

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: Σχεδιασμός και λειτουργία υδροηλεκτρικών μονάδων

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΠΑΚΟΥΡΟΣ (Α.Μ. : 6932)

Email: mech1406932@go.uop.gr

ΙΩΑΝΝΗΣ ΖΑΒΑΛΗΣ (Α.Μ. : 7018)

Email: zavalisioannis@hotmail.com

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Ε.Ε ΤΖΙΡΤΖΙΛΑΚΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2022

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουν επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι φοιτητές

Δημήτριος Μπακούρος
(Υπογραφή)



Ιωάννης Ζάβαλης
(Υπογραφή)



Πίνακας περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	- 6 -
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 7 -
1. Κεφάλαιο: Υδροηλεκτρικά εργοστάσια	- 9 -
1.1 Ιστορική αναδρομή	- 9 -
1.2 Μεταφορά ενέργειας	- 14 -
1.3 Στοιχεία δομής	- 19 -
1.4 Τύποι σταθμών παραγωγής και διατάξεις	- 20 -
1.4.1 Τύπος λειτουργίας	- 20 -
1.4.2 Τύπος χρήσης	- 21 -
1.4.3 Τύπος κεφαλής	- 22 -
1.4.4 Τύποι διατάξεων	- 22 -
2. Κεφάλαιο: Σχεδιασμός παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας ...	- 31 -
2.1 Λεκάνες απορροής και πολλαπλές χρήσεις του νερού ..	- 31 -
2.2 Σχεδιασμός επέκτασης	- 34 -
2.3 Προϋπολογισμός και αξιολόγηση της υδροηλεκτρικής μονάδας	- 34 -

3. Κεφάλαιο: Υδρολογικές μελέτες και ισχύς εξόδου - 37 -

3.1	Χαρακτηρισμός λεκάνης.....	- 37 -
3.2	Υδρομετεωρολογία	- 39 -
3.3	Μετρήσεις ροής	- 40 -
3.4	Ακραίες ροές.....	- 43 -
3.5	Πλήρωση ταμιευτήρα	- 44 -
3.6	Ωφέλιμη ζωή ταμιευτήρα	- 45 -
3.7	Ισχύς εξόδου.....	- 47 -
3.8	Προσομοίωση της ενέργειας	- 49 -
3.9	Φράγματα	- 50 -
3.9.1	Χωμάτινα φράγματα ή φράγματα γης.....	- 50 -
3.9.2	Φράγματα βράχων-πετρωμάτων	- 54 -
3.9.3	Φράγματα βαρύτητας σκυροδέματος.....	- 58 -
3.10	Υπερχειλιστές	- 61 -
3.10.1	Είδη υπερχειλιστών και κριτήρια επιλογής.....	- 61 -
3.10.2	Υδραυλικός σχεδιασμός	- 64 -

4. Κεφάλαιο: Σχεδιασμός υδραυλικής μεταφοράς και μηχανολογικός εξοπλισμός..... - 69 -

4.1	Γενικά	- 69 -
4.2	Κανάλι ισχύος	- 69 -
4.3	Είσοδος	- 71 -
4.4	Εξαερισμός.....	- 72 -

4.5	Σήραγγες.....	- 78 -
4.6	Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος	- 82 -
4.7	Πύλες και βαλβίδες	- 83 -
4.8	Στρόβιλοι	- 86 -
4.9	Παράδειγμα υδροηλεκτρικού εργοστασίου.....	- 87 -
	<i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</i>	<i>- 89 -</i>
	<i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</i>	<i>-90-</i>

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αρχικά θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον καθηγητή μας κ. Τζιρτζιλάκη Ευστράτιο για την βοήθεια και την καθοδήγηση του κατά την διάρκεια της εργασίας.

Ξεκινώντας λοιπόν τα φράγματα εξυπηρετούν τους ανθρώπους για τουλάχιστον 5.000 χρόνια. Τη σημερινή εποχή η τεχνολογία του σχεδιασμού των φραγμάτων έχει εξελιχθεί αρκετά και συνδυάζεται με την παραγωγή της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται ο σχεδιασμός που απαιτείται για τις υδροηλεκτρικές μονάδες, καθώς και η λειτουργία τους. Σημαντικό τμήμα της μελέτης για τη σωστή δημιουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων αποτελεί επίσης ο φυσιογραφικός χαρακτηρισμός του ποταμού ή της θάλασσας-λίμνης και η ροή του ρευστού (νερού). Τέλος αναφέρεται ένα πλήθος μελετών της βιβλιογραφίας σε σχέση με τη ροή των ρευστών σε αντίστοιχες μονάδες.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από γεννήτριες που κινούνται από στροβίλους που μετατρέπουν τη δυναμική ενέργεια του νερού που πέφτει ή ρέει γρήγορα σε μηχανική ενέργεια. Στις αρχές του 21ου αιώνα, η υδροηλεκτρική ενέργεια ήταν η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας. Το 2019 αντιπροσώπευε περισσότερο από το 18% της συνολικής παγκόσμιας δυναμικότητας παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά την παραγωγή της υδροηλεκτρικής ενέργειας, το νερό συλλέγεται ή αποθηκεύεται σε υψηλότερο υψόμετρο και οδηγείται προς τα κάτω μέσω μεγάλων σωλήνων ή σηράγγων σε χαμηλότερο υψόμετρο. Η διαφορά σε αυτά τα δύο υψόμετρα είναι γνωστή ως κεφαλή. Στο τέλος της διέλευσης του, κάτω από τους σωλήνες, το νερό που πέφτει προκαλεί την περιστροφή των στροβίλων. Οι στροβίλοι με τη σειρά τους κινούν γεννήτριες, οι οποίες μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές για τη μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης για τη μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις. Η δομή που στεγάζει τους στροβίλους και τις γεννήτριες, και στην οποία τροφοδοτούνται οι σωλήνες και περιέχει το φράγμα, ονομάζεται εργοστάσιο, μονάδα ή σταθμός παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Οι υδροηλεκτρικές μονάδες βρίσκονται συνήθως σε φράγματα κοντά σε ποτάμια, αυξάνοντας έτσι τη στάθμη του νερού πίσω από το φράγμα και δημιουργώντας όσο το δυνατόν μεγάλο ύψος. Η δυναμική ισχύς που μπορεί να προέλθει από έναν όγκο νερού είναι ευθέως ανάλογη με την κεφαλή, έτσι ώστε μια εγκατάσταση υψηλής κεφαλής να απαιτεί μικρότερο όγκο νερού από μια εγκατάσταση χαμηλής κεφαλής για να παράγει ίση ποσότητα ισχύος. Σε ορισμένα φράγματα, η μονάδα παραγωγής της ενέργειας κατασκευάζεται στη μία πλευρά του φράγματος, ενώ ένα μέρος του φράγματος χρησιμοποιείται ως υπερχειλιστής πάνω από τον οποίο απορρίπτεται η περίσσεια νερού σε περιόδους πλημμύρας. Όπου ο ποταμός ρέει σε ένα στενό απότομο φαράγγι, η μονάδα παραγωγής της ενέργειας μπορεί να βρίσκεται μέσα στο ίδιο το φράγμα.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας , αναλύονται τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια, καθώς πραγματοποιείται αναφορά στην ιστορία τους, στη μεταφορά της ενέργειας, στη δομή τους και στις διατάξεις τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα στοιχεία του σχεδιασμού για την παραγωγή της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται οι λεκάνες απορροής, ο σχεδιασμός της επέκτασης και ο προϋπολογισμός.

