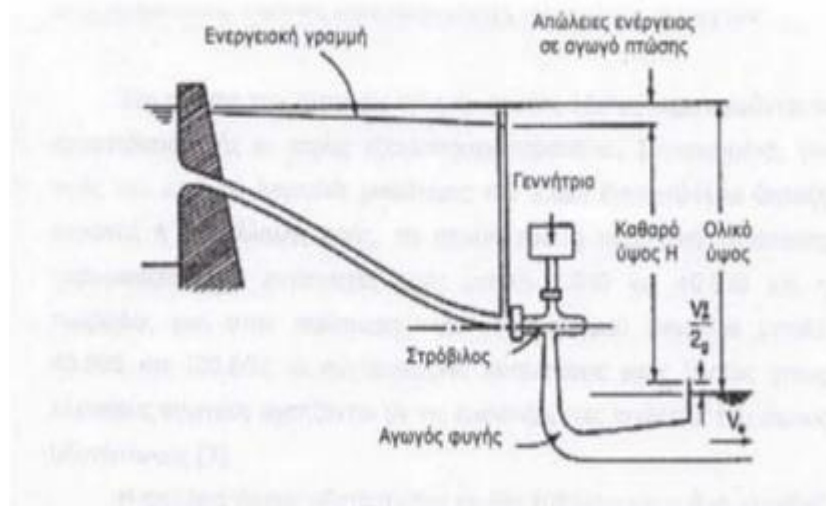
$$P_{new} = g * \rho * Q * H_{new} \quad (5)$$

Επομένως, μπορούμε να καταλάβουμε πόση σημασία έχει να γίνεται η κατάλληλη μελέτη και κατασκευή των αγωγών ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες ενέργειας κατά τη ροή του νερού. Οι γωνίες και οι καμπύλες που θα υπάρχουν κατά μήκος των αγωγών αλλά και η πιθανή διάβρωση ή και η καθίζηση στο εσωτερικό τους οδηγούν στον πολλαπλασιασμό των απωλειών ενώ όταν οι αγωγοί έχουν μεγάλο μήκος όλα τα προαναφερθέντα ενδέχεται να οδηγήσουν σε δραματική μείωση της διαθέσιμης μηχανικής ισχύς.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ο σημαντικότερος παράγοντας διαμόρφωσης του καθαρού ή ωφέλιμου ύψους πτώσης είναι η απώλεια ενέργειας εξαιτίας των μηχανικών απωλειών στον υδροστρόβιλο και ειδικότερα μεταξύ της εισόδου του σπειροειδούς σωλήνα και της εξόδου του αγωγού φυγής. Άρα αν λάβουμε υπόψη τις απώλειες στον αγωγό αλλά και τις μηχανικές απώλειες που παρατηρούνται στον υδροστρόβιλο, το καθαρό ή ωφέλιμο ύψος υδατοπτώσεως δίνεται από τη σχέση:

$$H_{\text{ωφέλιμο}} = H_{new} + V_0^2/2g - V^2/2g \quad (6).$$

Η σχέση αυτή εκφράζει την ανά μονάδα μάζας ενέργεια του ρευστού που μπορεί ο υδροστρόβιλος να μετατρέψει σε μηχανική ισχύ. Στη συγκεκριμένη σχέση ως V_0 την αρχική ταχύτητα του νερού πριν το σπειροειδή σωλήνα του στροβίλου ενώ ως V θεωρούμε τη ταχύτητα στον αγωγό φυγής.



Εικόνα 6 Καθαρό ωφέλιμο ύψος υδατόπτωσης

Το g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και το H new όπως έχει υπολογιστεί στη σχέση 4. Άρα η σχέση 5 μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$P \text{ ωφέλιμο} = g * \rho * Q * H \text{ ωφέλιμο} \quad (7).$$

Αν θέλουμε να το προσεγγίσουμε με διαφορετικό τρόπο, η πραγματική μηχανική ισχύς που είναι δυνατόν να πάρουμε από έναν υδροστρόβιλο όταν περιστρέφεται με μια γωνιακή ταχύτητα ω και μια κινητήρια ροπή I στον άξονα του τότε:

$$N = I * \omega \quad (8)$$

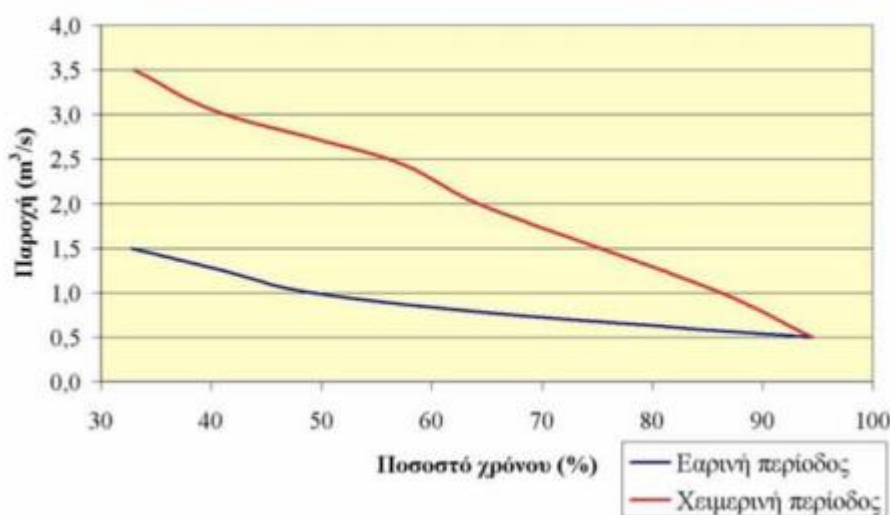
Λαμβάνοντας υπόψη όσα έχουμε ήδη πει $N < P$ και η διαφορά $\delta P = P - N$ περιγράφει το σύνολο των απωλειών. Ο τελικός βαθμός απόδοσης των υδροστροβίλων ορίζεται ως $n = N/P$. Επομένως $N = n * P \rightarrow N = n * g * \rho * H * Q \quad (9)$.

Η σχέση 9 είναι η σχέση 1 πολλαπλασιασμένη με το βαθμό απόδοσης του υδροστροβίλου η οποία καταλήγει στο ίδιο αποτέλεσμα με τη σχέση 7. Η συγκεκριμένη σχέση είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν είναι γνωστός εκ των προτέρων ο βαθμός απόδοσης του υδροστροβίλου.

2.4 ΠΑΡΟΧΗ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΟΣ

Όπως φαίνεται από τη σχέση υδραυλικής ισχύος, η ποσότητα της εκμεταλλεύσιμης ενέργειας ενός υδατορεύματος είναι ανάλογη της παροχής Q του νερού που χαρακτηρίζει τη ροή σε κάθε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Όσο μεγαλύτερη η παροχή

τόσο μεγαλύτερη η ισχύς αλλά αντίθετα με το ύψος της πτώσης το οποίο είναι σταθερό και προκαθορισμένο, η παροχή του νερού είναι μια ποσότητα που μεταβάλλεται συνέχεια. Για αυτόν ακριβώς το λόγο προτού σχεδιάσουμε και πάρουμε αποφάσεις που αφορούν το μέγεθος, τον εξοπλισμό και τον αριθμό των μονάδων, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί υδρολογική μελέτη της παροχής. Η μεταβολή της παροχής του νερού μπορεί να γίνει και κατά τη διάρκεια του χρόνου αλλά και δεκαετιών και εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, γεωγραφικών, γεωλογικών, περιβαλλοντικών και κλιματικών. Επομένως, για να αξιοποιηθεί σωστά και αποδοτικά το υδάτινο δυναμικό είναι πολύ σημαντικό να γίνουν έρευνες και αναλυτικές υδρολογικές μετρήσεις. Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε πως η παροχή νερού στις υδροηλεκτρικές μονάδες που είναι κατασκευασμένες σε αρδευτικά δίκτυα, εξαρτάται πάρα πολύ από τις περιόδους άρδευσης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων σχηματίζουν στο διάγραμμα που ακολουθεί τη καμπύλη διάρκειας παροχής νερού.



Εικόνα 7 Διάγραμμα καμπύλης διάρκειας παροχής

Αυτή η καμπύλη συνδυαστικά με το διαθέσιμο ύψος πτώσης θα καθορίσει το μέγεθος του υδροηλεκτρικού σταθμού, το μέγεθος της μονάδας και τον τύπο του υδροστροβίλου. Ο υδροστροβίλος επομένως θα πρέπει να μπορεί να εκμεταλλεύεται τη μέγιστη παροχή ώστε να μην υπάρχει απώλεια της διαθέσιμης υδραυλικής ενέργειας. Εν ολίγοις, θα πρέπει να υπάρχει ταύτιση της ονομαστικής ισχύς και της μέγιστης διαθέσιμης ισχύς ακόμα και όταν πρόκειται για περιόδους μέγιστων πλημμυρικών παροχών. Ωστόσο αυτό δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτικό αφού το περισσότερο χρόνο, η λειτουργία της υδροηλεκτρικής μονάδας θα γίνεται με χαμηλότερες παροχές και σε περιοχές μακριά από την ονομαστική ισχύ με αποτέλεσμα

να μην αξιοποιείται στο μέγιστο ο διαθέσιμος εξοπλισμός και οι εγκαταστάσεις του σταθμού. Έτσι το ισοζύγιο κόστους και απόδοσης θα είναι αρνητικό.

Για να αποφευχθεί αυτό θα πρέπει η φυσική παροχή να ρυθμίζεται με τεχνητό τρόπο για να είναι εφικτή η επίτευξη της μέγιστης απόδοσης και της καλύτερης αξιοποίησης της μεταβαλλόμενης παροχής. Η επίτευξη αυτού του στόχου γίνεται με πολλούς τρόπους ανάλογα με το μέγεθος αλλά και το είδος του υδροηλεκτρικού έργου.

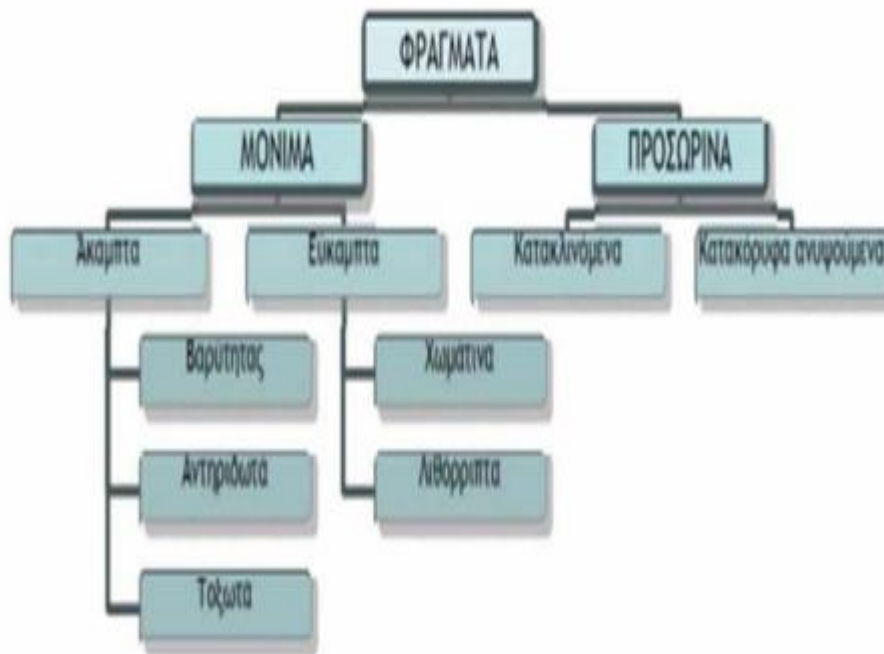
Όταν πρόκειται για μικρού μεγέθους υδροηλεκτρικά έργα γίνεται εκτροπή μόνο ενός μέρους της φυσικής παροχής του ποταμού και άρα σύμφωνα με την υδρολογική μελέτη ο σχεδιασμός είναι τέτοιος ώστε να χρησιμοποιείται μια σταθερή παροχή που να αγγίζει το 90% της καμπύλης διάρκειας ώστε η λειτουργία της μονάδας να είναι σταθερή και να αποδίδει στο μέγιστο βαθμό. Φυσικά, επειδή αυτού του μεγέθους οι μονάδες είναι ιδιωτικές, οι ιδιώτες είναι υποχρεωμένοι να επιτρέπουν την παραμονή μιας συγκεκριμένης ροής του ποταμού για να μπορεί να γίνει αξιοποίηση της και για τους σκοπούς της ύδρευσης και της άρδευσης

Σε υδροηλεκτρικά έργα μεγαλύτερου μεγέθους η ρύθμιση της παροχής πραγματοποιείται με τη δημιουργία τεχνητών λιμνών. Κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών όπου υπάρχει αύξηση της παροχής, το περίσσειμα του νερού αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί τους μήνες του καλοκαιριού που επικρατεί ξηρασία. Έτσι ο σχεδιασμός των μονάδων γίνεται για μέση παροχή σε σχέση με την καμπύλη διάρκειας με την ισχύ τους να φτάνει πολλές φορές την εγκατεστημένη ισχύ με αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη δημιουργία ταμιευτήρων είναι η κατασκευή φραγμάτων και άλλων δομικών έργων.

2.5 ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε αρκετές περιπτώσεις είναι απαραίτητο να γίνεται τεχνητή ρύθμιση και ομαλοποίηση της παροχής που για επιτευχθεί χρειάζεται να κατασκευαστούν φράγματα. Τα φράγματα είναι δομικές κατασκευές που εμποδίζουν, ανακατευθύνουν ή επιβραδύνουν τη φυσική ροή του νερού. Τις περισσότερες φορές όταν κατασκευάζεται ένα φράγμα έχουμε και τη δημιουργία συλλεκτών υδάτων, δεξαμενών ή τεχνητών λιμνών. Η πιο απλή μορφή κατασκευής για τη συγκρότηση των υδάτων είναι τα πρόχειρα αναχώματα για να περάσουμε μετά σε πιο σύνθετες μορφές

όπως είναι τα λιθόδετα φράγματα, οι λιθοδομές, τα γεωφράγματα και τα τοξωτά φράγματα. Τα έργα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια σειρά σκοπών όπως για ταμίευση νερού, για αντιπλημμυρική προστασία ή για συγκράτηση υλικών που μεταφέρει το ρεύμα. Βέβαια όποιος και αν είναι ο σκοπός κατασκευής των φραγμάτων, μπορούμε να τα κατηγοριοποιήσουμε με βάση τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή και τη στατική τους λειτουργία.



Εικόνα 8 Κατηγοριοποίηση φραγμάτων

2.5.1 ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

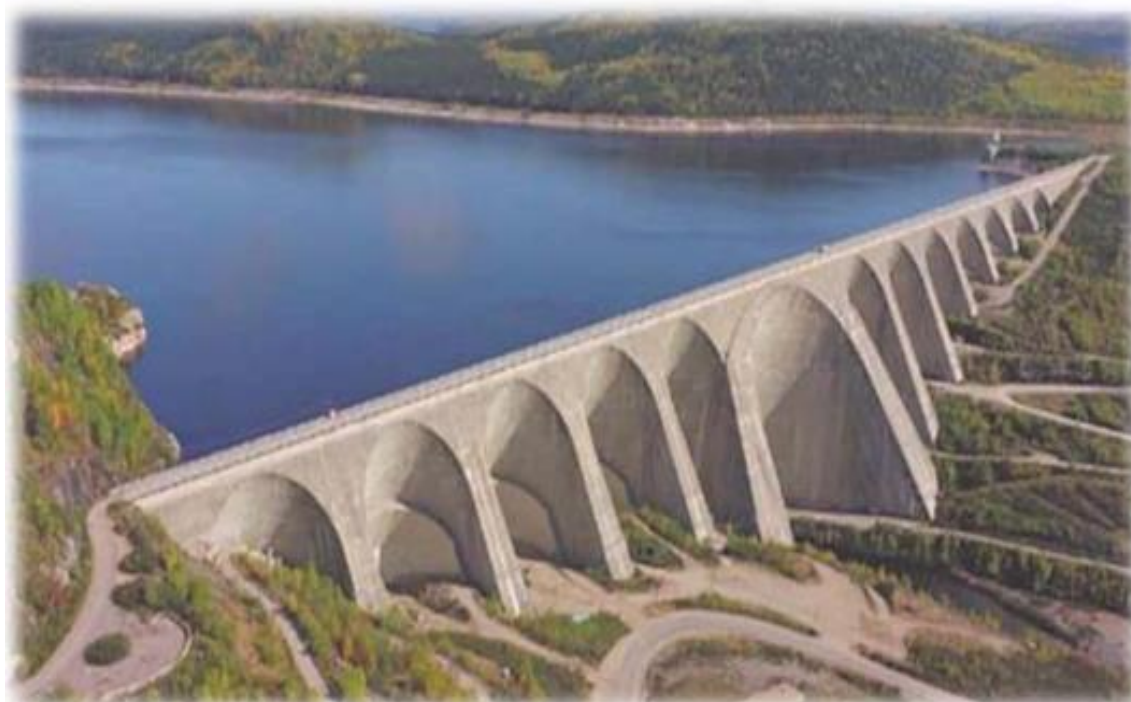
Τα φράγματα βαρύτητας λειτουργούν με βάση το βάρος τους, το οποίο χρησιμοποιούν για την αντιστάθμιση των υδροστατικών πιέσεων, της άνωσης, των σεισμικών φορτίσεων και των δυνάμεων ανατροπής. Η κατασκευή τους γίνεται από άοπλο ή κυλινδρούμενο σκυρόδεμα.



Εικόνα 9 Φράγμα Libby, Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

2.5.2 ΑΝΤΗΡΙΔΩΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Αποτελούνται από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος που φέρεται σε αντηρίδες με μεταβλητό πλάτος. Η μεταφορά των υδροστατικών πιέσεων γίνεται κυρίως στην επιφάνεια θεμελίωσης και όχι τόσο στα αντερείσματα ενώ συγκριτικά με τα φράγματα βαρύτητας πετυχαίνουν μεγάλη οικονομία όσον αφορά τον όγκο του σκυροδέματος που απαιτείται.