Ένα ξεχωριστό κομμάτι της εργασίας , το οποίο επεκτείνεται στο τρίτο κεφάλαιο, είναι οι υδρολογικές μελέτες και η ισχύς εξόδου μιας μονάδας υδροηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιείται αναφορά στο χαρακτηρισμό της λεκάνης, στην υδρομετεωρολογία, στις μετρήσεις της ροής, στις ακραίες ροές, στην πλήρωση και στην ωφέλιμη ζωή του ταμιευτήρα, στην ισχύ της εξόδου, στην προσομοίωση της ενέργειας, στα φράγματα και στους υπερχειλιστές.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται αναφορά στο σχεδιασμό της υδραυλικής μεταφοράς και του μηχανολογικού εξοπλισμού (εξαερισμός, σήραγγες, πύλες, βαλβίδες και στρόβιλοι).

Τέλος , στο τελευταίο κεφάλαιο αποτυπώνονται τα συμπεράσματα της εργασίας, καθώς πραγματοποιείται εν συντομία μια αναφορά στο σύνολό της με τα πιο σημαντικά τμήματα.

1. Κεφάλαιο: Υδροηλεκτρικά εργοστάσια

1.1 Ιστορική αναδρομή

Αν και η γη και το ηλιακό σύστημα προήλθαν πριν από 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια, πριν από 10.000 χρόνια, οι άνθρωποι ανέπτυξαν τη γεωργία στους λόφους της Συρίας και του Ιράκ. Τα φράγματα εξυπηρετούν τους ανθρώπους για τουλάχιστον 5.000 χρόνια, όπως αποδεικνύεται από τις κοιτίδες του πολιτισμού, στη Βαβυλωνία, την Αίγυπτο, την Ινδία, την Περσία και την Άπω Ανατολή. Τα ερείπια αυτών των αρχαίων δομών υπάρχουν τόσο στον παλιό όσο και στο νέο κόσμο, σηματοδοτώντας τα επιτεύγματα των κοινωνιών που έχουν εξαφανιστεί από καιρό.

Πολλά από τα εξαιρετικά έργα ύδρευσης της αρχαιότητας καταστράφηκαν επειδή οι γνώσεις των σχεδιαστών και των κατασκευαστών τους δε διατηρήθηκαν από τις γενιές που τα κληρονόμησαν. Χωρίς την ύπαρξη του νερού, οι πολιτισμοί εξαφανίστηκαν [1].

Η αρχαία ιστορία των φραγμάτων δεν είναι αρκετά γνωστή. Οι περισσότερες χρονολογίες πριν από το 1.000 π.Χ. μπορούν μόνο να εκτιμηθούν. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στην αρχαία Αίγυπτο, της οποίας αρκετές από τις χρονολογίες των γεγονότων ρίχνουν ένα αμυδρό φως σε πολλές δυναστείες και τα μηχανολογικά τους επιτεύγματα.

Τα ερείπια των αρχαίων έργων στην Ινδία και τη Σρι Λάνκα προσφέρουν κάποια στοιχεία για το πώς δημιουργήθηκαν οι δεξαμενές από τους αρχαίους πολιτισμούς. Οι μέθοδοι περιλάμβαναν την κατασκευή φραγμάτων κατά μήκος των ποταμών. Μερικές λίμνες σχημάτισαν τεράστιες εκτάσεις. Τα υλικά κατασκευής μεταφέρονταν σε καλάθια, ή άλλα δοχεία. Η συμπίεση γινόταν με

το ποδοπάτημα των ποδιών του εργάτη, μια μέθοδος που χρησιμοποιείται ακόμα σε ορισμένες χώρες όπου το κόστος της εργασίας είναι χαμηλό.

Οι αρχαίοι οικοδόμοι χρησιμοποιούσαν δωρεάν χώματα και χαλίκια. Καθώς είχαν ελάχιστη γνώση της μηχανικής των υλικών και των πλημμυρών, δεν είχαν σαφείς μεθόδους και συχνά τα έργα τους κατέρρεαν. Στην αρχαία Αίγυπτο, η κατασκευή ενός καναλιού ήταν η μεγαλύτερη προσπάθεια των Φαραώ.

Τα πρώτα καθήκοντα των κυβερνητών των επαρχιών ήταν η εκσκαφή καναλιών, τα οποία χρησιμοποιούνταν για την άρδευση μεγάλων εκτάσεων γης σε περιόδους πλημμυρών στον ποταμό Νείλο.

Μία από τις παλαιότερες καταγραφές έργων μηχανικής είναι αυτή της πόλης Μέμφις δίπλα στον ποταμό Νείλο, που εκτιμάται ότι χτίστηκε μεταξύ του 5.700 και του 2.700 π.Χ. Ο ιστορικός Ηρόδοτος αποδίδει αυτή την κατασκευή στον Μένη, τον πρώτο Αιγύπτιο φαραώ. Σύμφωνα με τον ίδιο, ο Μένης έχτισε ένα φράγμα τοιχοποιίας στον ποταμό Νείλο στο Kosheish.

Θεωρούμενος ως θρύλος από ορισμένους ιστορικούς, αναφέρεται ότι πριν από την ίδρυση της πρωτεύουσας, ο Μένης παρέσυρε τον ποταμό Νείλο στην ανατολική πλευρά της κοιλάδας και κατασκεύασε ένα μεγάλο φράγμα κοντά στους λόφους της Λιβύης. Σκοπός του ήταν η εξασφάλιση χώρου για την οικοδόμηση της πόλης στη δυτική πλευρά και η ενίσχυση της προστασίας της από τις επιθέσεις των εχθρών.

Η μετάφραση των γραπτών του Ηροδότου δείχνει ότι το τοιχοποιημένο φράγμα από κομμένες πέτρες έφτανε τα 15 μέτρα σε ύψος και τα 450 μέτρα σε μήκος. Οι σύγχρονοι ιστορικοί πιστεύουν ότι οι αρχαίοι οικοδόμοι δεν είχαν την ικανότητα για τόσα πολλά. Ωστόσο, αναφέρεται ότι στο Wadi el-Garawi, υπάρχει ένα καλοδιατηρημένο φράγμα τοιχοποιίας το Sadd al-Kafar (Σχήμα 1.1: **Το φράγμα Sadd al-Kafar**

).



Σχήμα 1.1: Το φράγμα Sadd al-Kafar

[2]

Το φράγμα αυτό, βρίσκεται κοντά στην Helwana, 32 χιλιόμετρα νότια του Καΐρου. Αυτό το φράγμα έχει ύψος 11 μέτρα και μήκος 107 μέτρα και χτίστηκε πριν από 2.600 χρόνια για να αποθηκεύει νερό για τους εργάτες των λατομείων της περιοχής.

Η βάση του φράγματος τοιχοποιίας Sadd al-Kafar είχε πλάτος 84 μέτρα και το μήκος της κορυφής ήταν 61 μέτρα. Οι τοίχοι ήταν δημιουργημένοι από χαλίκι πάχους 24 μέτρων. Ο πυρήνας ήταν γεμάτος με χαλίκια, πέτρες και χώμα. Το φράγμα, φυσικά, δεν είχε όρυγμα αποκοπής στη θεμελίωση. Η ανάντη πλαγιά ήταν επενδεδυμένη με ογκόλιθους ασβεστόλιθους και ήταν βαθμιδωτή, χωρίς αρμούς. Οι πέτρες με μέσο βάρος 50kg τοποθετήθηκαν σε σκαλοπάτια ύψους 30cm σε κλίση 0,75 V:1,00 H.

Το φράγμα δεν είχε υπερχειλιστή, κάτι που ήταν και το μεγαλύτερο έλλειμμά του. Ο μικρός ταμιευτήρας, όγκου 570.000m³, δεν ήταν αρκετός για τον έλεγχο των πλημμυρών. Το φράγμα κατέρρευσε πριν την ολοκλήρωση της κατασκευής

του, αφού δεν υπήρχαν σημάδια καθίζησης του ταμιευτήρα. Αν και οι οικοδόμοι περίμεναν ότι η κάτω κορυφή στο κέντρο του φράγματος θα λειτουργούσε ως υπερχειλιστής, ο πυρήνας σε αυτό το σημείο δεν προστατεύτηκε από τη διάβρωση. Αυτό το λάθος επαναλήφθηκε και τα φράγματα έσπασαν. Η ρήξη μάλλον αποθάρρυνε τους Αιγύπτιους από την κατασκευή αυτού του τύπου φραγμάτων.

Οι Σουμέριοι, στη νότια Μεσοποταμία, έχτισαν επίσης πόλεις, ναούς και κανάλια που περιλαμβάνονται στα πρώτα έργα μηχανικής. Αυτοί οι λαοί αγωνίζονταν για τα δικαιώματα του νερού από την αρχή της ιστορίας. Η άρδευση ήταν ζωτικής σημασίας για τη Μεσοποταμία, μεταξύ των ποταμών Τίγρη και Ευφράτη και για την Αίγυπτο και την Ελλάδα, όπως μαρτυρούν τα απομεινάρια των αντίστοιχων έργων στην περιοχή.

Τον 8ο αιώνα π.Χ., οι Ασσύριοι αντέγραψαν από τους Αρμένιους το σύστημα των σηράγγων που χρησιμοποιούσαν για να φέρουν νερό από τις υπόγειες βρύσες των λόφων στην πόλη στους πρόποδες.

Με το πέρασμα των αιώνων, αυτό το σύστημα εξαπλώθηκε σε όλη την περιοχή μέχρι τη βόρεια Αφρική και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα. Τα έργα στη Μέση Ανατολή και τα προϊστορικά έργα στο Μεξικό και την Αμερική συζητήθηκαν από τους Jansen R. (1983) και Mays L. (1999) [1] [3]. Ο Jansen (1983) ανέφερε την περίπτωση του φράγματος Proserpina, ύψους 19 μέτρων και μήκους 427 μέτρων, που κατασκευάστηκε από τους Ρωμαίους 6 χιλιόμετρα βόρεια της Μεριδά στην Ισπανία τον 2ο αιώνα μ.Χ.

Το φράγμα Proserpina (Σχήμα 1.2: **Το φράγμα Proserpina**

) έχει καταταχθεί ως κλασικό μεταξύ των κατασκευών αυτού του τύπου. Ένα ανάντη τμήμα αποτελείται από έναν πυρήνα από σκυρόδεμα που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο τοίχους από τοιχοποιία. Το αρχικό πάχος του σύνθετου τοίχου έχει υπολογιστεί ότι είναι περίπου 3,75 μ. στην κορυφή.

Ορισμένες αναφορές δείχνουν ότι αυτό μπορεί να ήταν μόλις 2,1 ή 2,4 m σε λίγα σημεία. Στη θεμελίωση το πάχος μπορεί να έφτανε τα 5 m. Ο τοίχος εκτείνεται περίπου 6 m μέσα στο θεμέλιο. Τοποθετήθηκε επίσης χώμα στην κατάντη πλευρά του τοίχου, με κλίσεις 5:1.



Σχήμα 1.2: Το φράγμα Proserpina

[4]

Τα αρχεία δεν αποκαλύπτουν πολλά για τη διάρκεια ζωής του σχεδόν 2.000 ετών φράγματος Proserpina. Υποτίθεται ότι έχει υποστεί μεγάλες περιόδους που δε συντηρούνταν. Υπάρχουν πληροφορίες για επισκευές και τροποποιήσεις που έγιναν τα έτη 1617, 1689 και 1791.

Αυτό θα έδειχνε ότι ο ταμιευτήρας ήταν πιθανώς σε συνεχή λειτουργία για σχεδόν 400 χρόνια. Δεν έχει υποστεί επίσης αλλοιώσεις και προβλήματα από λάσπη. Το 1942 έγιναν μεγάλες επισκευές, συμπεριλαμβανομένης της αποκατάστασης της τοιχοποιίας του. Το νερό εξακολουθεί να παρέχεται μέσω ενός ρωμαϊκού υδραγωγείου μεταξύ του φράγματος και της Μεριδά.

Οι υδροτροχοί χρησιμοποιούνται εδώ και χιλιάδες χρόνια. Η άμεση δράση του πίδακα νερού από πτώση σε έναν υδροτροχό παράγει μηχανική ενέργεια. Οι Ρωμαίοι γνώριζαν αυτές τις συσκευές από τον 1ο αιώνα π.Χ. Ωστόσο, οι υδροτροχοί χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς μόνο από τον 14ο αιώνα για λείανση,

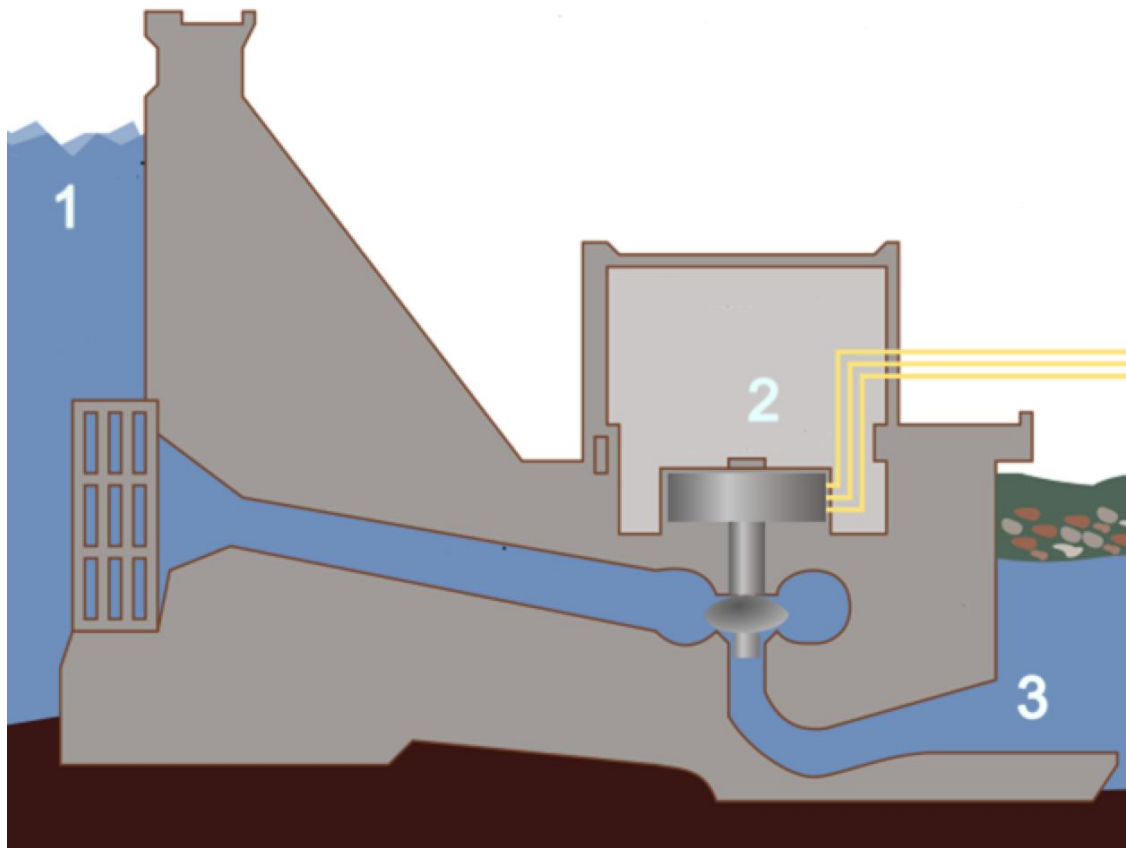
πριόνισμα και τροφοδοσία των υφαντουργείων, μεταξύ κάποιων άλλων χρήσεων.