Εικόνα 10 Φράγμα του Daniel- Johnson, Καναδάς

2.5.3 ΤΟΞΩΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Η κατασκευή τους τις περισσότερες φορές γίνεται από άοπλο σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και οπλισμένο. Είναι καμπύλα στο σχεδιασμό τους και η επιφάνεια τους προς τα ανάντη είναι κυρτή. Η μεταφορά των υδροστατικών πιέσεων γίνεται στα αντερείσματα και συγκριτικά με τα φράγματα βαρύτητας υπάρχει οικονομία στον όγκο του σκυροδέματος σε ποσοστό 70%.



Εικόνα 11 Φράγμα Hoover, ΗΠΑ

Η φύση του προορισμού τους και οι συνθήκες λειτουργίας τους καθιστούν απαραίτητη την ύπαρξη στερεότητας και στεγανότητας συνδυαστικά πάντα με τις εδαφικές συνθήκες του τόπου στον οποίο ανεγείρονται. Όσον αφορά την στερεότητα μπορούμε να πούμε πως υπάρχουν τρεις σημαντικοί κίνδυνοι:

- ◆ Η ολίσθηση
- ◆ Η θραύση
- ◆ Η υπερχειλίση

Η διαπερατότητα των υλικών κατασκευής, η σωστή διάταξη των αρμών και η ποιότητα του υπεδάφους είναι καθοριστικοί παράγοντες για τη στεγανότητα. Για να μελετηθεί σωστά το υπέδαφος θα πρέπει να γίνουν εκτεταμένες γεωτρήσεις και να αναλυθούν σχολαστικά τα στοιχεία αυτών των γεωτρήσεων. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία για τις αιτίες καταστροφής διαφόρων φραγμάτων στον κόσμο, οι πιο σημαντικές είναι:

Ανεπαρκής μελέτη των γεωλογικών συνθηκών του τόπου όπου κατασκευάστηκε το φράγμα.

Ανεπαρκής στατική μελέτη.

Θεομηνία

Καταπόνηση εξαιτίας σεισμικής δραστηριότητας
Κακοτεχνίες στην κατασκευή.

2.6 ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗΣ

Όλοι οι τύποι φράγματος πρέπει να παρέχουν στο νερό τη δυνατότητα διαφυγής σε περίπτωση που υπάρξει κάποια ακραία ή πλημμυρική παροχή. Οι ακραίες ή πλημμυρικές παροχές ύδατος μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την επικίνδυνη αύξηση της στάθμης του νερού με κίνδυνο να υπερκαλυφθεί το φράγμα. Για να αποφευχθούν προβλήματα σταθερότητας ακόμα και καταστροφές των φραγμάτων έχουν δημιουργηθεί ειδικές κατασκευές.

Αυτές οι κατασκευές είναι οι ονομαζόμενοι υπερχειλιστές ή εκχειλιστές και έχουν τη δυνατότητα να απομακρύνουν με ασφαλή τρόπο μεγάλες πλημμυρικές παροχές. Η δυναμικότητα τους σχεδιάζεται με βάση τα στατιστικά στοιχεία των παροχών των ρευμάτων ύδατος, τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, τις αντοχές των φραγμάτων αλλά και τις συνθήκες αξιοποίησης του κάθε ταμιευτήρα.

Ο υπερχειλιστής μπορεί να τοποθετηθεί σε διάφορα σημεία όπως μετωπικά στο σώμα του φράγματος. Όταν τοποθετείται εκεί υπάρχει δυνατότητα μεγάλου μήκους στέψης και ευνοϊκού προσανατολισμού αλλά αυξάνεται ο κίνδυνος υποσκαφής και δημιουργείται περιορισμός στη τοποθέτηση του υδροηλεκτρικού σταθμού. Μπορεί επίσης να τοποθετηθεί και πλευρικά στα αντερείσματα υπό αυστηρές προϋποθέσεις γεωλογικής καταλληλότητας.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι υπερχειλιστών και διακρίνονται σε απλούς και ρυθμιζόμενους. Οι ρυθμιζόμενοι υπερχειλιστές έχουν κινητά διαφράγματα που κινούνται ανάλογα με τη ποσότητα του νερού που πρέπει να διαφύγει. Η πιο απλή μορφή υπερχειλιστή είναι αυτή που προκύπτει όταν ένα τμήμα του φράγματος διαμορφώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί η ροή του ύδατος να πλεονάζει. Τέτοιου είδους υπερχειλιστές είναι δυνατό να έχουν και διάφραγμα το οποίο με τη βοήθεια ενός μηχανισμού υποχωρεί όταν το νερό βρίσκεται σε ορισμένη στάθμη. Όταν το νερό περάσει από τον υπερχειλιστή τότε μπορεί ελεύθερα να εισέλθει σε ανοιχτούς αγωγούς με απότομη κλίση. Σε κάποιες περιπτώσεις, μετά τον υπερχειλιστή, όταν η διατομή του ποταμού είναι μικρή και δεν υπάρχει αρκετός χώρος ώστε να μπορεί το

νερό να ρέει ελεύθερα, η ροή μπορεί να συνεχιστεί σε ανοιχτούς αγωγούς παράλληλα με το φράγμα.



Εικόνα 12 Υπερχειλιστής φράγματος Πηνειού



Εικόνα 13 Υπερχειλιστής στο κέντρο. Φράγμα Λίμνης Πλαστήρα

2.7 ΕΚΚΕΝΩΤΗΣ ΠΥΘΜΕΝΑ

Σκοπός του εκκενωτή πυθμένα είναι να παροχετεύει το νερό προς τα κατόντη των φραγμάτων όταν βρίσκεται σε στάθμη χαμηλότερη από τη στάθμη λειτουργίας παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος ανεξάρτητα από τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών

μονάδων. Ο εκκενωτής χρησιμοποιείται όταν είναι ανάγκη να αδειάσει ο ταμιευτήρας ή όταν είναι απαραίτητη η εκτέλεση έργων μέσα σε αυτόν. Τις περισσότερες φορές ο εκκενωτής χρησιμοποιείται για να διατηρήσει σταθερή την παροχή στα κατάντη και σπανιότερα για να αδειάζει πολύ γρήγορα ο ταμιευτήρας.

Ο εκκενωτής βρίσκεται στο πιο χαμηλό σημείο του ταμιευτήρα και δουλεύει πάντα υπό πίεση. Αποτελείται από το στόμιο εισόδου, τον αγωγό, τις θυρίδες και δικλείδες και το έργο εξόδου. Η διαμόρφωση του στομίου εισόδου είναι τέτοια ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία πολλών στροβιλισμών όταν το νερό εισέρχεται στον αγωγό.



Εικόνα 14 Έξοδος εκκενωτή πυθμένα

2.8 ΥΔΡΟΛΗΨΙΑ

Σκοπός της υδροληψίας στα υδροηλεκτρικά έργα είναι η ρύθμιση της ποσότητας και της παροχής του ύδατος που φεύγει από τον ταμιευτήρα και πηγαίνει στους αγωγούς και στις σήραγγες προσαγωγής των μονάδων παραγωγής των σταθμών. Η υδροληψία αποτελεί ένα από τα βασικότερα μέρη των σταθμών καθώς είναι υπεύθυνη για τη ρύθμιση της διοχέτευσης προς το σταθμό παραγωγής με τη χρήση θυρίδων και

υδροφρακτών. Στη υδροληψία θα πρέπει να υπάρχουν εσχάρες για τη συγκράτηση των υλικών που φέρνει η ροή και την αποτροπή εισόδου τους στο σταθμό παραγωγής. Σε περίπτωση που ο αριθμός των φερτών υλικών είναι μεγάλος τότε είναι αναγκαία η ύπαρξη ειδικού μηχανικού συστήματος καθαρισμού των εσχάρων.

2.9 ΑΓΩΓΟΙ ΠΡΟΣΑΓΩΓΗΣ

Σκοπός των αγωγών προσαγωγής ή αλλιώς των αγωγών πτώσεως είναι να οδηγήσουν το νερό από την υδροληψία στο σταθμό παραγωγής. Το πλήθος των αγωγών, το μέγεθός τους και η διάμετρός τους εξαρτάται εξ' ολοκλήρου από τις μονάδες παραγωγής. Για να διασφαλιστεί η ελαχιστοποίηση των τριβών και των απωλειών της δυναμικής ενέργειας του νερού θα πρέπει να ακολουθούν κατά το μέγιστο βαθμό διαδρομές μέγιστης κλίσης. Είναι πάντα υπό πίεση και εξαιτίας των δυνάμεων που δέχονται και των κλίσεων θα πρέπει να είναι στερεωμένοι γερά ώστε να αποφεύγονται οι κραδασμοί αλλά και ο κίνδυνος σύνθλιψής τους. Οι αγωγοί μπορεί να είναι διακριτοί πάνω από το φράγμα δηλαδή να είναι επιφανειακοί ή να βρίσκονται στο εσωτερικό του φράγματος και να ακολουθούν τις διαδρομές εντός του.



Εικόνα 15 Εξωτερικοί αγωγοί προσαγωγής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

Οι υδροστρόβιλοι είναι μηχανές μετατροπής της μηχανικής ενέργειας του νερού σε ενέργεια περιστροφής ενός άξονα. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, το υγρό που διακινείται είναι το νερό και η ενέργεια που διαθέτει είναι η δυναμική. Η έκφραση της δυναμικής ενέργειας είναι η στάθμη του νερού ως προς τη στάθμη της θάλασσας.

Ανάλογα με το βαθμό αντίδρασης μπορούμε να διακρίνουμε τους υδροστρόβιλους σε δυο βασικές κατηγορίες:

- ◆ Στους υδροστρόβιλους δράσεως
- ◆ Στους υδροστρόβιλους αντιδράσεως

Οι υδροστρόβιλοι δράσεως, των οποίων ο βαθμός αντίδρασης ισούται με μηδέν, είναι μερικής προσβολής και σε καθ'ολη τη διάρκεια της διαδικασίας της ενεργειακής μετατροπής συμμετέχει μόνο ένα τμήμα της πτερωτής. Ο υδροστρόβιλος τύπου Pelton είναι αυτός που έχει επικρατήσει από τους υδροστρόβιλους δράσεως. Ο υδροστρόβιλος Pelton οφείλει το όνομα του στον εφευρέτη του τον Αμερικανό L. A. Pelton. Οι υδροστρόβιλοι αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για πτώσεις από μεγάλη ύψη και η απόδοσή τους φτάνει το 90%



Εικόνα 16 Υδροστρόβιλος τύπου Pelton

Οι υδροστρόβιλοι αντιδράσεως είναι ολικής προσβολής και στη διαδικασία της ενεργειακής μετατροπής έχουμε τη συμμετοχή ολόκληρης της περωτής. Οι επικρατέστεροι τύποι αυτού του είδους που χρησιμοποιούνται είναι ο τύπος Francis και ο τύπος Deriaz που είναι διαγώνιας ροής.



Εικόνα 17 Υδροστρόβιλος τύπου Francis

Ο υδροστρόβιλος τύπου Francis χρησιμοποιείται για μεσαίες τιμές της υδραυλικής πτώσης που κυμαίνονται μεταξύ 15 και 150 m. Επιπλέον, χρησιμοποιείται και μια σειρά διαμορφώσεων υδροστροβίλων αξονικής ροής για μικρές τιμές υδραυλικής πτώσης $H < 15$ m όπως ο βολβοειδής, ο δακτυλίου, ο σωληνωτός, ο Kaplan κ.α



Εικόνα 18 Υδροστροβίλος τύπου Kaplan

Ανάλογα με τη διαθέσιμη υδραυλική πτώση έχουμε της εξής διαφοροποίηση:

- ◆ Ακτινικής και μεικτής ροής όπως ο τύπος Francis που είναι κατάλληλοι για την αξιοποίηση μεσαίων υδραυλικών πτώσεων $H= 15- 150$ m και
- ◆ Αξονικής ροής όπως ο τύπος Kaplan που είναι κατάλληλοι για μικρές τιμές της υδραυλικής πτώσεως $H < 15$ m.

Όσον αφορά την κατασκευή τους, χωρίς την ύπαρξη κάποιας σημαντικής επίπτωσης σε κάποια χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους μπορούμε να διακρίνουμε τους υδροστροβίλους σε:

- ◆ Υδροστροβίλους οριζοντίου άξονα
- ◆ Υδροστροβίλους κατακόρυφου άξονα

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΔΡΑΣΕΩΣ

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει οι υδροστροβίλοι δράσεως είναι μερικής προσβολής και συμβάλλουν στη μετατροπή της διαθέσιμης ενέργειας, εξαιτίας της πίεσης, σε κινητική πριν την πρόσπτωση του νερού στα σκαφίδια του δρομέα έτσι ώστε να μην μεταβληθεί η στατική πίεση που ασκείται στο δρομέα.

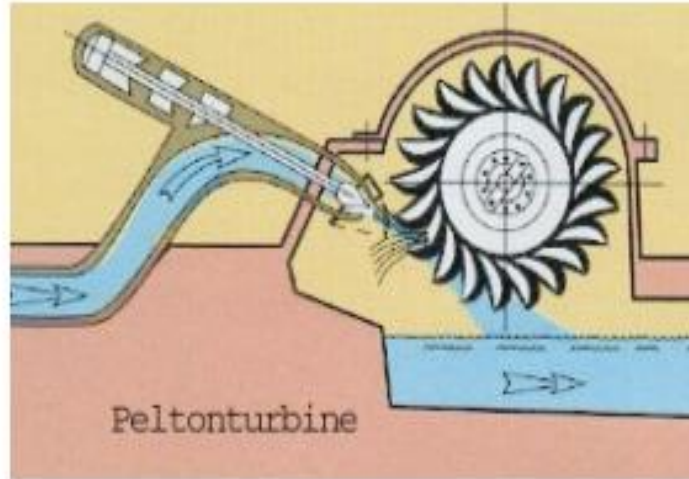
Όταν μιλάμε για υψηλές τιμές ενέργειας ανά μονάδα μάζας του ρευστού συνδυαστικά με μικρές σχετικά παροχές τότε για λόγους οικονομικούς και τεχνικούς είναι προτιμότερη η διαμόρφωση τέτοιων στροβίλων. Οι βασικοί λόγοι για τους οποίους θα

πρέπει να προτιμάται η διαμόρφωση στροβίλων μερικής προσβολής σε περιπτώσεις μεγάλων τιμών ενέργειας ρευστού ανά μονάδα μάζας είναι οι εξής:

- ◆ Η πολύ υψηλή ταχύτητα της ροής συνδυαστικά με τις μικρές παροχές και άρα τις μικρές παροχές οδηγεί στο να αυξάνονται υπερβολικά οι απώλειες εξαιτίας της τριβής στο εσωτερικό της μηχανής και επομένως μειώνεται ο βαθμός απόδοσης.
- ◆ Η πολύ υψηλή τιμή της στατικής πίεσης έχει ως αποτέλεσμα να είναι προβληματική η αντοχή του τμήματος της εισόδου όταν αυτό έχει μορφή σπειροειδούς κελύφους, που είναι και το πιο ογκώδες τμήμα της μηχανής. Όταν μιλάμε για τον υδροστρόβιλο Francis, την υψηλή τιμή της στατικής πίεσης τη δέχεται μόνο το τμήμα του ακροφυσίου τροφοδοσίας που το μέγεθός του είναι μικρό.
- ◆ Αν ο υδροστρόβιλος ήταν ολικής προσβολής τότε η μεγάλη διαφορά της στατικής πίεσης στο δρομέα θα οδηγούσε σε μεγάλη αύξηση των ογκομετρικών απωλειών στο εσωτερικό της μηχανής.

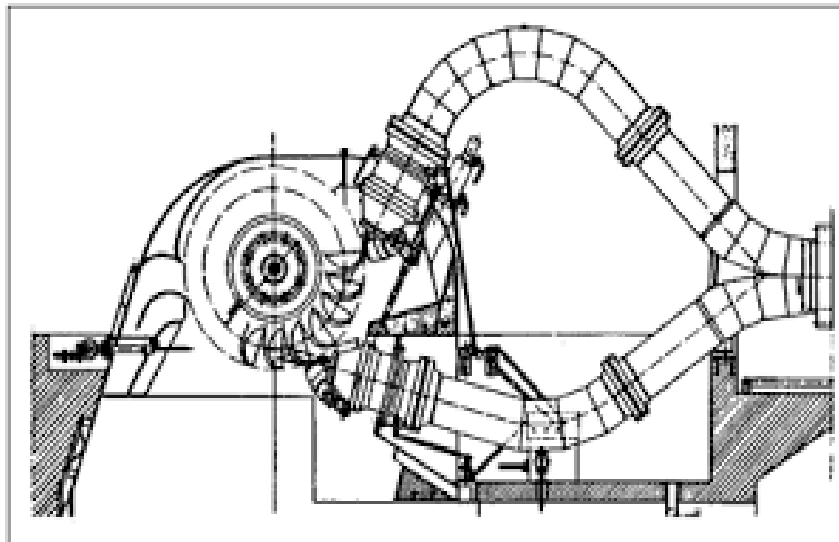
3.1.1 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ PELTON

Η κατασκευή των υδροστροβίλων Pelton γίνεται τόσο για πολύ μικρές τιμές ισχύος όσο και για πολύ μεγάλες. Το τμήμα της εισόδου τους έχει ένα ή και παραπάνω ακροφύσια τροφοδοσίας, τα οποία μετατρέπουν τη δυναμική ενέργεια σε μηχανική με το σχηματισμό μιας δέσμης κυκλικής διατομής. Η πρόσπτωση κάθε δέσμης στο δρομέα, του δίνει ώθηση προς την περιφερειακή κατεύθυνση που δημιουργεί την κινητήρια ροπή. Η τοποθέτηση του δρομέα γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η δέσμη του νερού, αφού έχει πέσει σε αυτόν, να πέφτει λόγω της βαρύτητας στην ελεύθερη επιφάνεια της διώρυγας φυγής.