Μέχρι το τέλος του 18ου αιώνα, υπήρχαν περίπου 10.000 υδροτροχοί στη Νέα Αγγλία. Κατά τον 18ο και 19ο αιώνα, με τις νέες τεχνολογίες όπως η ατμομηχανή, η μηχανή, το δυναμό, ο λαμπτήρας και ο υδραυλικός στρόβιλος, κατέστη δυνατή η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Κοντά στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς χτίστηκαν μύλοι και εργοστάσια για να μπορούν να χρησιμοποιούν άμεσα τη διαθέσιμη ενέργεια.

1.2 Μεταφορά ενέργειας

Το Σχήμα 1.3: Σχέδιο υδροηλεκτρικού φράγματος

[5] δείχνει ότι το τυπικό σχέδιο της εγκατάστασης ενός υδροηλεκτρικού σταθμού είναι η μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το σημείο 1 αντιπροσωπεύει τη δεξαμενή, που δημιουργήθηκε από ένα φράγμα, το οποίο τροφοδοτεί το στρόβιλο. Η εγκατάσταση 2 περιλαμβάνει το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που στεγάζει την ομάδα γεννητριών στροβίλων. Το δοχείο 3 αντιπροσωπεύει το κανάλι ουράς, μέσω του οποίου η ροή αποκαθίσταται στη φυσική κοίτη του ποταμού.



Σχήμα 1.3: Σχέδιο υδροηλεκτρικού φράγματος

[5]

Η μικτή κεφαλή¹ H , που αντιπροσωπεύει τη δυναμική ενέργεια ανά μονάδα βάρους, είναι ίση με τη διαφορά μεταξύ WL_{res} και WL_{tw} , παραβλέποντας την κεφαλή, ταχύτητας $V^2/2g$. Το νερό από τον ταμιευτήρα έχει θεωρητικά μια δυναμική ενέργεια σε σύγκριση με το νερό της ουράς που δίνεται από την εξίσωση:

$$E = \gamma HV = \rho g V H$$

(1.1)

¹ Η κεφαλή είναι η διαφορά ύψους μεταξύ του σημείου εισόδου του νερού στο υδροηλεκτρικό σύστημα και του σημείου εξόδου του, μετρούμενη σε μέτρα. Συνήθως αυτό θα μπορούσε να είναι το ύψος ενός φράγματος στην είσοδο του στροβίλου, ή εάν η τοποθεσία δεν είναι ανεπτυγμένη, θα είναι μεταξύ του σημείου που θα βρισκόταν το πλέγμα υδροληψίας και του σημείου όπου το νερό εκκενώνεται από τον στρόβιλο και επιστρέφει στο υδάτινο ρεύμα.

Η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου είναι ισχύς, P. Καθώς V/T είναι η ροή:

$$P = \gamma QH = \rho gQH$$

(1.2)

Σύμφωνα με το διεθνές σύστημα MLT (μάζα, μήκος, χρόνος) ή το πρακτικό σύστημα FLT (δύναμη, μήκος, χρόνος), πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι παράμετροι του νερού που αναφέρονται στον Πίνακας 1.1: **Διεθνές σύστημα MLT και πρακτικό σύστημα FLT.**

Πίνακας 1.1: Διεθνές σύστημα MLT και πρακτικό σύστημα FLT

Παράμετρος	Διεθνές σύστημα	Πρακτικό σύστημα
γ – Ειδικό βάρος νερού	9,810 N/m ³	1,000 kgf/m ³
ρ – Ειδική μάζα νερού	1,000 kg/m ³	102 kgf s ² /m ⁴
g – Επιτάχυνση της βαρύτητας	9.8 m/s ²	9.8 m/s ²
e – Συνολική απόδοση της εγκατάστασης	%	%
V – Όγκος της	m ³	m ³

δεξαμενής		
H – Μήκος κεφαλής	m	m
Q – Ονομαστική ροή	m^3/s	m^3/s

Με τη μονάδα σε λειτουργία, η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια από το στρόβιλο, ο οποίος με τη σειρά του, τη μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια από τη γεννήτρια. Είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη η απόδοση του στροβίλου, $\mu_T \approx 0,90$, η απόδοση της γεννήτριας, $\mu_G \approx 0,98$, και $\mu=0,88$.

Είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη επίσης οι απώλειες της κεφαλής στο υδραυλικό κύκλωμα, συμπεριλαμβανομένου του νερού της ουράς και του:

$$H_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

(1.3)

Αυτές οι απώλειες είναι της τάξεως του 2%-5%, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της μονάδας. Άρα, $H_L = H - \Sigma H_f$ (H_f = άθροισμα απωλειών κεφαλής). Επομένως, η ισχύς εξόδου είναι:

$$P = \mu \gamma Q H_L = \mu \rho g Q H_L \quad (1.4)$$

Στο διεθνές σύστημα:

$$P = 1,000 \times 9.8\mu \times Q \times H_L (kg/m^3 m/s^2 m^3/s m)$$

$$P = 9,800\mu Q H_L (kg m/s^2 m/s) \quad (1.5)$$

Στο πρακτικό σύστημα:

$$P = 1,000 \mu QH_L (kgf/m^3 m^3/s m)$$

$$P = 1,000 \mu QH_L (kgf m/s) \quad (1.6)$$

Η ηλεκτρική ισχύς εκφράζεται σε kW (1 kW = 1.000 W). Εξ' ορισμού, 1 W = 1 J/s = 1 Nm/s, άρα 1 kW = 1.000 Nm/s. Σύμφωνα με το νόμο του Νεύτωνα, 1 N είναι η δύναμη που επιταχύνει τη μάζα του 1 kg με επιτάχυνση 1 m/s²:

$$F = ma (1.0N = 1.0kgm/s^2) \quad (1.7)$$

Η εξίσωση 1.4 μπορεί επομένως να γραφτεί ως:

$$P = 9.8 \mu QH (1,000 Ns/m), \text{ ή } P = 9.8 \mu QH (kW) \quad (1.8)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τις μέσες τιμές της απόδοσης του στροβίλου και της γεννήτριας, λαμβάνεται ο ακόλουθος τύπος:

$$P = 8.6QH (kW) \quad (1.9)$$

Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται στις προκαταρκτικές αξιολογήσεις της διαθέσιμης ισχύος σε μια δεδομένη τοποθεσία. Σημειωτέων ότι από τις εξισώσεις (1.6) και (1.8), λαμβάνεται απευθείας η ισοδυναμία μεταξύ των μονάδων ισχύος στα δύο συστήματα μονάδων: 1 kW=102 kgf m/s.

1.3 Στοιχεία δομής

Μια τυπική υδροηλεκτρική εγκατάσταση αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Ένα φράγμα που κλείνει τον ποταμό για να δημιουργήσει τον ταμιευτήρα (προπύργιο).
- Υδραυλικές εγκαταστάσεις μεταφοράς, η κεφαλή, οι κεφαλές, οι πύλες, οι βαλβίδες, και η αυλάκωση.
- Έναν υπερχειλιστή για την απόρριψη των πλημμυρών, ο οποίος συνήθως περιλαμβάνει τους οχετούς, ή τις εξόδους του πυθμένα.
- Τη δομή του εργοστασίου παραγωγής της ενέργειας, τη μονάδα στροβίλου-γεννήτριας, συμπεριλαμβανομένων των οδηγών των πτερυγίων, ή των πυλών, του στροβίλου, του σωλήνα έλξης, του ενισχυτή της ταχύτητας, της γεννήτριας και του ρυθμιστή της ταχύτητας.
- Συστήματα εξαερισμού, πυροπροστασίας, επικοινωνιών και εξοπλισμός για την ψύξη του νερού.
- Υποσταθμό που περιλαμβάνει μετασχηματιστή, εξοπλισμό διανομής, αυτόματα χειριστήρια, αγωγούς και συστήματα γείωσης και κεραυνών.