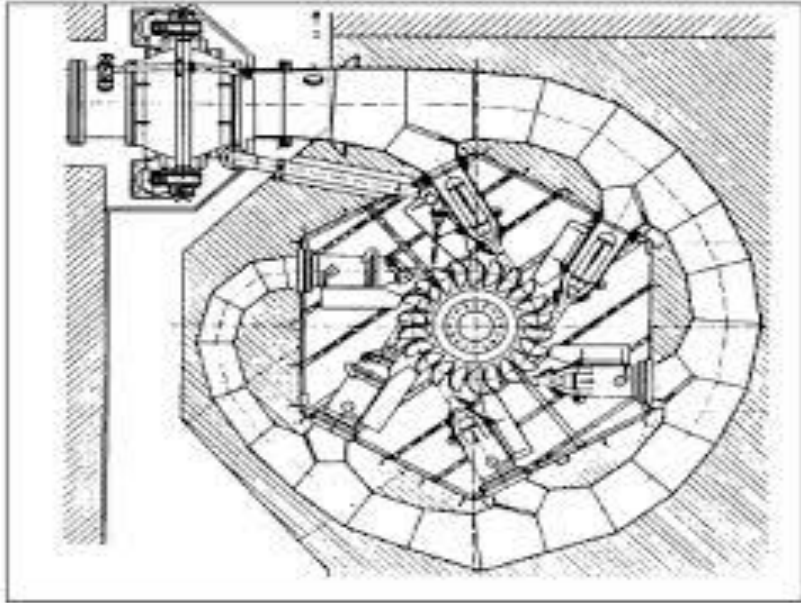


Εικόνα 19 Σχηματική απεικόνιση στροβίλου Pelton

Ο άξονας του δρομέα έχει είτε κατακόρυφη είτε οριζόντια διάταξη. Όταν ο άξονας είναι κατακόρυφος τότε το βάρος του στροφείου της γεννήτριας και της ίδιας της γεννήτριας το δέχεται το ωστικό έδρανο. Όταν μιλάμε για υδροστρόβιλο Pelton με περισσότερες δέσμες τότε η καλύτερη διάταξη του άξονα είναι η κατακόρυφη έτσι ώστε να μην βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο όλα τα ακροφύσια και να μην υπάρχει παρεμπόδιση της λειτουργίας τους από τα απόνερα των σκαφιδίων.



Εικόνα 20 Διάταξη υδροστροβίλου Pelton οριζόντιου άξονα με δυο δέσμες



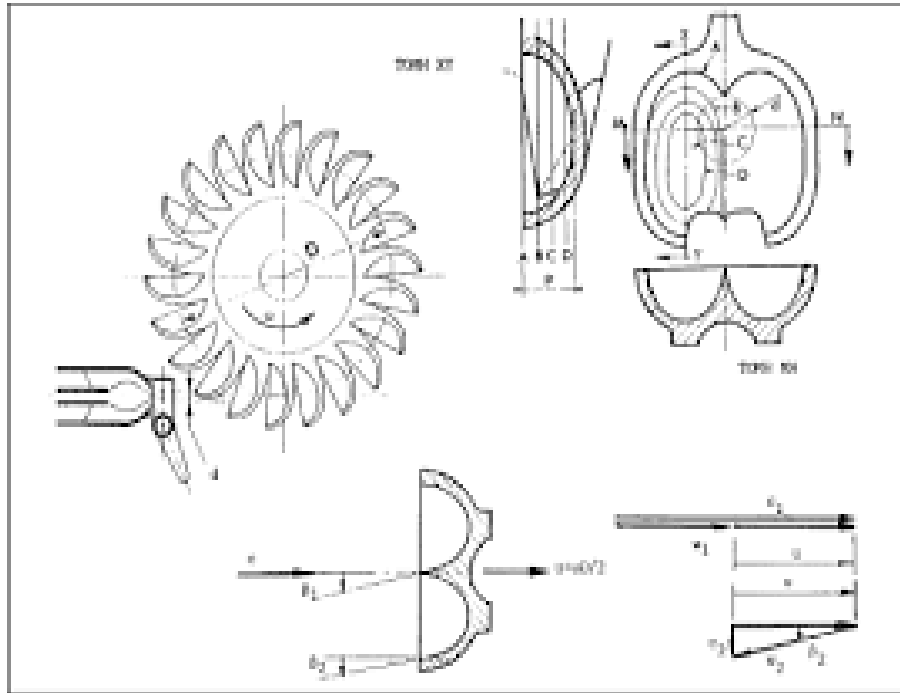
Εικόνα 21 Διάταξη υδροστροβίλου Pelton κατακόρυφου άξονα με 6 δέσμες

Τα βασικά μέρη ενός υδροστροβίλου Pelton είναι τα εξής:

- Ο μηχανισμός ελέγχου παροχής ο οποίος αποτελείται από δυο ξεχωριστούς μηχανισμούς. Σκοπός του μηχανισμού είναι να ελέγχει την εισερχόμενη παροχή στο δρομέα. Ο ένας μηχανισμούς περιλαμβάνει μια βελόνη ευρισκόμενη στο άκρο ενός μεταλλικού εμβόλου και έχει τη δυνατότητα ολίσθησης εντός ενός ακροφυσίου. Το τμήμα εισόδου ξεκινάει από μια σφαιρική βάνα που βρίσκεται στην αρχή του αγωγού προσαγωγής και τελειώνει στα ακροφύσια τροφοδοσίας. Η παροχή ρυθμίζεται με τη βελόνη η οποία μέσω ενός υδραυλικού συστήματος μετακινείται κατά τον άξονα του ακροφυσίου. Όταν μετακινείται η βελόνη τότε έχουμε μεταβολή της διατομής διελεύσεως της παροχής, της διαμέτρου της δέσμης και επομένως και της παροχής. Η στιβαρότητα της κατασκευής των ακροφυσίων οφείλεται στις υψηλές τιμές της στατικής πίεσης και των μεγάλων ταχυτήτων που αναπτύσσονται στη διατομή εξόδου αυτών. Για τις περιπτώσεις που πρέπει να απορριφθεί γρήγορα το φορτίο υπάρχει ο δεύτερος μηχανισμός ελέγχου παροχής που είναι ο όνυχας εκτροπής της δέσμης. Ο όνυχας βρίσκεται αμέσως μετά της διατομή εξόδου των ακροφυσίων. Στόχος του όνυχα είναι η εκτροπή της δέσμης που πλέον δεν προσπίπτει στο δρομέα και υπάρχει μείωση της παροχής της με το κλείσιμο της βελόνης με τέτοιο ρυθμό ώστε η υπερ-πίεση

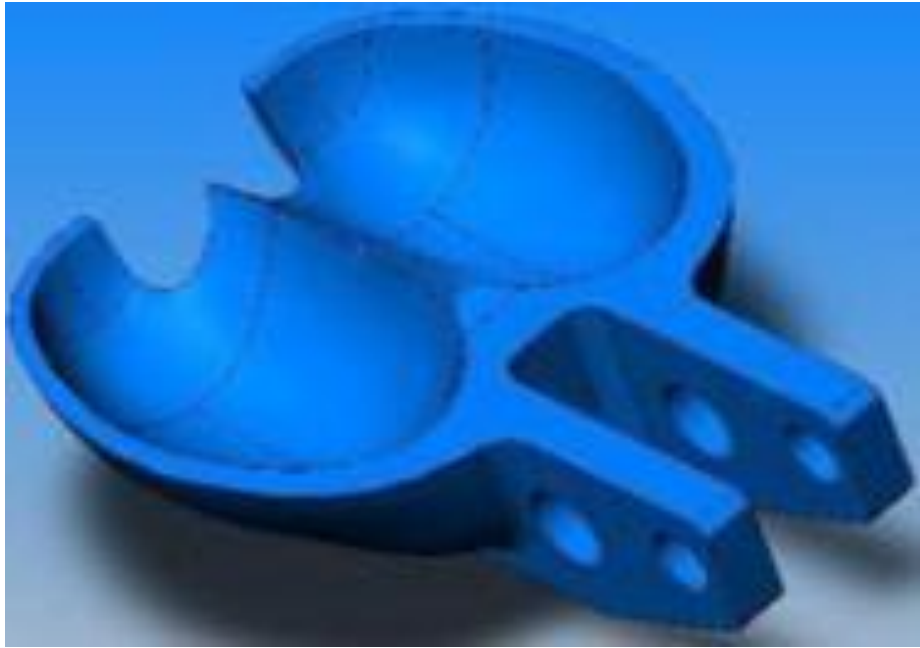
που δημιουργείται εξαιτίας του φαινομένου του υδραυλικού πλήγματος να μην έχει τιμές που να ξεπερνούν τα επιτρεπόμενα όρια.

- Ο δρομέας και τα σκαφίδια. Ο δρομέας Pelton είναι ένας κυκλικός δίσκος στην περιφέρεια του οποίου είναι τοποθετημένα με συμμετρικό τρόπο σκαφίδια.



Εικόνα 22 Δρομέας και σκαφίδια Pelton

Η κατασκευή του δρομέα μπορεί να είναι ολόσωμη ή ξεχωριστή. Μπορούν δηλαδή τα σκαφίδια να είναι ανεξάρτητα και να γίνεται η προσαρμογή τους στο δρομέα μέσω της κοχλίωσης και της κωνικής ασφάλειας. Τα σκαφίδια κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα για να αντέχουν τις πολύ ισχυρές δυνάμεις που δέχονται και να αντιστέκονται στη διάβρωση εξαιτίας της ροής. Όταν ο δρομέας είναι ολόσωμος τότε όλη η κατασκευή είναι από ανοξείδωτο χάλυβα. Το πλήθος και οι διαστάσεις των σκαφιδίων ορίζουν τρόπο τινά τη διάμετρο του δρομέα. Ο αριθμός των σκαφιδίων κυμαίνεται από 20 ως 22. Ένα σκαφίδιο έχει δυο ημικυκλικά κύπελλα, ο διαχωρισμός των οποίων γίνεται από ένα μεταλλικό διαχωριστικό που ονομάζεται splitter.



Εικόνα 23 Σκαφίδιο

Η πρόσκρουση της δέσμης του νερού γίνεται στο διαχωριστικό και στη συνέχεια μοιράζεται στα δυο κύπελλα, των οποίων η κατασκευή είναι τέτοια ώστε η έξοδος των δεσμών του νερού από αυτά να γίνεται με τη όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μεταβολή της κατεύθυνσή τους, η οποία είναι 165° . Οι υπόλοιπες 15° αποτρέπουν την πρόσκρουση των εξερχόμενων δεσμών στην πίσω επιφάνεια του σκαφιδίου που εξέρχεται. Τα διπλά κύπελλα χρησιμοποιούνται για την εξισορρόπηση των δυνάμεων που αναπτύσσονται σε αυτά. Για να αναπτυχθούν μεγαλύτερες ταχύτητες και άρα και ισχύ μπορεί να υπάρχει μεγαλύτερος αριθμός δεσμών που θα προσπίπτουν στον δρομέα.

- Το περίβλημα. Παρόλο που το περίβλημα δεν συμμετέχει στην υδραυλική μηχανική συμπεριφορά του νερού ωστόσο συμβάλλει στο να μην χύνεται το νερό στον περιβάλλοντα χώρο, προσφέρει προστασία από ενδεχόμενα ατυχήματα και περιορίζει την κατεύθυνση του νερού προς τη διώρυγα φυγής.
- Υδραυλικό φρένο. Όταν ο υδροστρόβιλος Pelton σταματάει τη παραγωγή ισχύος, τότε κλείνει η βαλβίδα εισόδου και δεν υπάρχουν πλέον δέσμες νερού αλλά καθώς ο δρομέας διατηρεί για κάποιο διάστημα την ταχύτητα του, το υδραυλικό φρένο τον βοηθάει ώστε να σταματήσει την περιστροφή του σε μικρό χρονικό διάστημα. Το φρένο αυτό είναι μια δέσμη νερού εξερχόμενη από ένα μικρό ακροφύσιο η οποία προσκρούει στην πίσω επιφάνεια των σκαφιδίων με αποτέλεσμα την επιβράδυνση της περιστροφικής τους κίνησης.

- Ο αυτόματος έλεγχος του υδροστροβίλου Pelton. Για να λειτουργήσει ένας υδροηλεκτρικός σταθμός είναι απαραίτητη η έναρξη ή παύση της λειτουργίας και ο έλεγχος της μεταβολής της ισχύος ανάλογα το φορτίο, την παροχή και το ύψος της πτώσης. Η πραγματοποίηση αυτών των λειτουργιών γίνεται μέσω ενός συστήματος ελέγχου ο οποίος φροντίζει να λειτουργεί σωστά η μηχανή κάτω από κάθε φορτίο. Η επίτευξη του παραπάνω ελέγχου γίνεται με το να διατηρείται σταθερή η περιστροφική ταχύτητα του δρομέα της μηχανής και η τιμή αυτής της ταχύτητας να ισούται με τη σχεδιαστική ταχύτητα. Επιπλέον, στον έλεγχο περιλαμβάνεται η άριστη κατανομή του φορτίου στις μηχανές που βρίσκονται σε λειτουργία και επιτρέπει να σταματάει άμεσα η λειτουργία μιας μηχανής σε περίπτωση που υπερθερμανθούν τα στροφέα ή αν είναι ελαττωματική η λειτουργία του συστήματος λίπανσης της μηχανής. Όταν μειώνεται το φορτίο της γεννήτριας αυξάνεται η ταχύτητα του δρομέα και άρα ο αυτόματος έλεγχος θα πρέπει να μειώσει τη ταχύτητα της περιστροφής. Για να το επιτύχει θα πρέπει να μειώσει την εισερχόμενη παροχή στη μονάδα. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν αυξάνεται το φορτίο έχουμε μείωση της ταχύτητας του δρομέα και ο μηχανισμός αυτόματου ελέγχου πρέπει να αυξήσει την παροχή που εισέρχεται στη μονάδα.

Έχουμε δύο σχηματισμούς υδροστροβίλου Pelton: τους υδροστροβίλους με οριζόντια άτρακτο και τους υδροστροβίλους με κατακόρυφη άτρακτο. Οι υδροστροβίλοι με την οριζόντια άτρακτο έχουν 2 δρομείς ευρισκόμενοι στις δυο πλευρές της γεννήτριας. Σε αυτή την διάταξη ο μεγαλύτερος αριθμός δεσμών εκροής ανά δρομέα είναι 2. Η χρήση των υδροστροβίλων με κατακόρυφη άτρακτο πραγματοποιείται για λόγους οικονομίας χώρου και μεγάλης ισχύς πτώσεως. Με την αύξηση των δεσμών εκροής νερού είναι εφικτή η αύξηση της ταχύτητας του δρομέα. Στη συγκεκριμένη διάταξη ο αριθμός δεσμών εκροής ανά δρομέα είναι 6.

3.1.2 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ TURGO

Ο υδροστροβίλος Turgo έχει σχεδιαστεί για υδατοπτώσεις μεσαίου ύψους και η απόδοσή του φτάνει το 87% αν και σε δοκιμές σε εργοστάσια η απόδοση του ξεπερνάει το 90%. Ο υδροστροβίλος Turgo αναπτύχθηκε το 1919 από τον Gilkes και συγκριτικά

με τους υδροστροβίλους τύπου Francis και Pelton σε κάποιες εφαρμογές έχει ορισμένα πλεονεκτήματα:

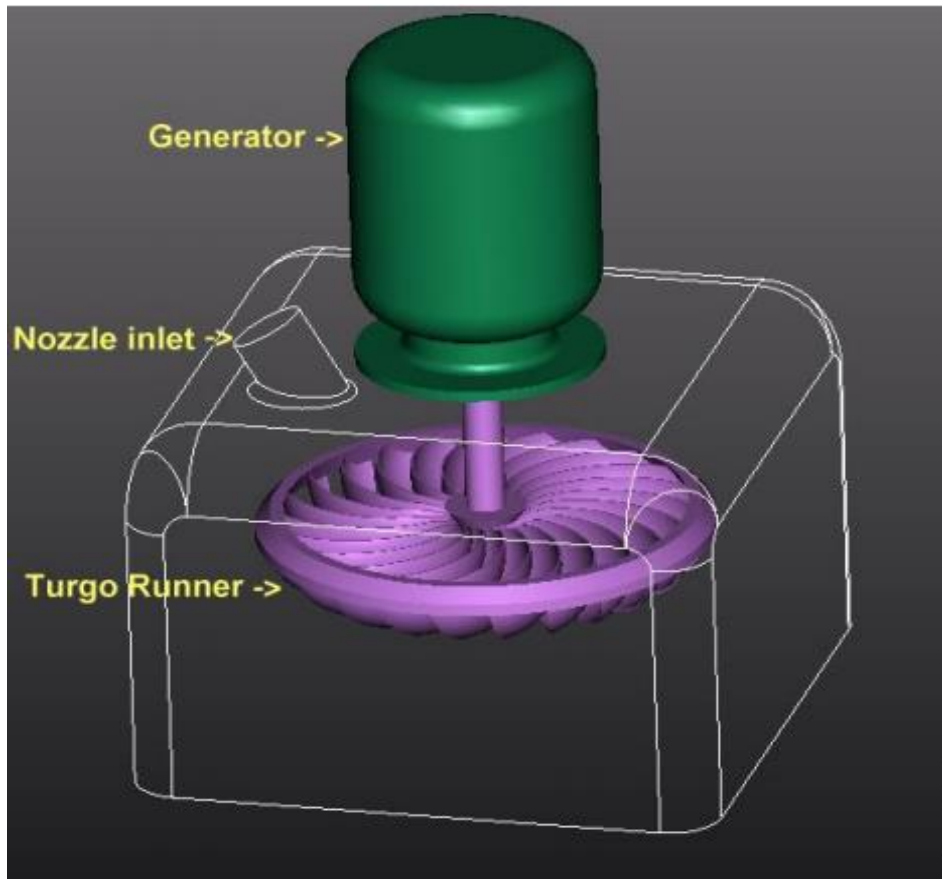
- Μικρότερο κόστος κατασκευής του δρομέα από αυτόν του Pelton.
- Σε αντίθεση με τον Francis δεν χρειάζεται αεροστεγές προστατευτικό κάλυμμα.
- Η ειδική του ταχύτητα είναι υψηλότερο και επομένως είναι σε θέση να χειριστεί μεγαλύτερες ροές από ότι ένας υδροστροβίλος Pelton με την ίδια διάμετρο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του κόστους των γεννητριών και των εγκαταστάσεων.