- Γραμμή μεταφοράς.

Οι τύποι της διάταξης ποικίλλουν ανάλογα με τα τοπογραφικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά κάθε τοποθεσίας. Διαφέρουν για παράδειγμα αν η τοποθεσία είναι πεδιάδα ή κοιλάδα «V».

1.4 Τύποι σταθμών παραγωγής και διατάξεις

1.4.1 Τύπος λειτουργίας

Ανάλογα με το είδος της λειτουργίας, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί χαρακτηρίζονται με, ή χωρίς ταμιευτήρα ρύθμισης. Οι εγκαταστάσεις χωρίς ταμιευτήρα ρύθμισης είναι εκείνες των οποίων η στάθμη του νερού λειτουργίας (WL) δεν ποικίλλει (ή ποικίλλει πολύ λίγο) και περιγράφονται ως «τρεχούμενο ποτάμι». Αυτές, περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις ημερήσιας, ή εβδομαδιαίας ρύθμισης που παρέχουν ισχύ αιχμής σε περιόδους αιχμής. Το WL ποικίλλει πολύ στις περιόδους πλημμύρας και ξηρασίας ανάλογα με τον ταμιευτήρα συσσώρευσης/ρύθμισης. Υπάρχουν επίσης αναστρέψιμες εγκαταστάσεις, με περισσότερους από έναν ταμιευτήρες. Το νερό αντλείται από αυτές τις εγκαταστάσεις στον υψηλότερο ταμιευτήρα κατά τις ώρες χαμηλότερης ενεργειακής ζήτησης του συστήματος, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αργότερα και να πραγματοποιηθεί παραγωγή σε ώρες αιχμής.

Από τη δεκαετία του 1990, λόγω διαφόρων περιβαλλοντικών περιορισμών, οι εγκαταστάσεις με ταμιευτήρες ρύθμισης χρησιμοποιούνται λιγότερο και αντί αυτού, χρησιμοποιούνται περισσότερο οι μεγαλύτεροι ταμιευτήρες. Αρχικά, οι ταμιευτήρες έχουν σίγουρα αντίκτυπο στην οικολογική ισορροπία. Υπάρχουν πολλά στοιχεία επιτυχίας στην προσαρμογή στο νέο, και καλύτερο, οικολογικό περιβάλλον. Οι ταμιευτήρες είναι απαραίτητοι, όχι μόνο για την παραγωγή της ενέργειας, αλλά και για τη διαχείριση των κινδύνων που σχετίζονται με τα

ακραία υδρολογικά φαινόμενα, καθώς και για την αποθήκευση του νερού και της ενέργειας [6].

Οι ταμιευτήρες ταξινομούνται ανάλογα με τη διάρκεια πλήρωσης. Από αυτή την άποψη διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- ημερήσιοι ή εβδομαδιαίοι ρυθμιστικοί ταμιευτήρες, με όγκους της ίδιας τάξης μεγέθους με τους όγκους των πλούσιων ροών (ημερήσιες, ή εβδομαδιαίες ροές).
- εποχιακοί ταμιευτήρες, των οποίων οι όγκοι είναι της τάξης μεγέθους των συνεισφορών της περιόδου των βροχών. Αυτοί οι ταμιευτήρες, γενικά, βρίσκονται στην ανώτερη ροή των ποταμών και επιτρέπουν την αποθήκευση του νερού κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, για χρήση στην περίοδο μεγάλης κατανάλωσης.
- δια-ετήσιοι ταμιευτήρες, των οποίων οι όγκοι είναι μεγαλύτεροι από τον όγκο των ετήσιων εισφορών. Επιτρέπουν την αποθήκευση του νερού κατά τη διάρκεια ενός υγρού έτους για τη χρήση σε ένα ξηρό έτος.

Η επιλογή του όγκου του ταμιευτήρα είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών του τόπου χρήσης και υπόκειται σε περιβαλλοντικούς περιορισμούς και υφιστάμενες δραστηριότητες στην περιοχή (οικισμοί, υποδομές, υπάρχουσες χρήσεις κ.λπ.).

1.4.2 Τύπος χρήσης

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί χαρακτηρίζονται από τον τύπο χρήσης «βάσης» και «αιχμής». Μια μονάδα βάσης είναι αυτή στην οποία η ενέργεια που παράγεται από αυτήν χρησιμοποιείται για τη συνεχή παροχή του φορτίου που απαιτεί το σύστημα (SIN). Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι από τη φύση τους βασικές εγκαταστάσεις. Ένα εργοστάσιο αιχμής έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί ειδικά για να ανταποκρίνεται στις ώρες αιχμής. Χρησιμοποιεί τον ταμιευτήρα για να παρέχει τους απαραίτητους ρυθμούς ροής για την παραγωγή της

ενέργειας ανεξάρτητα από τους παραπόταμους. Η ενέργεια από αυτές τις εγκαταστάσεις είναι διαθέσιμη σχεδόν συνεχώς και αναφέρεται ως «σταθερή ενέργεια» (διαθέσιμη ενέργεια στο 95% του χρόνου). Ωστόσο, η ζήτηση της ενέργειας ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας, πάνω ή κάτω από τη βασική ενέργεια. Αυτές οι αιχμές του φορτίου μπορούν συνήθως να εξυπηρετούνται από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με ταμειυτήρες ρύθμισης, για μεγαλύτερη ευελιξία στην παροχή των διακυμάνσεων της κατανάλωσης.

1.4.3 Τύπος κεφαλής

Ανάλογα με την κεφαλή, τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- Εγκαταστάσεις χαμηλής κεφαλής με στροβίλους (Y <20 m), ή Kaplan (20 m <Y <60 m).
- Σταθμοί μεσαίας έως και υψηλής ισχύος με στροβίλους Francis (40 m <H <400 m).
- Εγκαταστάσεις πολύ υψηλής κεφαλής, με στροβίλους Pelton (350 m <Y < 1.100 m).

1.4.4 Τύποι διατάξεων

Η διάταξη των υδροηλεκτρικών σταθμών ποικίλλει ανάλογα με τις τοπογραφικές και γεωλογικές-γεωτεχνικές συνθήκες της τοποθεσίας. Βασικά, υπάρχουν δύο τύποι διατάξεων που υιοθετούνται τακτικά:

- Διατάξεις φραγμάτων με όλες τις κατασκευές τοποθετημένες κατά μήκος του άξονα του φράγματος, συμπεριλαμβανομένου του εργοστασίου παραγωγής της ενέργειας.

- Διατάξεις πτώσης καναλιών για μέρη με μεγάλη φυσική πτώση, όπου το φράγμα είναι τοποθετημένο ανάντη της πτώσης και το υδραυλικό κύκλωμα προσαγωγής και παραγωγής βρίσκεται σε έναν άλλο άξονα (σε μία από τις όχθες), με το εργοστάσιο παραγωγής της ενέργειας τοποθετημένο στην κατάντη όψη του κύριου φράγματος. Επίσης η θέση του υπερχειλιστή είναι μεταβλητή, δηλαδή μπορεί να συμπεριληφθεί στο σώμα του φράγματος, ή μπορεί να είναι υπερχειλιστής αγωγού στο στήριγμα ή υπερχειλιστής οχετού κ.λπ.

Κάθε περίπτωση έχει τις ιδιαιτερότητές της και οι πιο οικονομικές, τεχνικές και αναζητούνται συστηματικά στις μελέτες και τα έργα των επιχειρήσεων οι διάφορες περιβαλλοντικές εναλλακτικές.

Στις διατάξεις του φράγματος, η εισαγωγή/παραγωγική μονάδα και ο υπερχειλιστής ενσωματώνονται στον άξονα του φράγματος. Η κεφαλή (H) δημιουργείται από το φράγμα. Όταν οι τοποθεσίες βρίσκονται σε πεδιάδες σε χαμηλά τμήματα των ποταμών, υπάρχει ένας άξονας του φράγματος με κάποια προέκταση και οι πλευρικές κατασκευές, συνήθως εκτεταμένες, είναι δημιουργημένες από φράγματα χώματος, ή βράχους.

Αυτή είναι η περίπτωση του φράγματος Balbina, μήκους 3,2 km, στον ποταμό Uatumã, στη Βραζιλία (Σχήμα 1.4: **Υδροηλεκτρικό φράγμα Balbina (Βραζιλία)**)

), του Tucuruí, μήκους 7,0 km, στον ποταμό Tocantins, Pará (Σχήμα 1.5: **Υδροηλεκτρικό φράγμα Tucuruí (Βραζιλία)**)

, του Itaipu, μήκους 7,8 km, στα σύνορα του ποταμού Paraná μεταξύ της Παραγουάης και της Βραζιλίας (Σχήμα 1.6: **Υδροηλεκτρικό φράγμα Itaipu (Παραγουάης-Βραζιλία)**)

) και του Sobradinho, μήκους 8,5 km, στον ποταμό São Francisco, Βραζιλία (Σχήμα 1.7: **Υδροηλεκτρικό φράγμα Sobradinho (Βραζιλία)**)

).



Σχήμα 1.4: Υδροηλεκτρικό φράγμα Balbina (Βραζιλία)

[7]



Σχήμα 1.5: Υδροηλεκτρικό φράγμα Tucuruí (Βραζιλία)

[8]



Σχήμα 1.6: Υδροηλεκτρικό φράγμα Itaipu (Παραγουάης-Βραζιλία)

[9]



Σχήμα 1.7: Υδροηλεκτρικό φράγμα Sobradinho (Βραζιλία)

[10]

Όταν αυτές οι τοποθεσίες βρίσκονται σε κοιλάδες με απότομα τοιχώματα ("V"), το κύριο φράγμα μπορεί να αποτελείται από βράχο με τμήμα γης (πυρήνα γης), ή τσιμεντένια όψη βράχου, ή πυρήνα ασφάλτου ή ακόμα και ένα φράγμα από σκυρόδεμα.

Αυτή είναι η περίπτωση του Itapebi, μήκους 583 m, του ποταμού Jequitinhonha, του Barra Grande, μήκους 670 m, του ποταμού Pelotas και του Campos Novos HPP, μήκους 590 m, του ποταμού Canoas, μεταξύ άλλων. Στην περίπτωση του Foz do Charcó το φράγμα, μήκους 548 μέτρων, έχει πυρήνα ασφάλτου. Στην περίπτωση του Funil, το φράγμα είναι τοξοειδές σκυρόδεμα, μήκους 360 m.

Όπου υπάρχει έντονη φυσική πτώση (H), σε ένα σύντομο τμήμα του ποταμού, η διάταξη είναι συνήθως μορφοποιημένη ως παράκαμψη, με το φράγμα να βρίσκεται τοποθετημένο ανάντη της πτώσης και το κύκλωμα της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας να βρίσκεται τοποθετημένο σε μια από τις δύο πλευρές, με το εργοστάσιο παραγωγής της ενέργειας στην κατάντη όψη, μακριά από το κεντρικό φράγμα.

Αυτή είναι η περίπτωση των έργων Itá, του ποταμού της Ουρουγουάης (Santa Catarina/Rio Grande do Sul), μήκους 880 μέτρων, του Santa Rosa, του Rio Grande (Ρίο ντε Τζανέιρο) και του Colino, στον ποταμό Jucuruçu do Sul (φράγμα με επέκταση 200μ.). Παρόμοια διάταξη υπάρχει και στο Conde d'Eu Basic Project (8,2 MW), στον ποταμό Paquequer (Ρίο ντε Τζανέιρο). Στην τοποθεσία, υπάρχει φυσική πτώση 270m. Η διάταξη περιλαμβάνει ένα φράγμα υπερχειλιστή από σκυρόδεμα μήκους 50 μέτρων, ένα ακόμη φράγμα υπερχειλιστή ύψους 8 μέτρων και ηλεκτρικό κύκλωμα με σήραγγα χαμηλής πίεσης μήκους 276 μέτρων. Η αρχή του τμήματος της υψηλής πίεσης συμπίπτει με τη θέση του κατακόρυφου άξονα, ύψους 221 m, και της δεξαμενής υπερχείλισης.

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στο εργοστάσιο «La Grande Dixence», 2.069 MW, Valais, Ελβετία (Σχήμα 1.8: **Μονάδα «La Grande Dixence (Ελβετία)**

) που υλοποιήθηκε μεταξύ του 1950 και του 1965. Αυτό το φράγμα, ύψους 285 μέτρων, στον μικρό ποταμό Dixence, σχηματίζει τη λίμνη Dix, με έκταση 4,0 km². Η λίμνη δέχεται νερό από άλλους ποταμούς, που αντλούνται στους

σταθμούς Z'Mutt, Stafel, Ferpècle και Arolla, που μεταφέρονται από σήραγγες μήκους 100 χιλιομέτρων, καθώς και από το φράγμα της λίμνης Cleuson (87 μέτρα από το ύψος), 7,0 χιλιόμετρα βορειοδυτικά. Το υπόλοιπο νερό προέρχεται από το λιώσιμο των παγετώνων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η λίμνη έχει τη μέγιστη χωρητικότητά της το Σεπτέμβριο και την ελάχιστη χωρητικότητά της τον Απρίλιο.

Ο ταμιευτήρας Grande Dixence προμηθεύει τέσσερις υδροηλεκτρικούς σταθμούς:

- Chandoline (120 MW; Hb = 1.748 m; Q = 6,25 m³/s)
- Fionnay (290 MW, Hb = 874 m, Q = 45 m³/s)
- Nendaz (390 MW; Hb = 1.008 m; Q = 45 m³/s)
- Bieudron (1.269 MW; Hb = 1.883 m; Q = 75 m³/s)

Με εξαίρεση το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας Fionnay, του οποίου η ροή του στροβίλου τροφοδοτεί το Nendaz, όλα τα εργοστάσια ρέουν στον ποταμό Ροδανό. Το Chandoline, το εργοστάσιο για το αρχικό φράγμα Dixence, τέθηκε σε λειτουργία το 1934. Το φράγμα Grande Dixence βύθισε το αρχικό φράγμα, αλλά το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας του Chandoline παρέμεινε. Οι στρόβιλοί του ξαναδημιουργήθηκαν, μετά το νέο Dixence, με τις διαστάσεις, 5 Pelton των 24 MW έκαστος. Το εργοστάσιο βρίσκεται εκτός λειτουργίας από τον Ιούλιο του 2013.



Σχήμα 1.8: Μονάδα «La Grande Dixence (Ελβετία)

[11]

Το εργοστάσιο Fionnay τροφοδοτείται μέσω μιας σήραγγας υπό πίεση μήκους 9,0 km, που έχει ανασκαφεί με μέση κλίση 10%. Από τη δεξαμενή υπερχειλίσης, μετατρέπεται σε εξαναγκασμένο αγωγό που κατεβαίνει 800 μέτρα με μεγάλη κλίση, 73%, μέχρι το σπήλαιο του εργοστασίου παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος, όπου χωρίζεται στους 6 στρόβιλους.