Ένα μειονέκτημα των υδροστροβίλων Turgo είναι πως τα σκαφίδια των δρομέων τους δεν είναι τόσο στιβαρά όσο είναι εκείνα των υδροστροβίλων Pelton. Οι υδροστροβίλοι Turgo χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρά υδροηλεκτρικά έργα όπου είναι σημαντική η μείωση του κόστους χωρίς αυτό να σημαίνει πως δεν χρησιμοποιούνται και σε μεγαλύτερα υδροηλεκτρικά έργα.

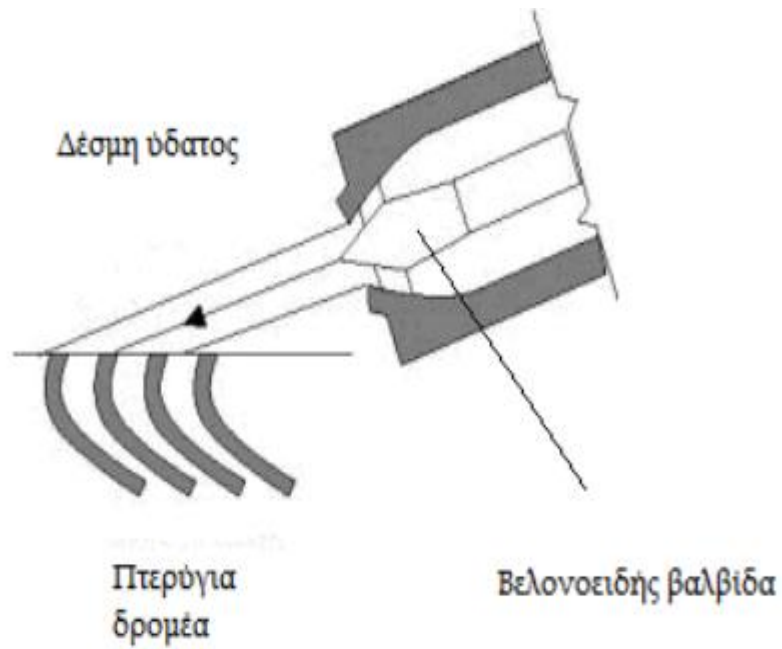
Καθώς ο Turgo είναι υδροστροβίλος τύπου δράσης, η πίεση του νερού δεν αλλάζει όταν αυτό κινείται μέσω των λεπίδων του στροβίλου και έχουμε τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε κινητική με ένα ακροφύσιο. Ο πίδακας του νερού που εισέρχεται με μεγάλη ταχύτητα προσκρούει διαγώνια στη μια πλευρά του δρομέα με κλίση περίπου 20° και εξέρχεται από την άλλη. Η ώθηση που προκύπτει κάνει το δρομέα του υδροστροβίλου να περιστραφεί μεταδίδοντας την ενέργεια στον άξονα του.

Ο δρομέας του υδροστροβίλου Turgo είναι παρόμοιος με τον δρομέα ενός υδροστροβίλου Pelton, χωρισμένος στη μέση. Επομένως για την ίδια ισχύ, ο δρομέας Turgo με τη μισή διάμετρο από το δρομέα Pelton έχει τη διπλάσια ειδική ταχύτητα. Ο υδροστροβίλος Turgo έχει τη δυνατότητα χειρισμού μεγαλύτερων ροών νερού σε σχέση με τον Pelton καθώς δεν υπάρχει σύγκρουση του εξερχόμενου νερού με τα σκαφίδια. Η ειδική ταχύτητα του δρομέα του υδροστροβίλου Turgo βρίσκεται ανάμεσα των ειδικών ταχυτήτων των δρομέων των υδροστροβίλων Francis και του Pelton. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε μονά είτε διπλά ακροφύσια ενώ κάθε αύξηση του αριθμού των πτερυγίων οδηγεί σε αύξηση της ειδικής ταχύτητας του δρομέα.

Οι υδροστροβίλοι αυτοί είναι εφαπτομενικής ροής και μπορούν να βρουν εφαρμογή σε υδατοπτώσεις με ύψος που κυμαίνεται μεταξύ 30 και 300 μέτρα.



Εικόνα 24 Υδροστρόβιλος Turgo



Εικόνα 25 Ακροφύσιο υδροστρόβιλων Turgo

3.1.3 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ CROSS-FLOW

Ο υδροστρόβιλος Cross-flow ή Banki-Michell ή Ossberger δημιουργήθηκε από τον Αυστραλό Anthony Michell, τον Γερμανό Fritz Ossberger και τον Ούγγρο Donat Banki.

Σε αντίθεση με την πλειοψηφία των υδροστροβίλων που έχουν ακτινωτές ή αξονικές ροές, στους υδροστροβίλους Cross-flow το ύδωρ διέρχεται εγκάρσια στο δρομέα ή μέσω των λεπίδων του. Σε αυτή την περίπτωση, ο δρομέας έχει δυο ή παραπάνω παράλληλους δίσκους που η σύνδεση γίνεται με πτερύγια καμπύλης κατασκευής κοντά στο άκρο τους. Σε αυτή τη διάταξη, το νερό μπαίνει στον υδροστρόβιλο μέσω ενός ή παραπάνω οδηγητικών πτερυγίων που είναι τοποθετημένα σε μεταβατικό τμήμα στο πάνω μέρος του δρομέα. Στη συνέχεια το νερό προσκρούει στο πρώτο στάδιο του δρομέα, του οποίου η περιστροφή προκαλεί μια αντίδραση μικρού βαθμού και το νερό προσπαθεί να διασχίσει το κενό τμήμα του δρομέα όπου συναντά το δεύτερο στάδιο και εκεί έχουμε την επίτευξη της συμβιβαστικής ροής. Αυτό το φαινόμενο έχει ως αποτέλεσμα να εμφανίζονται σημαντικές απώλειες πρόσκρουσης.

Η μέγιστη απόδοση ενός υδροστροβίλου Cross-flow είναι μικρότερη από εκείνη των υδροστροβίλων Kaplan, Francis ή Pelton αλλά παρόλα αυτά η καμπύλη απόδοσης του υπό ποικίλο φορτίο είναι επίπεδη. Λαμβάνοντας υπόψη πως η τιμή ενός τέτοιου τύπου υδροστροβίλου είναι χαμηλή με καλές ρυθμίσεις, η χρήση του γίνεται κυρίως σε μίνι και μικρό υδροηλεκτρικούς σταθμούς κάτω από 2000 ενώ τα ύψη της υδατόπτωσης δεν ξεπερνούν τα 200 μέτρα.

Η κατασκευή ενός υδροστροβίλου Cross-flow είναι απλή γεγονός που κάνει τη συντήρησή τους πιο εύκολη συγκριτικά με τους άλλους τύπους υδροστροβίλων καθώς τα μόνα που χρειάζονται συντήρηση είναι δύο ρουλεμάν και ο αριθμός των στοιχείων που περιστρέφονται είναι μόνο τρία. Οι υδροστρόβιλοι Cross-flow μπορούν να καταταχθούν στους υδροστρόβιλους ακτινωτής ροής μερικής έγχυσης και η λειτουργία τους είναι εφικτή με παροχές νερού που κυμαίνονται μεταξύ 0,02 ως 10m³/sec.



Εικόνα 26 Δρομέας στροβίλου Cross-flow

3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΣ

Ο σχεδιασμός των υδροστροβίλων αντιδράσεως είναι τελείως διαφορετικός από εκείνον των υδροστροβίλων δράσεως. Σύμφωνα με αυτό τον σχεδιασμό, το ρεύμα του νερού διέρχεται από όλη την περιφέρεια του υδροστροβίλου και εξέρχεται αξονικά. Η ροή πραγματοποιείται διαμέσου της πτερωτής ενώ μεταβάλλεται παράλληλα η στατική πίεση και για αυτό το λόγο οι πτερωτές είναι ολικής προσβολής και άρα η λειτουργία τους είναι ομοιόμορφη κατά τη περιφερειακή κατεύθυνση. Έτσι, ο δρομέας λαμβάνει από το ρευστό μια ώθηση η οποία είναι σταθερή σε αντίθεση τους υδροστροβίλους δράσεως όπου οι κρούσεις πάνω στους κάδους του τροχού είναι διαδοχικές. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει οι κυριότεροι τύποι υδροστροβίλων αντιδράσεως είναι ο υδροστρόβιλος Francis που είναι ακτινικής και μεικτής ροής και ο υδροστρόβιλος Kaplan που είναι αξονικής ροής.



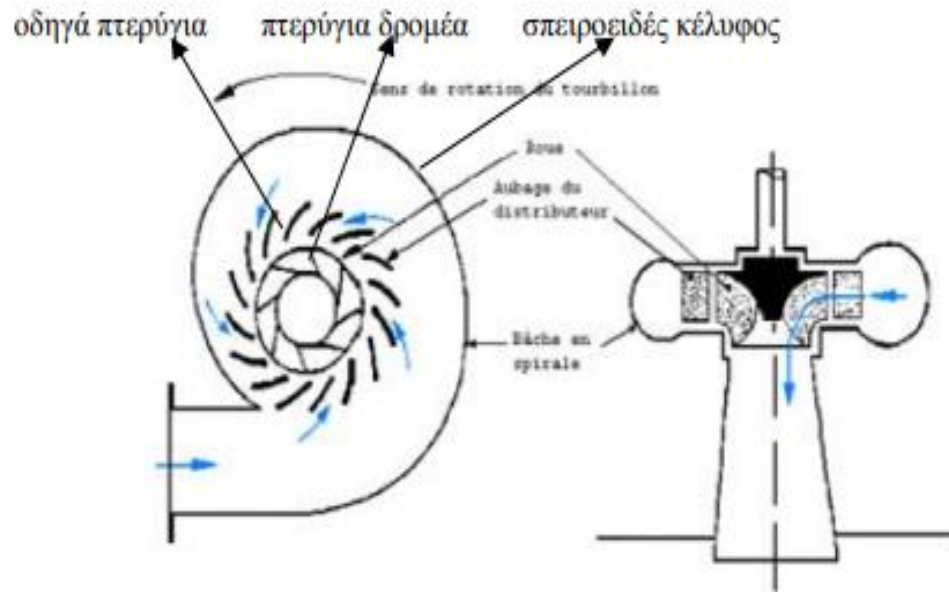
Εικόνα 27 Υδροστρόβιλος τύπου Francis(δεξιά) και υδροστρόβιλος τύπου Kaplan(αριστερά)

3.2.1 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ FRANCIS Ή ΜΕΙΚΤΗΣ ΡΟΗΣ

Το 1849, ο Αμερικάνος μηχανικός J. B. Francis ανέπτυξε για πρώτη φορά τον υδροστρόβιλο αυτού του τύπου η απόδοση της λειτουργίας του οποίου μπορεί να φτάσει και το 90%.

Τα βασικότερα μέρη ενός υδροστροβίλου Francis είναι:

- Το σπειροειδές κέλυφος. Για να υπάρξει ομοιόμορφη τροφοδοσία και λειτουργία καθώς το νερό εξέρχεται από τον αγωγό προσαγωγής εισέρχεται σε ένα σπειροειδές κέλυφος που περιβάλλει πλήρως τον δρομέα. Κατά μήκος της ροής μειώνεται η διατομή του σπειροειδούς κελύφους με στόχο τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας του νερού. Αυτό φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί.



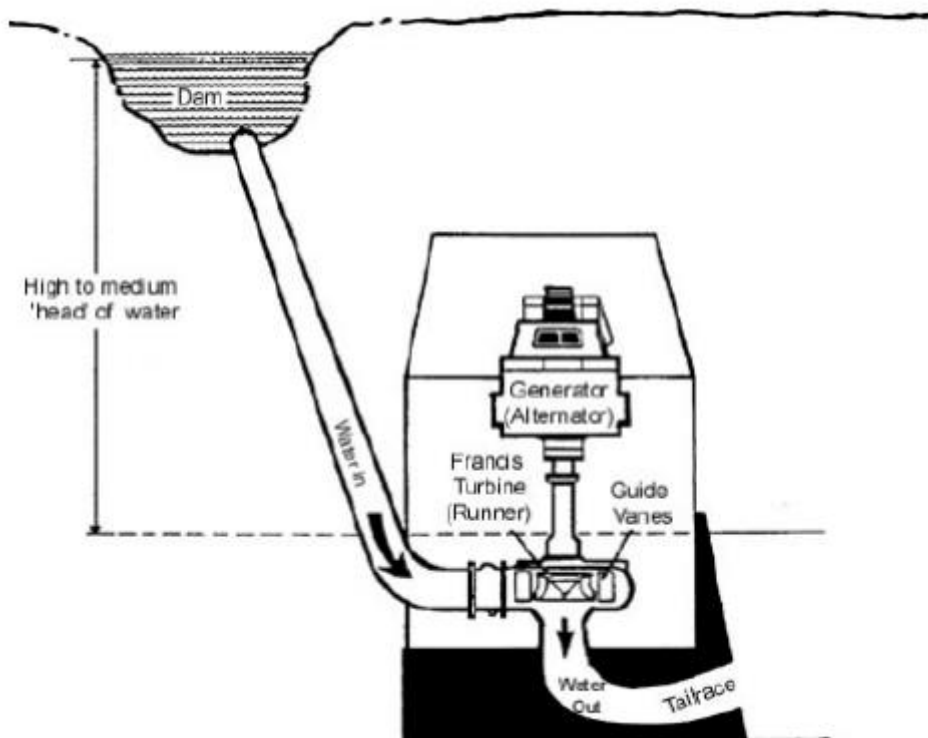
Εικόνα 28 Διατομή σπειροειδούς κελύφους υδροστροβίλου Francis

- Οδηγά πτερύγια. Όταν το νερό βρίσκεται μέσα στο σπειροειδές κέλυφος τότε θα πρέπει υποχρεωτικά να περάσει μέσα από τα ακίνητα πτερύγια που είναι προσαρμοσμένα στην περιφέρεια του δρομέα. Το κάθε πτερύγιο έχει τη δυνατότητα περιστροφής γύρω από τον άξονα του, σκοπός της οποίας είναι να ελέγχει την ισχύ που παρέχεται.
- Δρομέας. Ο δρομέας έχει μια σειρά από καμπυλωμένα πτερύγια που είναι κατανομημένα με συμμετρικό τρόπο και προσαρμοσμένα στην περιφέρεια ενώ εκτείνονται από την πλήμνη μέχρι τη στεφάνη όπου είναι πακτωμένα. Με αυτό τον τρόπο έχουμε αύξηση της μηχανικής στιβαρότητας της κατασκευής και της αντοχής στις δυνάμεις που αναπτύσσονται στα πτερύγια από τη ροή που διέρχεται σε αυτά. Η διαμόρφωση των πτερυγίων είναι τέτοια ώστε η είσοδος του νερού στο δρομέα να είναι ακτινική και στο ύψος της εξωτερικής περιφέρειας και η έξοδος από τον δρομέα να είναι αξονική και στο ύψος της εσωτερικής περιφέρειας. Ο στρεφόμενος δρομέας είναι το τμήμα εκείνο του υδροστροβίλου που μετατρέπει την ενέργεια του ρευστού σε μηχανική. Είναι δηλαδή το τμήμα στο οποίο γίνεται η ανάπτυξη της μηχανικής κινητήριας ροπής.



Εικόνα 29 Δρομέας τύπου Francis

- Αγωγός φυγής. Η έξοδος του νερού από το δρομέα έχει αξονική κατεύθυνση και η αποχώρηση του από τον υδροστρόβιλο γίνεται μέσω του αγωγού φυγής. Οι μορφές που μπορεί να έχει ο αγωγός φυγής είναι δύο. Μπορεί να έχει το σχήμα κώλουρου κώνου ή να έχει το σχήμα αγκώνα, που ξεκινάει από τον δρομέα με κυκλική διατομή και καταλήγει στην έξοδο με ορθογώνια διατομή.



Εικόνα 30 Υδροηλεκτρικό έργο με υδροστρόβιλο τύπου Francis

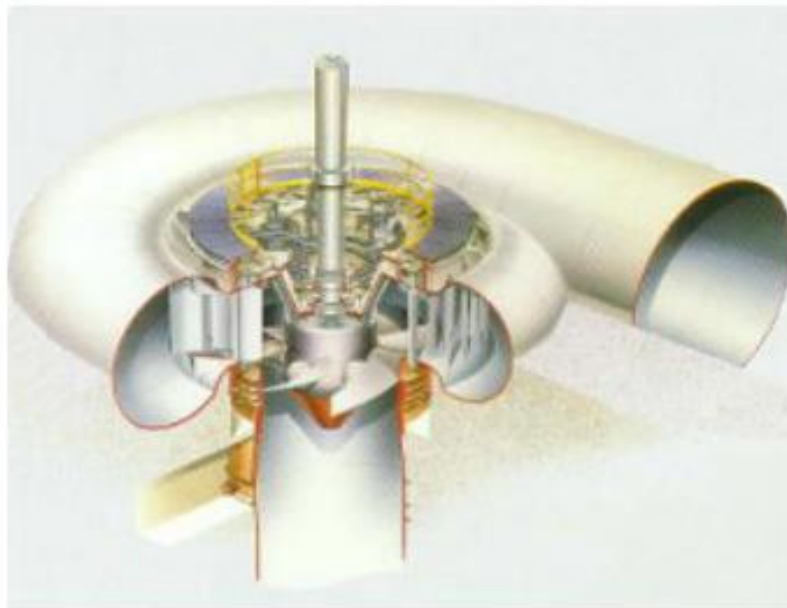
Οι περισσότεροι υδροστρόβιλοι τύπου Francis έχουν τοποθετημένη την άτρακτό τους κατακόρυφα. Η άτρακτος μπορεί να τοποθετηθεί και οριζόντια όταν τα υπόλοιπα μεγέθη είναι μικρά σε σχέση με την εγκατεστημένη ισχύ.

3.2.2 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΚΑΡΛΑΝ Ή ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

Ο Αυστρο-Ουγγαρός μηχανικός Viktor Karlan θεωρείται πως εφηύρε τον υδροστρόβιλο αυτού του τύπου του οποίου η λειτουργική απόδοση μπορεί να φτάσει το 90%.