Το εργοστάσιο του Nendaz λαμβάνει τις σχεδιαστικές ροές στο Fionnay, οι οποίες ταξιδεύουν 16 χιλιόμετρα υπό πίεση σε σήραγγα μέχρι το σημείο όπου μετατρέπεται σε εξαναγκασμένο αγωγό που βυθίζεται 1.000 μέτρα στην ανάντη περιοχή του εργοστασίου παραγωγής της ενέργειας, όπου πηγαίνει προς τους έξι στρόβιλους.

Το Bieudron έχει μια σήραγγα μεγάλης πίεσης μέχρι τη δεξαμενή της υπερχειλίσης. Εδώ, μεταμορφώνεται σε έναν υδατοφράκτη που καταδύεται στο εργοστάσιο παραγωγής της ενέργειας. Η μονάδα αυτή τέθηκε σε λειτουργία το 1988. Έχει καθαρή κεφαλή 1.869 m, παροχή $75 \text{ m}^3/\text{s}$ και απόδοση 92%. Οι στρόβιλοι Pelton έχουν πέντε πίδακες, με διάμετρο 193 mm και ταχύτητα εξόδου 192 m/s ($2 \times 9,81 \times 1,869$). Η κινητική ενέργεια καθενός από τους πέντε πίδακες έχει ισχύ 80.367 kW (Εξοδος= $kQH=8,6 \times 5 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.869 \text{ m}$).

Ο υδατοφράκτης έσπασε στις 12 Δεκεμβρίου 2000 και η ανακατασκευή ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 2009, ενώ το εργοστάσιο ξεκίνησε τη λειτουργία του τον Ιανουάριο του 2010.

Η θέση και οι τύποι των υπερχειλιστών μπορεί να διαφέρουν πολύ από έργο σε έργο, ανάλογα με την τοποθεσία και τον τύπο του φράγματος. Σε διάταξη με φράγμα χώματος/πετρώματος, η υπερχειλίση είναι ενσωματωμένη στον κύριο άξονα. Παραδείγματα της δομής αποτελούν συνήθως ένα φράγμα βαρύτητας, ή ένα φράγμα με διασπορά της ενέργειας στο άλμα (π.χ. Tucuruí), ή σε ένα υδραυλικό άλμα (π.χ. Balbina).

Εάν το φράγμα είναι κατασκευασμένο από σκυρόδεμα, ο υπερχειλιστής μπορεί να είναι πάνω από το φράγμα, με έλεγχο των πυλών και διαρροή στο άλμα, όπως αυτό του Karakaya (Τουρκία), ή σε διασταυρούμενους πίδακες, όπως το Cahora-Bassa (Μοκαμβίκη). Μπορεί επίσης να είναι χωρίς έλεγχο των πυλών με μερική διάχυση σε βήματα, όπως αυτό του Dona Francisca (Rio Grande do Sul). Στην περίπτωση του Karakaya, ο «κάδος» του υπερχειλιστή είναι η οροφή του εργοστασίου παραγωγής της ενέργειας.

Συχνά χρησιμοποιείται ως πλευρικός υπερχειλιστής όπως στο Monjolinho ακολουθούμενος από ένα κανάλι αποκατάστασης (Σχήμα 1.9: Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Monjolinho

), ή όπως στο Hoover ακολουθούμενο από μια σήραγγα αποκατάστασης (Σχήμα 1.10: Φράγμα Hoover

).

Σε πολλές περιπτώσεις, υπάρχει υπερχειλιστής αγωγών στα κολοβώματα, όπως μεταξύ άλλων στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς Itaipu, Barra Grande, Itá, Foz

do Areia, Emborcação, Campos Novos, Nova Ponte και Serra da Mesa. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτοί οι τρεις τελευταίοι υπερχειλιστές έχουν ένα μέρος του αγωγού πάνω από τον βραχώδη όγκο στο ακρόβαθρο.



Σχήμα 1.9: Υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Monjolinho

[13]



Σχήμα 1.10: Φράγμα Hoover
[12]

2. Κεφάλαιο: Σχεδιασμός παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας

2.1 Λεκάνες απορροής και πολλαπλές χρήσεις του νερού

Η Ρωσία, η Κίνα και η Βραζιλία διαθέτουν ένα από τα πιο εκτεταμένα, πυκνά, διαφοροποιημένα και εκτεταμένα δίκτυα ποταμών στον κόσμο. Περίπου το 13% του συνόλου του γλυκού νερού βρίσκεται στην επικράτεια της Βραζιλίας.

Σαν παράδειγμα χρησιμοποιούνται οι λεκάνες απορροής της Βραζιλίας καθώς και στη βιβλιογραφία αναφέρονται συχνά λόγω της ποικιλίας που υπάρχει στην εν λόγω περιοχή. Υπάρχουν 12 λεκάνες απορροής στη Βραζιλία. Σε επτά από αυτές επικρατεί το όνομα των κύριων ποταμών: Amazonas, Tocantins-Araguaia, São Francisco, Parnaíba, Paraná, Paraguai e Uruguai. Στις υπόλοιπες υπάρχει μια ομαδοποίηση. Δεν υπάρχει δηλαδή ένας κύριος ποταμός ως άξονας και ως εκ τούτου ονομάζονται ως «Λεκάνη Νοτίου Ατλαντικού», «Λεκάνη Νοτιοανατολικού Ατλαντικού», «Λεκάνη Ανατολικού Ατλαντικού», «Λεκάνη Ανατολικού Βορειοανατολικού Ατλαντικού» και «Λεκάνη Δυτικού Βορειοανατολικού Ατλαντικού».

Μετά την Κίνα και τη Ρωσία, η Βραζιλία έχει το τρίτο μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό δυναμικό στον κόσμο. Οι λεκάνες απορροής της Αμαζόνας και της Παραγουάης καταλαμβάνουν εκτεταμένες πεδιάδες. Οι λεκάνες απορροής των ποταμών Paraná και São Francisco είναι οροπέδιο. Οι Urubupungá (ποταμός Paraná), ο Pirapora, ο Sobradinho, ο Itaparica και ο Paulo Afonso (ποταμός São Francisco) αξίζουν ιδιαίτερης αναφοράς μεταξύ των φυσικών καταρρακτών που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση των διάφορων αναπτυξιακών έργων στην περιοχή. Οι καταρράκτες Iguaçu είναι από αυτούς

που διατηρούνται λόγω της γραφικής, περιβαλλοντικής και τουριστικής τους αξίας.

Τα ποτάμια της Βραζιλίας τροφοδοτούνται από το νερό της βροχής. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στη Νότια Αμερική είναι 1.600 mm (δηλαδή διπλάσια από τις άλλες ηπείρους). Στη Βραζιλία, είναι 1.800 mm.

Λόγω της κυριαρχίας του τροπικού κλίματος, στο μεγαλύτερο μέρος της επικράτειας της Βραζιλίας, συμβαίνουν πλημμύρες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Δεκέμβριος-Μάρτιος), εκτός από ορισμένους βορειοανατολικούς ποταμούς που πλημμυρίζουν κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα (Απρίλιος-Ιούλιος). Δεδομένου ότι οι ποταμοί του Αμαζονίου έχουν ποικίλες προσωρινές συνεισφορές (βροχοπτώσεις και τήξη των Άνδεων), εξασθενούν την άμπωτη (η ροή πίσω από το στάδιο της πλημμύρας). Λόγω της πιθανότητας κάποιων έντονων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του έτους (ψυχρά μέτωπα σε συνδυασμό με κέντρα χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης), οι Νότιοι ποταμοί έχουν άμπωτες χαμηλής ακρίβειας την εποχή της χαμηλότερης έντασης. Με εξαίρεση ορισμένους ποταμούς στην ημίξηρη περιοχή στα βορειοανατολικά, τα περισσότερα από τα ποτάμια είναι πολυετή.