Τα βασικά μέρη ενός υδροστρόβιλου Karlan είναι τα εξής:

- Το σπειροειδές κέλυφος
- Τα οδηγία πτερύγια
- Ο δρομέας
- Ο αγωγός φυγής

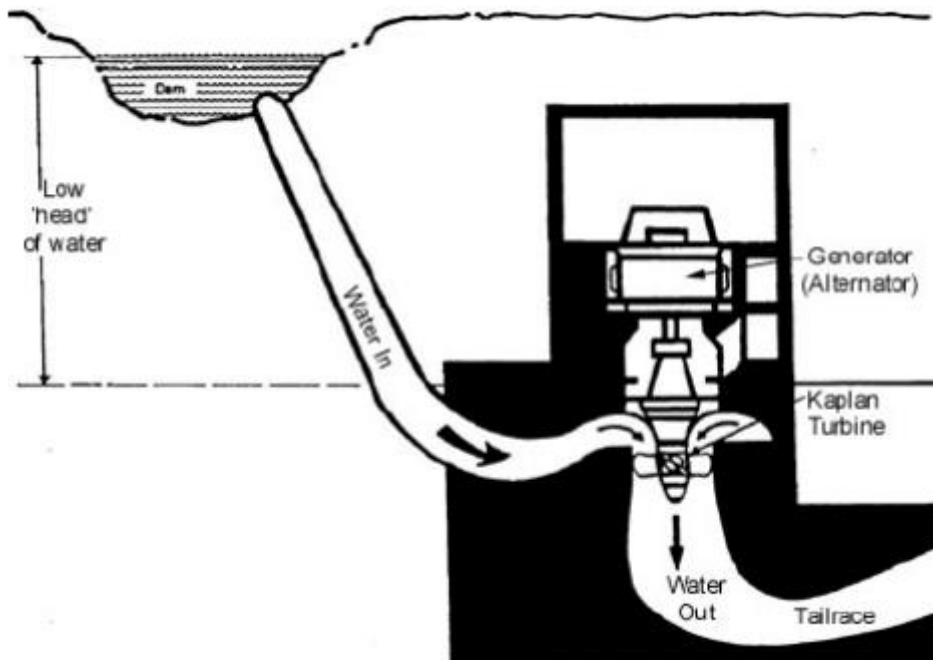


Εικόνα 31 Διατομή υδροστρόβιλου Karlan

Όλα τα βασικά μέρη αυτού του τύπου υδροστρόβιλου είναι ίδια με τα αντίστοιχα μέρη των υδροστρόβιλων μεικτής ροής των οποίων η περιγραφή έγινε προηγουμένως εκτός από τα πτερύγια και τη θέση τους πάνω στο δρομέα.

Διαφορές μεταξύ του δρομέα Kaplan και δρομέα Francis:

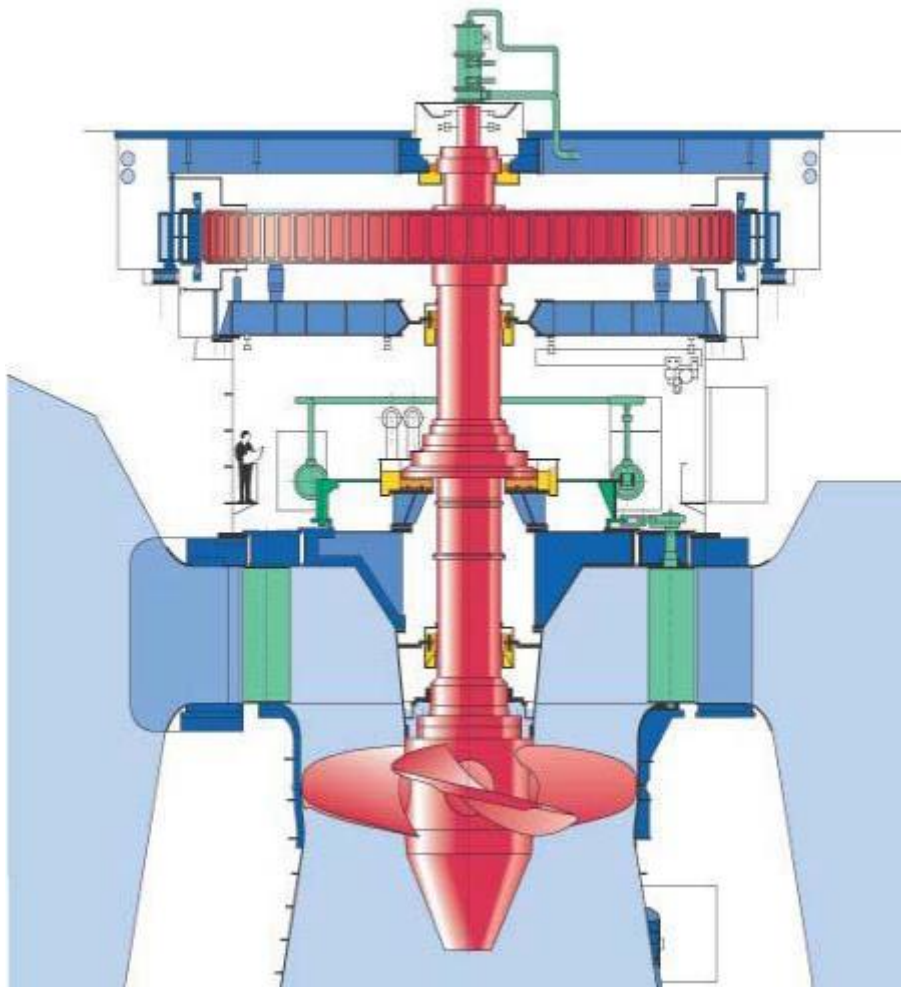
1. Ο δρομέας Kaplan μπορεί να έχει από 4 ως 10 πτερύγια τα οποία είναι τοποθετημένα συμμετρικά στην περιφέρεια της ατράκτου ενώ ο δρομέας Francis έχει από 16 ως 24 πτερύγια.
2. Τα πτερύγια του δρομέα Kaplan έχουν δυνατότητα μεταβολής της σχετικής τους γωνίας ως προς την κύρια ροή για τον έλεγχο της διατομής του χώρου ροής σε αντίθεση με τα πτερύγια του δρομέα Francis που παραμένουν ακίνητα.



Εικόνα 32 Υδροηλεκτρικό έργο με υδροστρόβιλο τύπου Kaplan

Τέλος, ο σκοπός του τμήματος εξόδου ή αγωγού απαγωγής είναι να επιβραδύνει το υγρό και να το οδηγήσει στην έξοδο. Θα πρέπει να σημειώσουμε πως ο αγωγός απαγωγής παίζει πολύ σημαντικό ρόλο τόσο στη λειτουργία όσο και στο βαθμό απόδοσης του υδροστρόβιλου.

Ο δρομέας και τα τμήματα εισόδου και εξόδου είναι τα τμήματα της μηχανής που έχουν ενεργό ρόλο στο να μετατραπεί η υδραυλική ενέργεια σε μηχανική. Φυσικά, εκτός από τα κύρια μέρη τα οποία ήδη αναφέραμε οι υδροστρόβιλοι έχουν και άλλα μέρη όπως είναι το εξωτερικό κέλυφος και οι στυπιοθλίπτες που εξασφαλίζουν τη στεγανότητα με το περιβάλλον, η άτρακτος, οι συμπλέκτες και τα έδρανα που εξασφαλίζουν τη μεταφορά της μηχανικής ισχύος κ.α.



Εικόνα 33 Υδροστρόβιλος Kaplan κάθετης τοποθέτησης.

3.3 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΤΥΠΟΥ ΒΟΛΒΟΥ

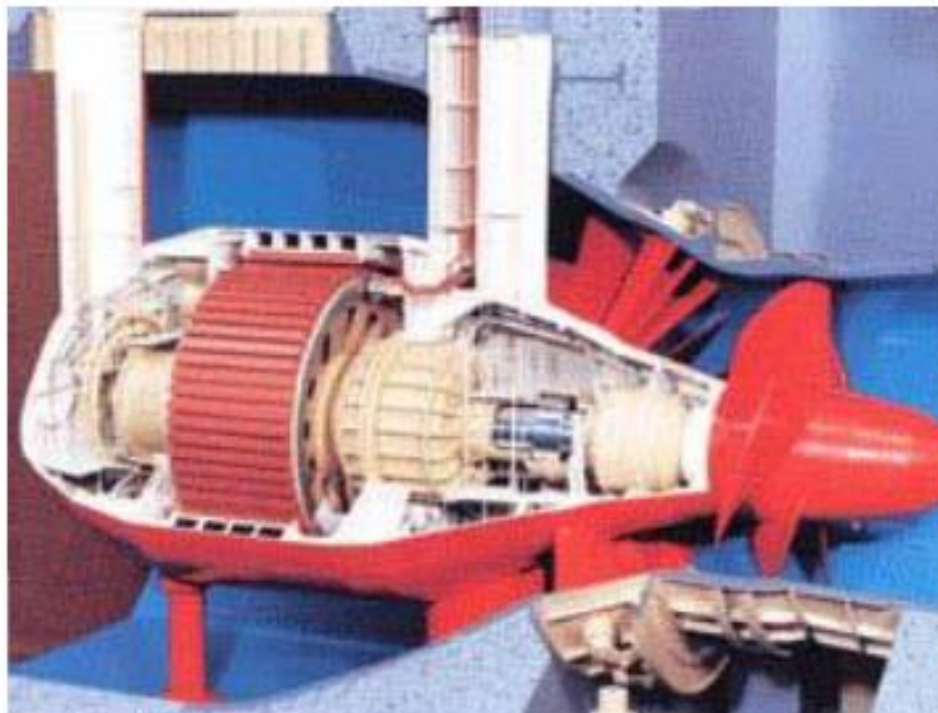
Ο δρομέας των υδροστρόβιλων τύπου βολβού δεν διαφέρει από εκείνο των υδροστρόβιλων Kaplan και η ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης διάταξης οφείλεται στο ότι η γεννήτρια και ο στρόβιλος περιβάλλονται από κοινό στεγανό κέλυφος που είναι βυθισμένο στο νερό. Η συγκεκριμένη διάταξη συνδυαστικά με τον πολλαπλασιαστή στροφών όταν δεν υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ του στρόβιλου και της γεννήτριας, ψύχεται με τη βοήθεια αέρα που βρίσκεται υπό πίεση ενώ η σύνδεση με την υπόλοιπη εγκατάσταση πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρικών καλωδίων.

Οι υδροστρόβιλοι τύπου βολβού συνιστώνται να χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που είναι χαμηλά τα ύψη υδατόπτωσης ενώ το γεγονός πως η εγκατάστασή τους είναι σχετικά απλή τους κάνει ιδιαίτερα ελκυστικούς σε περιπτώσεις υδροηλεκτρικών

σταθμών μικρού μεγέθους. Παρόλα αυτά, όταν επιλέγονται αυτού του είδους υδροστρόβιλοι θα πρέπει να πραγματοποιούνται και εκτεταμένα έργα πολιτικού μηχανικού έτσι ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί αυτή η εγκατάσταση. Επίσης, θα πρέπει να αναφέρουμε πως σε περίπτωση ειδικών βλαβών, η αποκατάστασή τους έχει αυξημένες απαιτήσεις.

3.3.1 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ STRAFLO

Οι υδροστρόβιλοι αυτού του τύπου είναι προπελωτοί αξονικής ροής που η γεννήτρια τους βρίσκεται εξωτερικά του καναλιού ύδατος και ο δρομέας του έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τον αντίστοιχο των υδροστροβίλων Kaplan. Οι υδροστρόβιλοι Straflo διαφοροποιούνται λόγω της θέσης του ρότορα της γεννήτριας, ο οποίος τοποθετείται περιφερειακά των πτερυγίων των δρομέων. Σε αυτές τις συγκεκριμένες διατάξεις αυτό που χαρακτηρίζει τη μηχανή που χρησιμοποιείται είναι η μεγαλύτερη μηχανική αδράνεια σε σχέση με τις αντίστοιχες των μονάδων τύπου βολβού και πρέπει τόσο ο δρομέας όσο και ο στάτης της να προστατεύεται με τη βοήθεια ενός ειδικού αδιάβροχου μέσου.



Εικόνα 34 Υδροστρόβιλος τύπου βολβού

3.3.2 ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ DERIAZ

Οι υδροστροβίλοι Deriaz είναι παρόμοιοι με τους υδροστροβίλους Kaplan με τη διαφορά πως διαθέτουν κεκλιμένες λεπίδες και επομένως είναι ιδανικότεροι να χρησιμοποιηθούν για μεγαλύτερα ύψη. Είναι κατάλληλοι να χρησιμοποιηθούν για ύψη υδατόπτωσης που κυμαίνονται μεταξύ των 20 και των 100 μέτρων. Οι στροβίλοι αυτοί κατατάσσονται στους στροβίλους αντίδρασης, διπλής ρύθμισης και μεικτής ροής. Εφευρέτης του υδροστροβίλου Deriaz ήταν ο Paul Deriaz στον οποίο οφείλουν και το όνομα τους ενώ ήταν ο πρώτος τύπος διαγωνίου υδροστροβίλου που δημιουργήθηκε.

Λόγω των ρυθμιζόμενων λεπίδων του δρομέα, η διάταξη Deriaz έχει και κάποια άλλα πλεονεκτήματα:

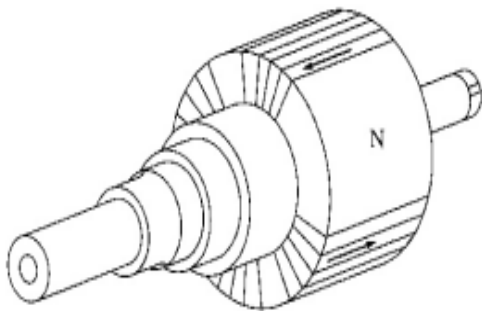
- Προσφέρει αποτελεσματική και ομαλή λειτουργία σε διάφορα ύψη υδατόπτωσης και διάφορα είδη φορτίων.
- Κατανέμει ομοιόμορφα την πίεση και το φορτίο εγκάρσια της λεπίδας.
- Προσφέρει ελευθερία από την ανάπτυξη της σπηλαιώσης.

Αρχικά, η χρήση αυτών των υδροστροβίλων περιοριζόταν στην άντληση και στην αποθήκευση του νερού αλλά στη συνέχεια επεκτάθηκε και χρησιμοποιούνται πλέον και στις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Η απόδοσή τους για ένα μεγάλο φάσμα εγκατεστημένης ισχύς είναι ικανοποιητική και ανάλογη εκείνης της συνήθους διάταξης των υδροστροβίλων Kaplan.

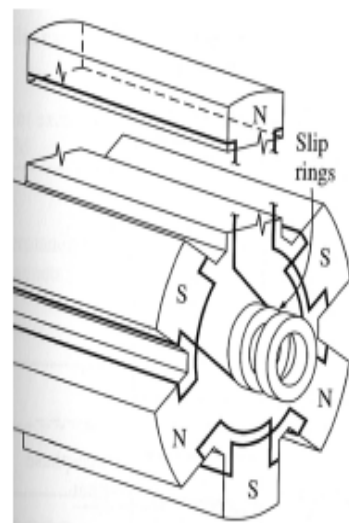
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΚΑΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Οι σύγχρονες γεννήτριες έχουν δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας από το δίκτυο όπως επίσης δυνατότητα παραγωγής ισχύος, με την προϋπόθεση πως η ισχύς διέγερσης είναι ανεξάρτητη του δικτύου. Για την λειτουργία της σύγχρονης γεννήτριας πρέπει ο δρομέας να τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα. Ταυτόχρονα με την περιστροφή του δρομέα, έχουμε και την περιστροφή του παραγόμενου μαγνητικού πεδίου, με αποτέλεσμα την επαγωγή τριφασικής τάσεως στο τύλιγμα του στάτη. Ο δρομέας μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες: στο δρομέα εκτύπων πόλων και στον κυλινδρικό δρομέα και κατασκευάζεται από δυναμολάσματα. Ο κυλινδρικός δρομέας έχει αυλακώσεις και εκεί γίνεται η τοποθέτηση των τυλιγμάτων και προτιμάται σε γεννήτριες που έχουν μέχρι τέσσερις πόλους. Σε περίπτωση που η γεννήτρια έχει περισσότερους πόλους τότε χρησιμοποιείται ο δρομέας εκτύπων πόλων.



Κυλινδρικός δρομέας



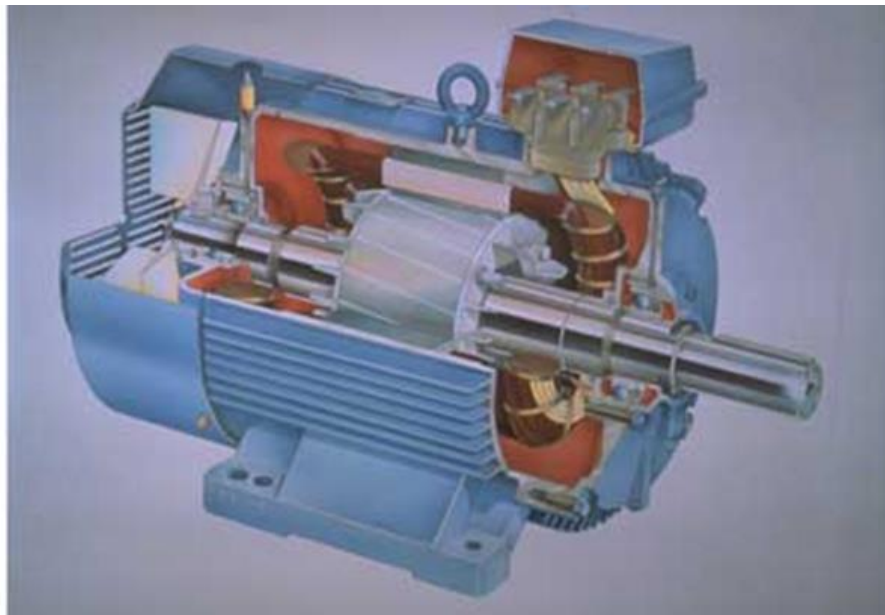
Δρομέας εκτύπων πόλων

Εικόνα 35 Κυλινδρικός δρομέας και δρομέας εκτύπων πόλων

Οι ασύγχρονες γεννήτριες είναι ουσιαστικά απλές γεννήτριες επαγωγής και έχουν ως ιδιαίτερο χαρακτηριστικό το πως ενώ δεν έχουν την δυνατότητα παραγωγής άεργης ισχύς ωστόσο την καταναλώνουν. Επομένως για να μπορέσει μια ασύγχρονη γεννήτρια

να λειτουργήσει ομαλά είναι απαραίτητη η ύπαρξη μιας εξωτερικής πηγής άεργης ισχύς η οποία να είναι μονίμως συνδεδεμένη. Η εξωτερική πηγή είναι απαραίτητη γιατί είναι αυτή που ρυθμίζει την τάση στην έξοδο της γεννήτριας ελλείψει ρεύματος διεγέρσεως.

Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί πως οι ασύγχρονες γεννήτριες παρουσιάζουν ένα ιδιαίτερο πρόβλημα που αφορά την τάση στα άκρα τους. Έχει παρατηρηθεί πως η τάση στα άκρα εξαρτάται άμεσα και σε μεγάλο βαθμό από το φορτίο και επομένως όταν ο επαγωγικός του χαρακτήρας είναι ισχυρός τότε ενδέχεται υπάρξει μεγάλη πτώση στην τάση της γεννήτριας. Γενικότερα, οι ασύγχρονες γεννήτριες επιδεινώνουν τον συντελεστή ισχύος ενός δικτύου και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες πτώσεις στην τάση.



Εικόνα 36 Ασύγχρονη γεννήτρια

4.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Για να λειτουργήσει μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, θα πρέπει να πληρούνται ορισμένες βασικές προϋποθέσεις:

- Ύπαρξη μαγνητικού πεδίου
- Ύπαρξη αγωγού εντός του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή ύπαρξη τυλίγματος στις μηχανές.

- Ύπαρξη κίνησης του αγωγού ως προς το μαγνητικό πεδίο ή του πεδίου προς τον αγωγό.

Όταν πληρούνται αυτές οι προϋποθέσεις τότε αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη στα άκρα του αγωγού. Η ηλεκτρεγερτική δύναμη προέρχεται από επαγωγή και είναι ανάλογη:

- 1) Της μαγνητικής επαγωγής (B) του ομογενούς μαγνητικού πεδίου (σε Tesla η $1T=1 \times (v \times s/m^2)$)
- 2) Του μήκος (l) του τμήματος του αγωγού όπου βρίσκεται υπό την επίδραση του μαγνητικού πεδίου (ενεργό μήκος σε m)
- 3) Της ταχύτητας ($u=2\pi \times R \times N$, όπου N :στρ/s) της μεταβολής της κίνησης του αγωγού (σε m/s)
- 4) Του ημίτονου της γωνίας (α) η οποία σχηματίζεται μεταξύ των κατευθύνσεων της κίνησης και του μαγνητικού πεδίου

$$E=B \times l \times U \times \eta\mu\alpha$$

Όπου:

$B \rightarrow$ μαγνητική επαγωγή

$l \rightarrow$ το μήκος σε m του αγωγού που είναι μέσα στο μαγνητικό πεδίο

$U \rightarrow$ ταχύτητα του αγωγού σε m/s

$\eta\mu\alpha \rightarrow$ γωνία α

4.2 ΕΙΔΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα της σύνδεσής τους με το τύλιγμα διέγερσης. Αυτές οι κατηγορίες είναι οι εξής:

- ✓ Γεννήτριες με διέγερση σειράς
- ✓ Γεννήτριες με παράλληλη διέγερση
- ✓ Γεννήτριες με σύνθετη διέγερση
- ✓ Γεννήτριες ξένης διέγερσης.

Γεννήτριες με διέγερση σειράς: Στις γεννήτριες με διέγερση σειράς, το τύλιγμα διέγερσης συνδέεται σε σειρά με το τύλιγμα του σπλισμού. Για αυτό τον λόγο, υπάρχει ταύτιση του ρεύματος διέγερσης του κυκλώματος με το φορτίο, το οποίο είναι πολύ

μεγαλύτερο συγκριτικά με το ρεύμα διέγερσης στην παράλληλη διέγερση. Για αυτό το λόγο το τύλιγμα οπλισμού έχει λίγες σπείρες και η διατομή του αγωγού είναι μεγάλη.

Γεννήτριες με παράλληλη διέγερση: στις γεννήτριες με παράλληλη διέγερση, το τύλιγμα διέγερσης συνδέεται στα άκρα της γεννήτριας και η τροφοδότηση γίνεται από την τάση εξόδου της μηχανής. Επομένως δεν υπάρχει ανάγκη ύπαρξης κάποιας εξωτερικής πηγής εφόσον η τροφοδότηση του κυκλώματος διέγερσης αλλά και του φορτίου γίνεται από το ρεύμα οπλισμού.

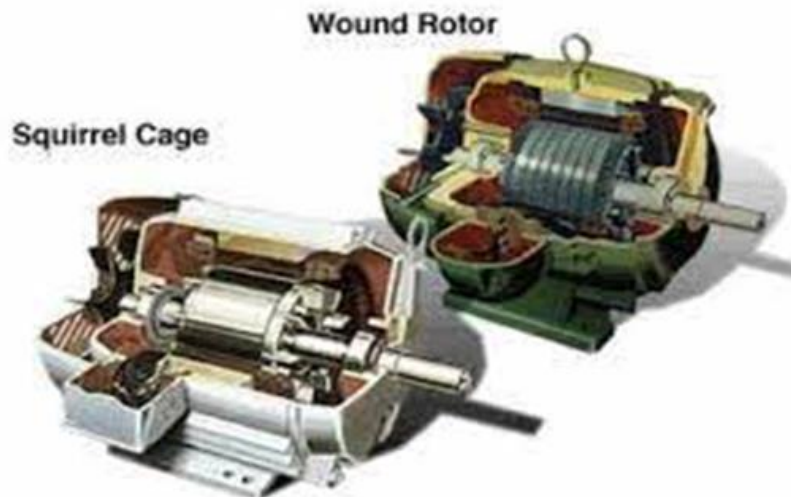
Γεννήτριες με σύνθετη διέγερση: Είναι οι γεννήτριες των οποίων τα πηνία των πόλων αποτελούνται από δυο τυλίγματα, εκ των οποίων το ένα συνδέεται σε σειρά προς το τύλιγμα του τυμπάνου και το φορτίο και το άλλο συνδέεται παράλληλα προς το τύλιγμα του τυμπάνου και το φορτίο.

Γεννήτριες ξένης διέγερσης: Σε αυτές τις γεννήτριες η τροφοδότηση του κυκλώματος διέγερσης γίνεται από μια εξωτερική πηγή συνεχούς τάσης.

4.2.1 ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΜΟΝΙΜΩΝ ΜΑΓΝΗΤΩΝ.

Η διέγερση σε μια σύγχρονη γεννήτρια προέρχεται από το τύλιγμα διέγερσης το οποίο τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα ή από μόνιμους μαγνήτες. Οι σύγχρονες γεννήτριες μόνιμων μαγνητών μπορούν να διαθέτουν περισσότερους πόλους και άρα μπορούν να λειτουργήσουν σε χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής. Καθώς τα μαγνητικά υλικά βελτιώθηκαν, οι συγκεκριμένες γεννήτριες χαρακτηρίζονται από καλή απόδοση, μεγάλη πυκνότητα ισχύος, χαμηλό κόστος και μικρό όγκο. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά βοήθησαν στο να αυξηθεί η χρήση τους τα τελευταία χρόνια σε αρκετά micro-υδροηλεκτρικά συστήματα. Το αρνητικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι ο έλεγχος τους είναι δυσκολότερος όταν πρόκειται να τροφοδοτήσουν ένα αυτόνομο δίκτυο.

Οι σύγχρονες γεννήτριες μόνιμων μαγνητών ανάλογα με τη διεύθυνση του δρόμου της μαγνητικής ροής στο διάκενο της μηχανής μπορούν να διακριθούν σε γεννήτριες ακτινικής και αξονικής ροής. Και στις δυο περιπτώσεις οι μηχανές έχουν την ίδια βασική αρχή λειτουργίας αλλά έχουν πολλές διαφορές όσον αφορά τη σχεδίαση, την κατασκευή και τη διαχείριση των θερμικών απωλειών. Η δομή της γεννήτριας ακτινικής ροής είναι κυλινδρική ενώ της γεννήτριας αξονικής ροής είναι δισκοειδής.



Εικόνα 37 Γεννήτρια ακτινικής ροής και αξονικής ροής

Με τη σύγκριση των δυο μηχανών, βλέπουμε πως η μηχανή αξονικής ροής έχει αρκετά πλεονεκτήματα:

- ✓ Υπάρχει η δυνατότητα να αυξηθεί η πυκνότητα ισχύος
- ✓ Μπορεί να ρυθμιστεί ευκολότερα το μήκος της διακένου χάρη στη δισκοειδή της δομή
- ✓ Ο αερισμός και η ψύξη των μηχανών είναι ευκολότερος καθώς ο λόγος της διαμέτρου του πυρήνα προς το μήκος του άξονα περιστροφής είναι πολύ μεγάλος.
- ✓ Υπάρχει η δυνατότητα συνδυασμού των πόλων δίσκων για να επιτευχθεί η υψηλότερη ροπή η ισχύς.
- ✓ Υπάρχει η δυνατότητα να εγκατασταθούν περισσότεροι πόλοι μεγαλώνοντας την εξωτερική διάμετρο του πυρήνα. Έτσι, η μηχανή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές υψηλής συχνότητας και χαμηλής ταχύτητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ GAMS

Έχουμε ένα μαθηματικό μοντέλο και με την βοήθεια του προγράμματος GAMS θα προσομοιώσουμε κάποια διαφορετικά σενάρια για την συμμετοχή της υδροηλεκτρικής ενέργειας και τις διαφορές που θα προσφέρει στην τιμή της KWh στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδος.

5.1 ΙΣΧΥΣ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Στο δικό μας παράδειγμα θα χρησιμοποιήσουμε 5 διαφορετικούς τύπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

- Λιγνιτικές μονάδες
- Φυσικού αερίου συνδυασμένου κύκλου
- Φυσικού αερίου ανοιχτού κύκλου
- Υδροηλεκτρικές μονάδες
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

Το σύστημα που θα χρησιμοποιήσουμε θα έχει 29 διαφορετικές μονάδες από τις παραπάνω πηγές ενέργειας.

Για κάθε μονάδα που έχουμε το κόστος της KWh διαμορφώνεται κλιμακωτά ανάλογα με το μέγεθος που μπορεί κάθε μονάδα να μας παρέχει.

Ο πίνακας B μας δείχνει το μέγιστο αριθμό KWh που προσφέρει ανά στάδιο και ο πίνακας C το κόστος παραγωγής της κάθε KWh σε ευρώ.

B					
	1	2	3	4	5
Unit1	120	80	50	30	20
Unit2	130	100	60	40	20

C					
	1	2	3	4	5
Unit1	29,3	29,8	30,2	30,6	31
Unit2	30	30,5	31,2	31,6	32

Βλέπουμε ότι το κόστος παραγωγής KWh αυξάνεται καθώς εμείς ζητάμε όλο και περισσότερες KWh από τις συγκεκριμένες μονάδες.

Στις υδροηλεκτρικές μονάδες θα θεωρήσουμε ότι το κόστος παραγωγής KWh είναι μηδενικό.

B					
	1	2	3	4	5
Unit6	100				
Unit7	150				

C					
	1	2	3	4	5
Unit6					
Unit7					

Μέσο του προγράμματος θα υπολογίσουμε το κόστος παραγωγής το 24ωρο ανά KWh αρχικά χωρίς διασυνδέσεις με υδροηλεκτρικές μονάδες και στην συνέχεια με διασυνδέσεις στις υδροηλεκτρικές μονάδες, έτσι ώστε να συγκρίνουμε το συνολικό κόστος παραγωγής.

5.2 ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ

Το μοντέλο μας διαθέτει 8 υδροηλεκτρικές μονάδες, Unit6, Unit7, Unit13, Unit14, Unit15, Unit16, Unit22, Unit23.

Αυτές οι υδροηλεκτρικές μονάδες έχουν μέγιστη αλλά και ελάχιστη ημερήσια παραγωγή KWh, την οποία στην συνέχεια της μελέτης μας, θα αυξήσουμε σε διάφορες κλίμακες έτσι ώστε να διαπιστώσουμε αν και ποσό θα μειωθεί το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, στο μοντέλο μας.

5.3 ΖΗΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Κάθε μέρος υποσταθμών s1, s2, s3, s4, s5 σε διαφορετικές ώρες τις ημέρας, έχει την ανάλογη, μικρότερη ή μεγαλύτερη, ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια που πρέπει το μοντέλο μας να καλύπτει.

Ένα παράδειγμα ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε 24ωρες

	D				
	S1	S2	S3	S4	S5
101	998	798	399	848	1198
102	905	724	362	769	1086
103	866	693	346	736	1039
104	845	676	338	718	1014
105	831	665	332	706	997
106	855	684	342	727	1026
107	928	742	371	789	1114
108	1082	866	433	920	1298
109	1237	990	495	1051	1484
110	1350	1080	540	1148	1620
111	1367	1094	547	1162	1640
112	1396	1117	558	1187	1675
113	1408	1126	563	1197	1690
114	1402	1122	561	1192	1682
115	1350	1080	540	1148	1620
116	1274	1019	510	1083	1529
117	1237	990	495	1051	1484
118	1226	981	490	1042	1471
119	1226	981	490	1042	1471
120	1258	1006	503	1069	1510
121	1402	1122	561	1192	1682
122	1453	1162	581	1235	1744
123	1299	1039	520	1104	1559
124	1183	946	473	1006	1420

Οπού 101 έως 124 οι 24 ώρες της ημέρας.

Το άθροισμα του παραπάνω πίνακα που προκύπτει είναι 120606 KWh τις οποίες το μοντέλο μας πρέπει να καλύψει.

5.4 ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ

Κάθε μονάδα για να λειτουργήσει και να παράγει ενέργεια στο σύστημα μας έχει ελάχιστα και μέγιστα όρια παραγωγής ηλεκτρικής ισχύς.

Με άλλα λόγια κάθε υποσταθμός δεν μπορεί να ξεκινήσει την λειτουργία του, αν το κόστος παραγωγής είναι ασύμφορο.

Παρατηρούμε ότι οι υδροηλεκτρικές μας μονάδες Unit6, Unit7, Unit13, Unit14, Unit15, Unit16, Unit22, Unit23 και οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) Unit12, Unit24, Unit25 έχουν μέγιστο όριο παραγωγής ηλεκτρικής ισχύς, αλλά όχι ελάχιστο.

	Pmin		Pmax
Unit1	150	Unit1	300
Unit2	180	Unit2	350
Unit3	200	Unit3	400
Unit4	250	Unit4	450
Unit5	50	Unit5	150
Unit6	0	Unit6	100
Unit7	0	Unit7	150
Unit8	150	Unit8	300
Unit9	180	Unit9	350
Unit10	200	Unit10	400
Unit11	250	Unit11	450
Unit12	0	Unit12	300
Unit13	0	Unit13	100
Unit14	0	Unit14	150
Unit15	0	Unit15	200
Unit16	0	Unit16	300
Unit17	250	Unit17	450
Unit18	150	Unit18	300
Unit19	180	Unit19	350
Unit20	150	Unit20	300
Unit21	180	Unit21	350
Unit22	0	Unit22	100
Unit23	0	Unit23	150
Unit24	0	Unit24	200
Unit25	0	Unit25	1000
Unit26	200	Unit26	400
Unit27	250	Unit27	450
Unit28	200	Unit28	400
Unit29	250	Unit29	450

5.5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ GAMS

Μέσω του προγράμματος Gams μπορούμε να υπολογίσουμε το κόστος παραγωγής KWh έτσι ώστε να καλύπτουμε τις ανάγκες παραγωγής του συστήματος.

Στα σενάρια που θα τρέξουμε το κόστος παραγωγής KWh θα αλλάζει. Στόχος μας είναι να βρούμε το οικονομικότερο μοντέλο παραγωγής, όταν θα αυξήσουμε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις υδροηλεκτρικές μονάδες.

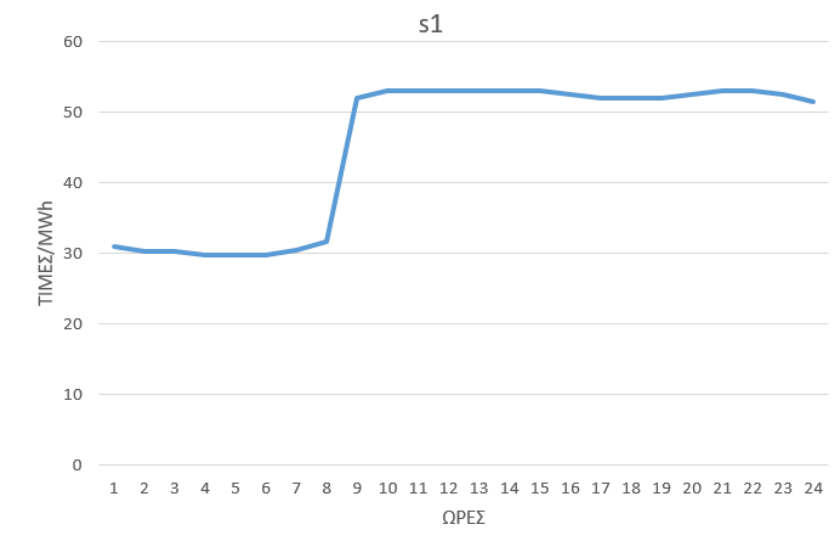
5.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

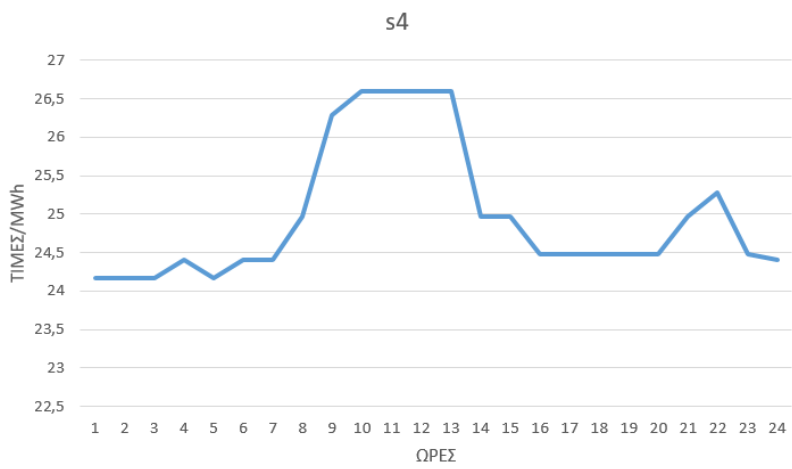
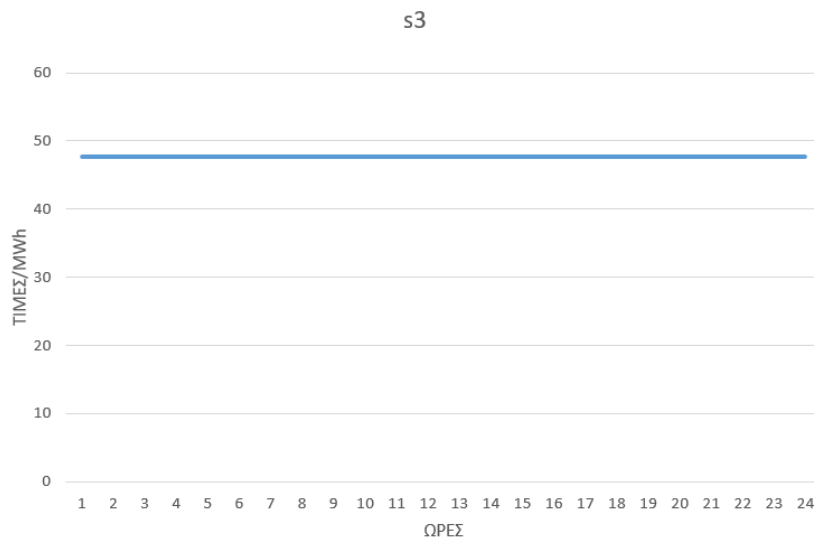
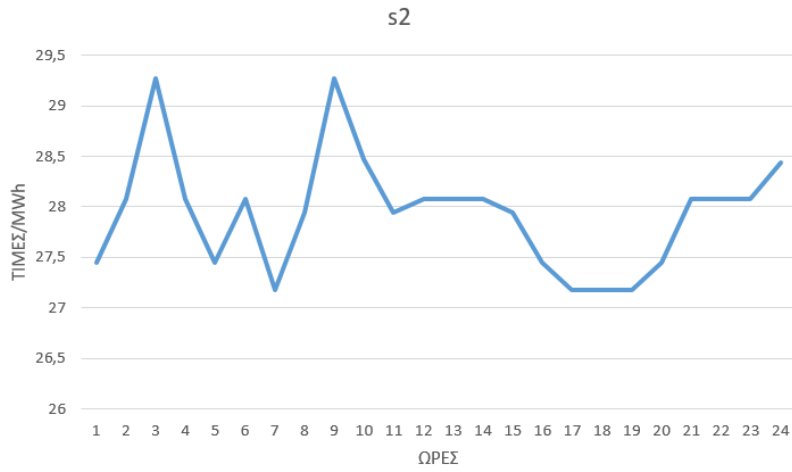
Αφού έχουμε περάσει τις τιμές στο πρόγραμμα Gams και το τρέχουμε, παίρνουμε τα αποτελέσματα για να δούμε αν έχουν καλυφθεί οι ανάγκες μας για KWh.

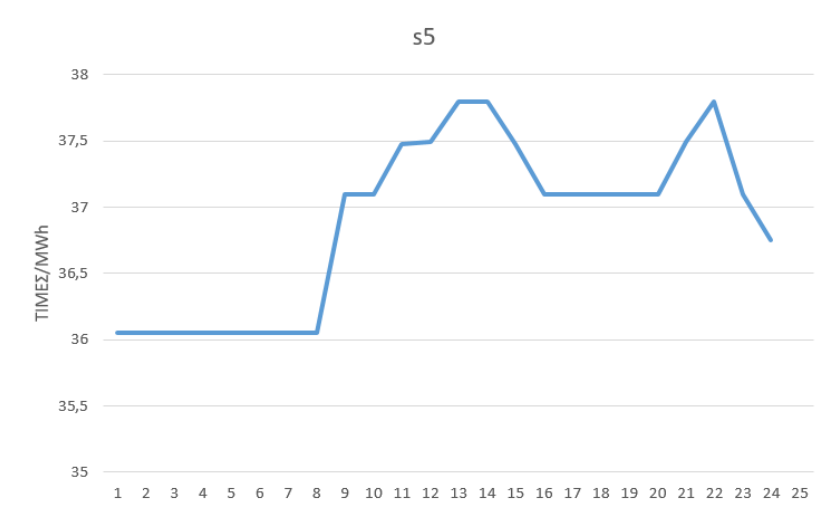
	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124
Unit1	288	245	206	185	171	195	250	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Unit2	230	180	180	180	180	180	198	302	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Unit3	200	200	200	200	200	200	200	200	290	360	360	360	360	360	360	309	290	290	290	293	360	360	334	273
Unit4	250	250	250	250	250	250	250	250	274	305	322	351	351	357	305	280	280	251	276	280	357	370	280	250
Unit5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unit6	30	30	30	30	30	30	30	30	23	0	0	0	0	0	0	0	17	0	10	0	0	0	0	10
Unit7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	35	35	47	35	35	35	0	35	0	35	35	73	35	0
Unit8	0	0	0	90	90	90	210,061	287,725	300	300	286,475	300	300	300	283,56	250	247,679	239,925	237,811	250	300	300	300	300
Unit9	207,296	256,374	347,162	236,437	223,501	240,387	180	230	349,001	312,184	230	243,701	255,526	253,648	230	204,536	180	180	180	188,693	246,619	278,992	273,608	303,156
Unit10	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Unit11	250	125	0	0	0	0	0	0	0	135	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	125
Unit12	80,7041	82,6261	85,8377	89,5632	91,4987	93,6132	91,9392	88,2746	80,9992	72,8156	67,5752	63,299	60,4741	58,3523	56,4398	54,4641	52,3215	51,0748	53,1886	57,3071	65,3811	73,0078	80,3917	82,8438
Unit13	0	0	10	58	0	0	70	18	0	0	64	0	0	70	0	0	70	100	0	0	70	0	70	0
Unit14	0	0	56	0	0	0	0	135	150	0	0	150	150	150	149	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unit15	0	52	0	0	52	62	21	0	65	0	0	0	61	111	180	145	0	0	0	81	200	170	0	0
Unit16	119	30	0	0	0	0	0	0	0	250	203	128	133	0	0	50	0	110	210	223	130	101	0	193
Unit17	280	280	280	280	280	280	280	280	280	290	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
Unit18	243,437	212,899	227,33	250	242,801	250	250	273,44	300	300	300	300	300	277,84	280	279,429	250	250	250	253,154	277,84	273,76	276,08	250
Unit19	180	180	180	180	180	180	205,449	250,94	321,201	334,729	342,94	340	350	272,478	230	230	230	230	230	266,855	307,834	230	180	180
Unit20	150	100	50	0	0	0	0	0	0	90	90	90	90	270	272	270	269,143	261,14	259,449	280	270	270	268,607	250
Unit21	180	180	180	186,349	180	192,109	230	290	330	350	340	350	340	290	285,848	230	230	230	230	290	290	290	230	229,725
Unit22	30	30	30	30	30	30	30	0	0	0	10	0	0	0	0	30	30	30	30	0	0	0	0	30
Unit23	0	0	0	0	0	0	0	35	35	105,018	35	46,3608	68,6207	35	35	0	0	0	0	0	35	35	35	0
Unit24	64,5632	66,1009	68,6702	71,6505	73,1989	74,8906	73,5514	70,6197	64,7994	58,2525	54,0601	50,6392	48,3793	46,6819	45,1518	43,5712	41,8572	40,8598	42,5509	45,8457	52,3049	58,4063	64,3134	66,2751
Unit25	215,211	220,336	228,901	238,835	243,996	249,635	245,171	235,399	215,998	194,175	180,2	168,797	161,264	155,606	150,506	145,237	139,524	136,199	141,836	152,819	174,35	194,688	214,378	220,917
Unit26	222,789	230,664	290	265,165	260	290	283,829	283,44	360	360	360	396,203	400	400	360	360	360	360	360	360	360	397,65	400	360
Unit27	250	125	0	0	0	0	135	250	308,002	370	370	370	340	386,394	370	343,763	304,476	294,801	289,164	297,181	370	340	304,622	280
Unit28	260	260	270,099	260	243,004	236,365	200	279,161	320	360	389,8	400	400	399,494	360	360	360	360	360	360	400	400	360	300
Unit29	250	250	250	250	250	250	250	250	280	335,825	340	340	388,736	340	340	320	320	320	340	340	409,312	320	280	280

Το άθροισμα στο παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι είναι 120606 KWh, οπότε οι ανάγκες μας έχουν καλυφθεί.

Η τιμή ανά KWh που παράγουν τα 5 διαφορετικά συστήματα στο 24ωρο μας φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα.







5.7 ΣΕΝΑΡΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

Για να παρατηρήσουμε την συνεισφορά της υδροηλεκτρικής ενέργειας μέσα στο ενεργειακό μας σύστημα, θα δημιουργήσουμε 3 διαφορετικά σενάρια στα οποία θα αυξήσουμε την μέγιστη ημερήσια παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε μονάδα και θα παρατηρήσουμε την τιμή των MWh όταν οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι συνδεδεμένοι στο σύστημα και όταν δεν είναι στο 24ωρο.

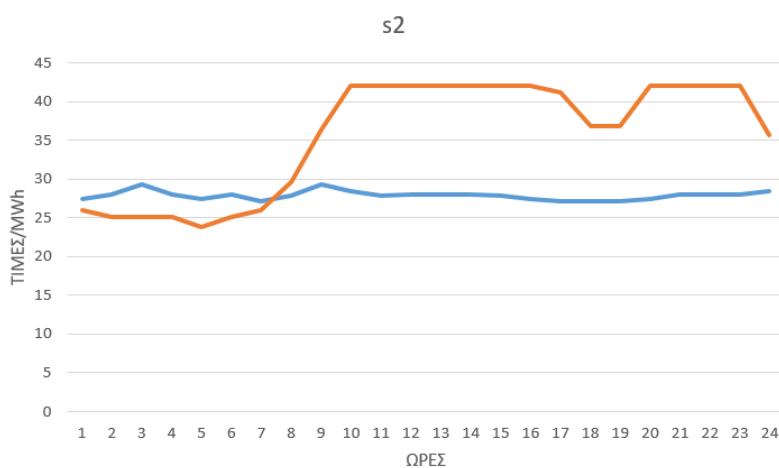
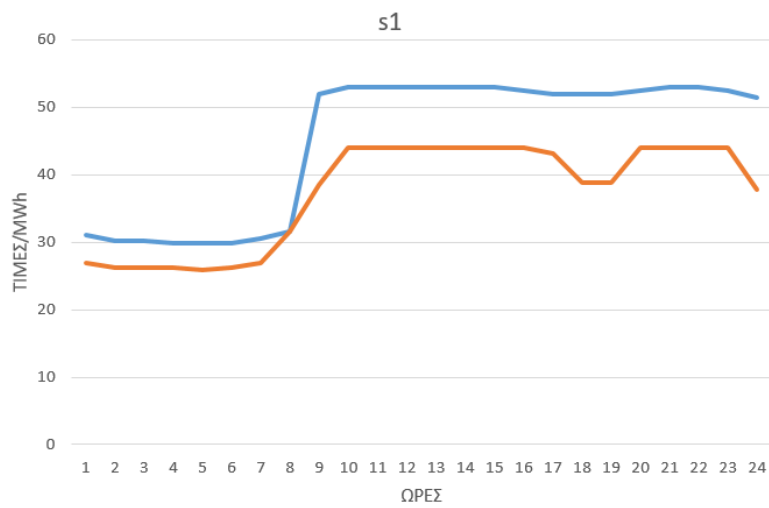
Σε κάθε σενάριο η Μπλε γραμμή συμβολίζει την μεταβολή της τιμής ανά MWh στο 24ωρο χωρίς διασύνδεση και η Πορτοκαλί γραμμή συμβολίζει την μεταβολή της τιμής ανά MWh με διασύνδεση.

5.7.1 ΒΑΣΙΚΟ ΣΕΝΑΡΙΟ

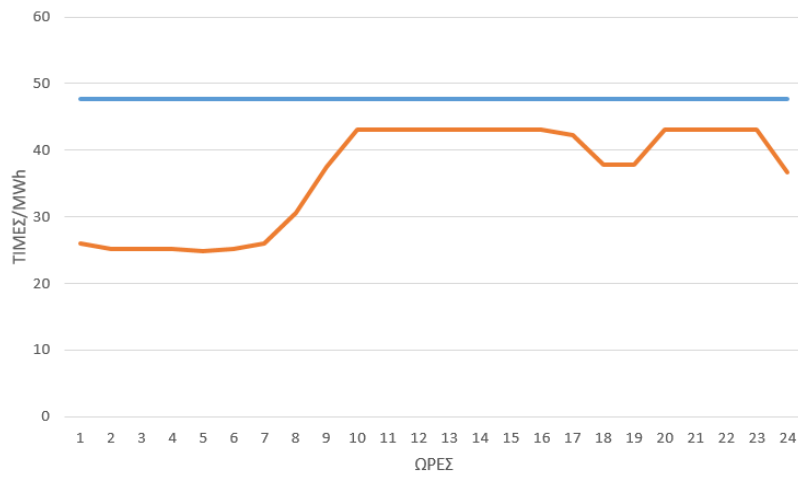
Στο πρώτο μας σενάριο η μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια παραγωγή θα είναι η εξής

	E_{max}		E_{min}
Unit6	300	Unit6	160
Unit7	470	Unit7	260
Unit13	600	Unit13	320
Unit14	940	Unit14	520
Unit15	1200	Unit15	640
Unit16	1880	Unit16	1040
Unit22	400	Unit22	160
Unit23	500	Unit23	160

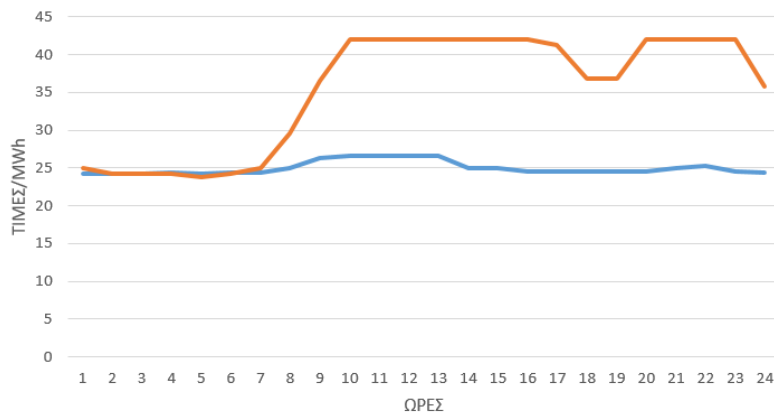
Αφού τρέξουμε το σενάριο μας στο πρόγραμμα με διασύνδεση και χωρίς διασύνδεση GAMS λαμβάνουμε τα εξής δεδομένα για κάθε υποσταθμό s1, s2, s3, s4, s5



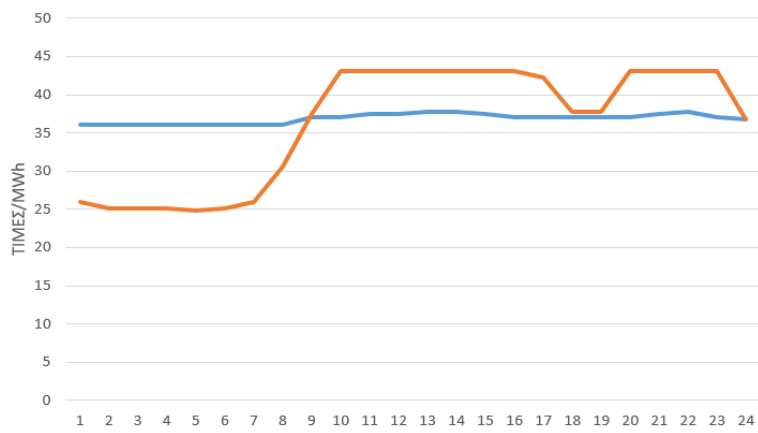
s3



s4



s5

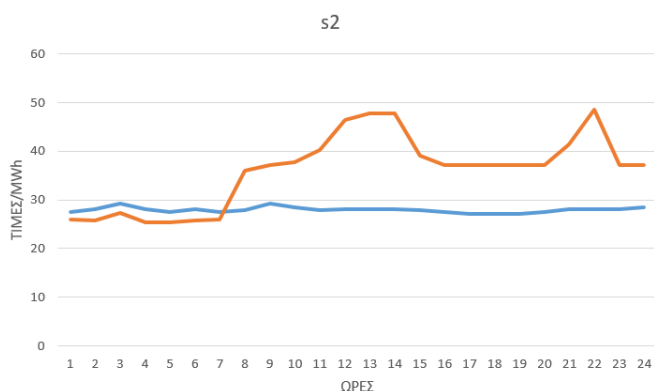
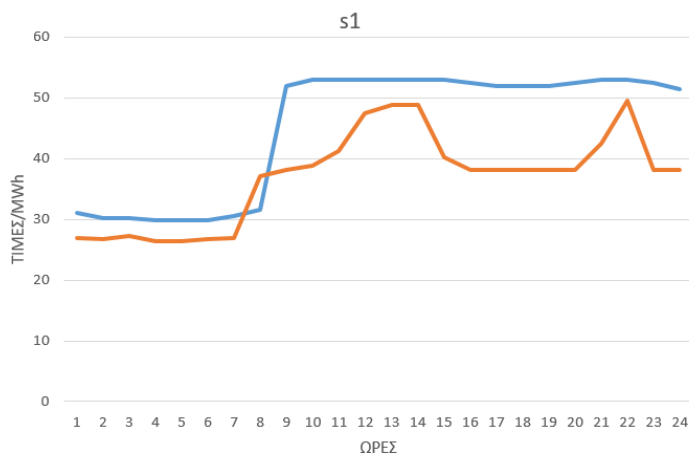


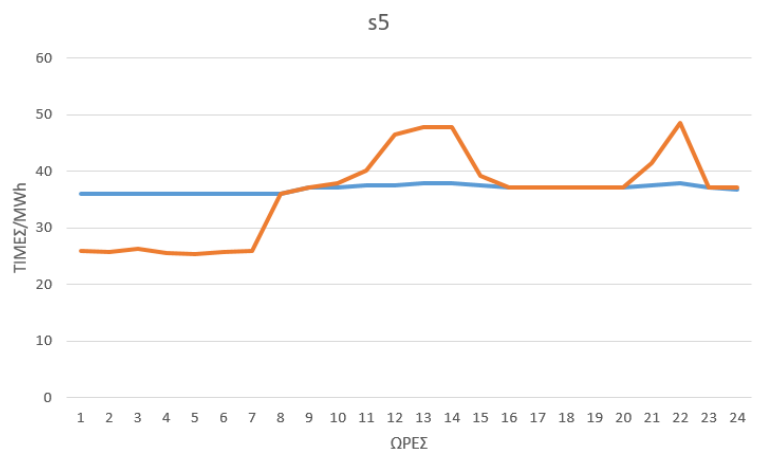
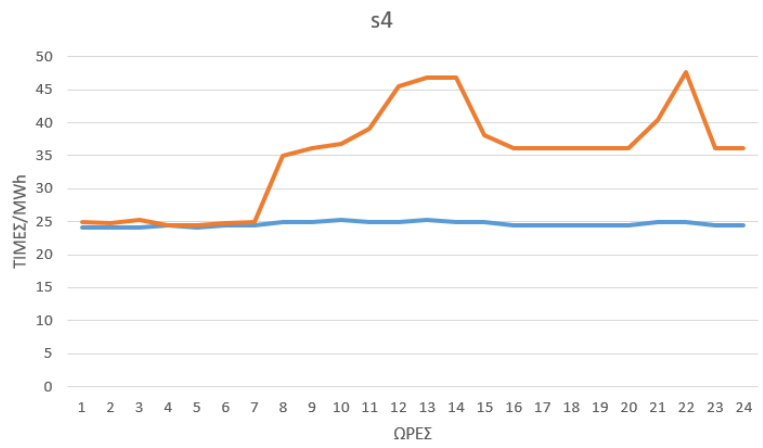
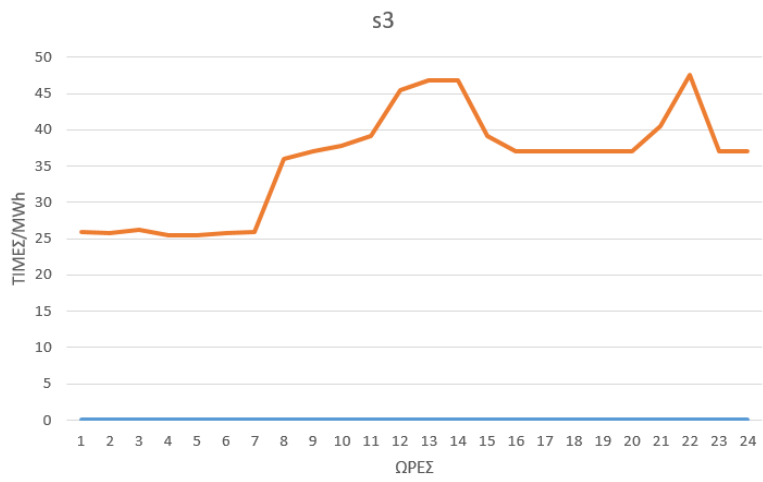
5.7.2 2ο ΣΕΝΑΡΙΟ

Στο δεύτερο σενάριο που θα τρέξουμε στο ενεργειακό μας σύστημα, διπλασιάζουμε την μέγιστη ημερήσια παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από κάθε μονάδα αλλά κρατάμε σταθερή την ελαχιστη παραγωγή.

	E_{max}		E_{min}
Unit6	600	Unit6	160
Unit7	940	Unit7	260
Unit13	1200	Unit13	320
Unit14	1880	Unit14	520
Unit15	2400	Unit15	640
Unit16	3760	Unit16	1040
Unit22	800	Unit22	160
Unit23	1000	Unit23	160

Αφού τρέξουμε το σενάριο μας στο πρόγραμμα με διασύνδεση και χωρίς διασύνδεση GAMS λαμβάνουμε τα εξής δεδομένα για κάθε υποσταθμό s1, s2, s3, s4, s5



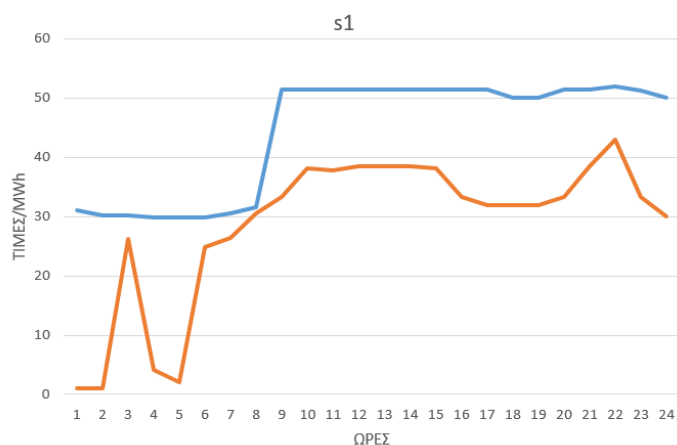


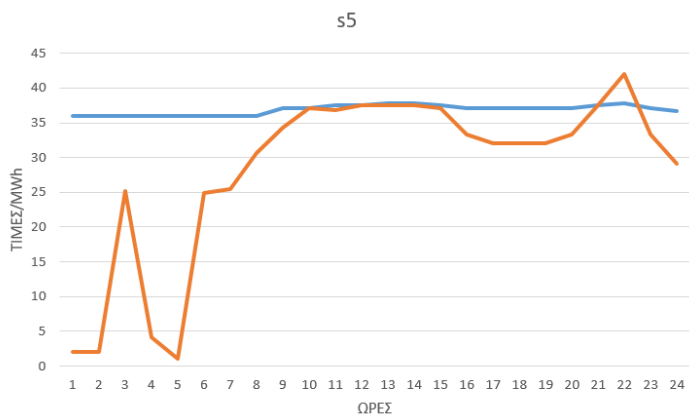
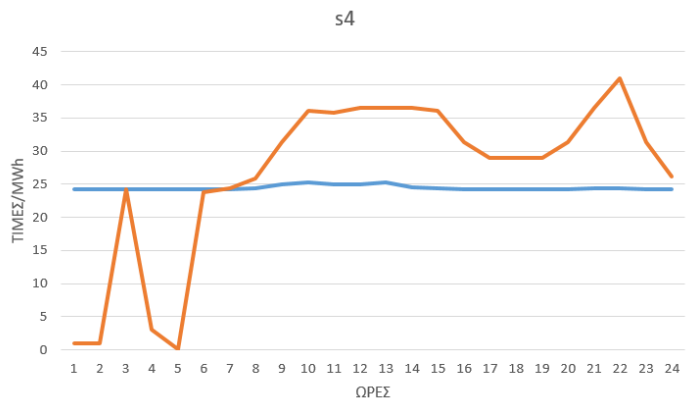
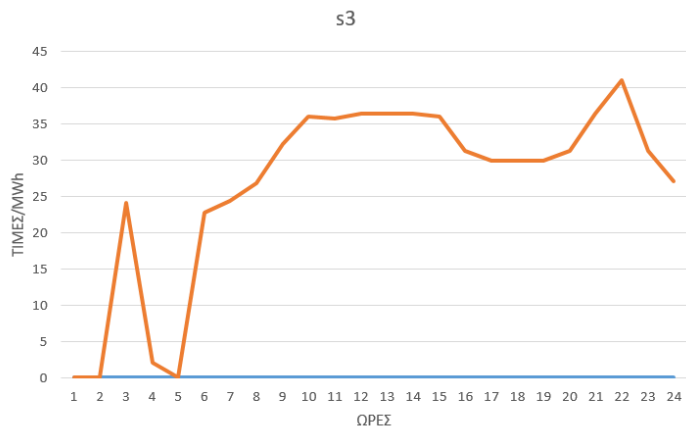
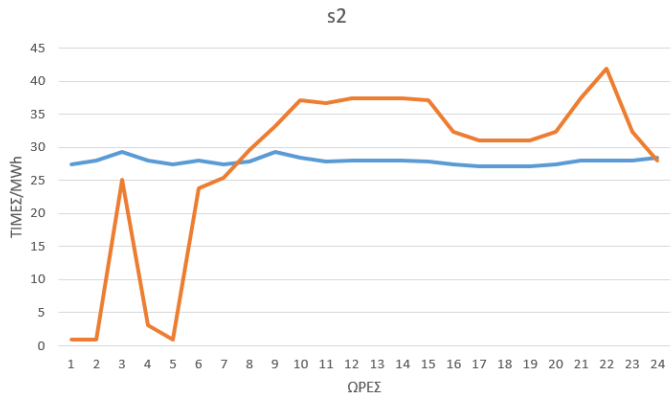
5.7.3 3ο ΣΕΝΑΡΙΟ

Στο τελευταίο σενάριο που θα τρέξουμε στο ενεργειακό μας σύστημα, τετραπλασιάζουμε την μέγιστη ημερήσια παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας από κάθε μονάδα αλλά κρατάμε σταθερή την ελαχίστη παραγωγή.

	E_{max}		E_{min}
Unit6	1200	Unit6	160
Unit7	1880	Unit7	260
Unit13	2400	Unit13	320
Unit14	3760	Unit14	520
Unit15	4800	Unit15	640
Unit16	7520	Unit16	1040
Unit22	1600	Unit22	160
Unit23	2000	Unit23	160

Αφού τρέξουμε το σενάριο μας στο πρόγραμμα με διασύνδεση και χωρίς διασύνδεση GAMS λαμβάνουμε τα εξής δεδομένα για κάθε υποσταθμό s1, s2, s3, s4, s5





5.8 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΕΝΑΡΙΟ

Κάθε σενάριο που τρέξαμε παράγει ηλεκτρική ενέργεια 120606 KWh άρα είναι ικανό να καλύψει τις ανάγκες μας. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε την συνολική παραγωγή σε κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια της συνολικής υδροηλεκτρικής ενέργειας και της συνολικής θερμικής ενέργειας.

	Συνολική υδροηλεκτρική παραγωγή	Συνολική θερμική παραγωγή	Αθροισμα παραγωγής
Σενάριο 1 - Χωρίς διασυνδέσεις	6290	114316	120606
Σενάριο 2 - Χωρίς διασυνδέσεις	8450	112156	120606
Σενάριο 3 - Χωρίς διασυνδέσεις	11790	108816	120606
Σενάριο 1 - Με διασυνδέσεις	6290	114.316	120606
Σενάριο 2 - Με διασυνδέσεις	12580	108026	120606
Σενάριο 3 - Με διασυνδέσεις	23635,71586	96970,28414	120606

Παρατηρούμε ότι στο πρώτο σενάριο η παραγωγή υδροηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, είναι ίδια είτε έχουμε διασυνδέσεις είτε όχι.

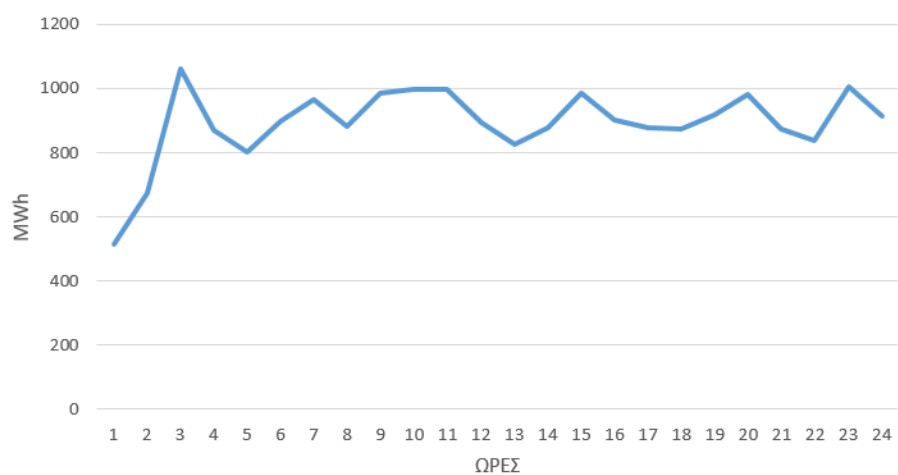
Όσο αυξάνουμε την μέγιστη ημερήσια παραγωγή από κάθε υδροηλεκτρική μονάδα, όταν έχουμε διασυνδέσεις, η συνολική θερμική παραγωγή μειώνεται.

5.8 ΡΟΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

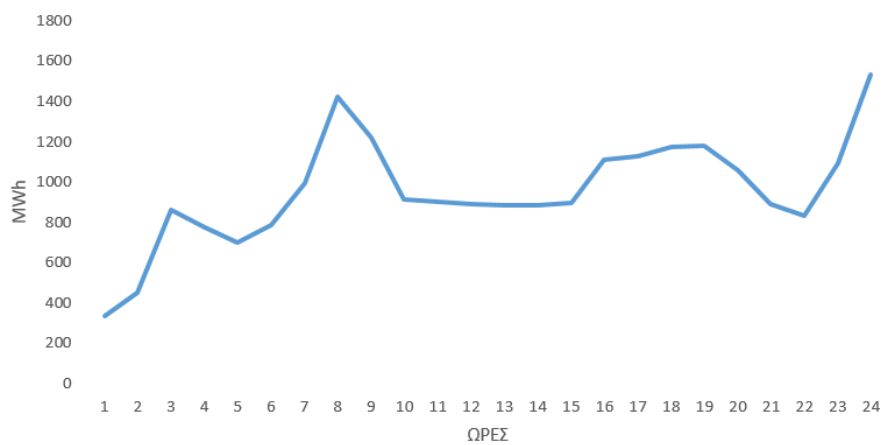
Στα σενάρια που έχουμε διασυνδέσεις η ροή ηλεκτρικής ενέργειας στο 24ωρο απεικονίζεται στα παρακάτω διαγράμματα



Ροη ηλεκτρικής ενέργειας Σενاريو 2 με διασυνδεσεις



Ροη ηλεκτρικής ενέργειας Σενاريو 3 με διασυνδεσεις



βιβλιογραφία

τ

ω
Γαλανού, Α.,(2012) «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Χρονική εξέλιξη – Σύγκριση»,
ν
Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο

Δαμασκηνίδου- Γεωργιάδου Α., Σιδηρόπουλος Ε (1996), « Σημειώσεις υδραυλικής ανοιχτών
αγωγών», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη

ά
Θεοχάρης Μενέλαος, (2015). Αρδεύσεις (Εργαστήριο). ΤΕΙ Ηπείρου.
ν

Διαθέσιμο από: <http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG110/>

η
Κωτσοβίνος Ν.,(2009), « Σύντομες Σημειώσεις για υδροστροβίλους», Δημοκρίτειο

Πανεπιστήμιο Θράκης,

Μαρνέλλος Γ. , «Ειδικά κεφάλαια παραγωγής ενέργειας», Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

ε
Παπαντώνης Δ.Ε.(2009) «Υδροδυναμικές μηχανές, αντλίες –υδροστροβίλοι», εκδόσεις
φ
Συμεών, Αθήνα.
α

Ψεφανάκος Ι κ Νικητόπουλος Κ, Τα υδροηλεκτρικά έργα στην Ελλάδα – Μια διαδρομή από
ώ 1950 μέχρι σήμερα, <https://rawmathub.gr/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%BD%CF%8E%CE%BC%CE%B7%CF%82-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7-%CE%B2%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%80%CF%81%CF%8E%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%85%CE%BB%CF%8E%CE%BD/%CE%AC%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B1%CE%BE%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AC-%CE%B1%CE%BB%CF%85%CF%83%CE%AF%CE%B4%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CF%89%CE%BD-raw-materials/%CF%84%CE%B1-%CF%85%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1-%E2%80%93-%CE%BC%CE%B9%CE%B1->

κ

α

θ

η

%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%AE-
%CE%B1%CF%80%CF%8C-%CF%84%CE%BF-1950-
%CE%BC%CE%AD%CF%87%CF%81%CE%B9-
%CF%83%CE%AE%CE%BC%CE%B5%CF%81%CE%B1

Πλεονεκτήματα Χρήσης της Ηλιακής Ενέργειας <http://www.celsius.gr/1128CC47.el.aspx>

Gray R.(2017), The biggest energy challenges facing humanity, <https://www.bbc.com/future/article/20170313-the-biggest-energy-challenges-facing-humanity>

Kirman F. et al, (2021) ,Advantages and Disadvantages of Hydroelectric Power Plant, International Journal of Innovative Science and Research Technology, Volume 6, Issue 7.

What are the advantages and disadvantages of geothermal energy?, <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/geothermal-energy/pros-and-cons>

Advantages of Solar Power http://energysolar.org.uk/solar_power_adv.html

Wind Energy, http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_wind_eng.htm

Advantages and Challenges of Wind Energy, <https://www.energy.gov/eere/wind/advantages-and-challenges-wind-energy>

Geothermal energy, <https://www.irena.org/geothermal>

Biomass explained, <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/>

http://solarcellcentral.com/basics_page.html

http://energysolar.org.uk/sun_power.html

<http://www.allaboutenergy.gr/Piges23.html>

Understanding the flow through Francis turbine, <https://blog.gridpro.com/understanding-the-flow-through-francis-turbine/>

Talib Z. Farge, Abdul Jabbar Owaid. H., Mohammed Abdul Khaliq Qasim, «Effect of Flow Parameters on Pelton Turbine Performance by Using Different Nozzles», International Journal of Modeling and Optimization, Vol. 7, No. 3, June 2017

ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΥΠΟΥ II ΦΑΚΕΛΟΣ ΜΠΕ – ΕΓΚΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΟΡΩΝ (ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ Υ.Α. ΑΡΙΘΜ. ΟΙΚ. 170225/ 27.01.2014 (ΦΕΚ 135Β') <https://www.ekalampaka.gr/files/news/2022/01/ydroglykom1.pdf>