Οι κύριες χρήσεις του νερού ταξινομούνται ως:

- καταναλωτικής χρήσης: αστική και αγροτική παροχή, κτηνοτροφία, άρδευση και βιομηχανική χρήση
- μη καταναλωτικής χρήσης: παραγωγή ενέργειας, ναυσιπλοΐα, αντιπλημμυρικός έλεγχος, τουρισμός και αναψυχή, υδατοκαλλιέργεια και αλιεία και συντήρηση οικοσυστημάτων.

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, η παραγόμενη ισχύς σε ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο εκτιμάται από την Εξίσωση 1.9:

$$P = 8.6QH(kW)$$

(1.9)

όπου Q = ροή (m^3/s) και H = καθαρή κεφαλή κατά μήκος του στροβίλου (m). Για τις μελέτες πρέπει να πραγματοποιούνται τόσο οι χαρτογραφικές, όσο και οι υδρολογικές με τέτοιο επίπεδο λεπτομέρειας που να τους δίνει την ποιότητα και την απαραίτητη ακρίβεια.

Οι υδρολογικές μελέτες παρέχουν τις πλημμύρες για το σχεδιασμό τόσο μόνιμων, όσο και προσωρινών κατασκευών, μαζί με τη σειρά των μηνιαίων μέσων ροών, που χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό της ισχύος και σε προσομοιώσεις ενεργειακών μελετών.

Οι χαρτογραφικές έρευνες πρέπει να πραγματοποιούνται σε κλίμακα που να επιτρέπεται κάθε εναλλακτική διαίρεση της διαθέσιμης κεφαλής στη λεκάνη, όπως αναγνώριση και αξιολόγηση όλων των παρεμβολών και των επιπτώσεων στην υποδομή και το περιβάλλον. Επιπλέον, απαιτείται ο προσδιορισμός των καμπυλών, το υψόμετρο, η περιοχή, ο όγκος των ταμιευτήρων και ο προσδιορισμός της συνολικής κεφαλής κάθε μονάδας.

Από περιβαλλοντική άποψη, αυτές οι μελέτες των εναλλακτικών λύσεων της διαθέσιμης κεφαλής στη λεκάνη είναι πολύπλοκες. Επομένως, πρέπει να εκτελούνται από μια έμπειρη ομάδα με τέτοιο τρόπο ώστε τα σχετικά μέτρα και προγράμματα να προωθούν τη βιώσιμη ανάπτυξη με τις ελάχιστες ζημιές. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο χρόνος που αφιερώνεται στη συλλογή ποιοτικών δεδομένων είναι μεγάλος στις περισσότερες περιπτώσεις.

Η Ολοκληρωμένη Περιβαλλοντική Εκτίμηση (ΟΠΕ) θα πρέπει να διενεργείται ταυτόχρονα με τις μελέτες απογραφής, αν και δε γίνεται συνήθως συστηματικά. Αν και μια ισχυρή διεθνής πολιτική δράση βρίσκεται σε εξέλιξη κατά των υδροηλεκτρικών φραγμάτων και των ταμιευτήρων τους, κατά τη γνώμη αρκετών, δεν έχει πολύ νόημα να είναι κανείς τόσο επικριτικός για τα υδροηλεκτρικά έργα, καθώς η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και έχει λιγότερο δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με άλλες τεχνολογίες που εμπλέκονται στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης ως λύση είναι σχετικά πολύ φθηνότερη από τις υπόλοιπες. Αρκετές ιδιοκτήτριες εταιρείες αντιμετώπισαν διάφορες ενέργειες αμφισβήτησης από τις εμπλεκόμενες κοινότητες, όταν ξεκίνησαν εργασίες στο παρελθόν.

2.2 Σχεδιασμός επέκτασης

2.3 Προϋπολογισμός και αξιολόγηση της υδροηλεκτρικής μονάδας

Ο προϋπολογισμός μιας υδροηλεκτρικής μονάδας αποτελεί συνήθως μια σύνθετη και πολύωρη διαδικασία και δεν είναι εύκολη υπόθεση. Η εκτίμηση του κόστους της θεμελίωσης και των αντίστοιχων επεξεργασιών των επιχωμάτων του εδάφους και των βράχων, των κατασκευών από σκυρόδεμα, του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού συμπεριλαμβανομένων της κατασκευής, της μεταφοράς και της συναρμολόγησης, του κόστους του υποσταθμού και της γραμμής μεταφοράς, είναι πάντα μια βαριά δραστηριότητα. Οποιοδήποτε σφάλμα εκτίμησης σε οποιοδήποτε από αυτά τα στοιχεία μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τη βιωσιμότητα του συνολικού έργου.

Ένας τυπικός προϋπολογισμός έχει συνήθως τους παρακάτω αναφερόμενους λογαριασμούς.

- Λογαριασμός περιβαλλοντικού κόστους. Περιλαμβάνει τη γη, τις μετεγκαταστάσεις και άλλες κοινωνικές και περιβαλλοντικές δράσεις. Σε μια σύμβαση, ο κίνδυνος αυτού του λογαριασμού είναι πολύ υψηλός.
- Λογαριασμός δομών και άλλων βελτιώσεων. Περιλαμβάνει επίσης το εργοστάσιο παραγωγής της ενέργειας.
- Λογαριασμός φραγμάτων και υδραυλικών εγκαταστάσεων μεταφοράς. Περιλαμβάνει τα φράγματα (χώμα, βράχο και σκυρόδεμα), τον υπερχειλιστή, το κανάλι της κεφαλής, την υδροληψία, τις σήραγγες και την αποβάθρα, τη δεξαμενή υπερχειλίσης, το κανάλι της ουράς, καθώς και διάφορες άλλες ειδικές κατασκευές. Περιλαμβάνει επίσης και την εκτροπή του ποταμού.

- Λογαριασμός που περιλαμβάνει τον κύριο εξοπλισμό, τους στροβίλους και τις γεννήτριες.
- Λογαριασμός που περιλαμβάνει τα εξαρτήματα του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.
- Λογαριασμός που περιλαμβάνει άλλο διάφορο εξοπλισμό της μονάδας.
- Λογαριασμός που περιλαμβάνει αυτοκινητόδρομους, σιδηρόδρομους, αεροδρόμιο, γέφυρες.
- Λογαριασμός που περιλαμβάνει έμμεσες δαπάνες, όπως η κατασκευή του εργοταξίου και η διοίκηση του ιδιοκτήτη.

Η τεχνική και οικονομική αξιολόγηση της υδροηλεκτρικής μονάδας πραγματοποιείται με την εξίσωση 2.1. Είναι μια κλασική μέθοδος και δίνει μια καλή εκτίμηση του ενεργειακού κόστους.

$$CE = \frac{(C_i \times FRC + O\&M \times EG)}{EF \times 8.760} \quad (2.1)$$

Όπου:

CE: Κόστος της ενέργειας που παράχθηκε (χρήματα/MWh)

C_i : Αξία της συνολικής επένδυσης, συμπεριλαμβάνοντας το επιτόκιο κατά την κατασκευή

FRC: Συντελεστής ανάκτησης κεφαλαίου (π.χ. FRC = 0.12414 για $n = 30$ χρόνια και $i = 12\%$ ανά χρόνο)

O&M: Ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης (χρήματα/MWh)

EG: Ετήσια παραγόμενη ενέργεια

EF: Σταθερή ενέργεια/εγγυημένη ενέργεια κατά την κρίσιμη περίοδο

8.760 ώρες ανά χρόνο

Η ελκυστικότητα του εργοστασίου αξιολογείται συγκρίνοντας το κόστος της ενέργειας που παράγει με το κόστος των εναλλακτικών πηγών ενέργειας όπως η πυρηνική, η ηλιακή, η αιολική, το πετρέλαιο, ο άνθρακας, τα πέλετ κ.λπ.

3. Κεφάλαιο: Υδρολογικές μελέτες και ισχύς εξόδου

3.1 Χαρακτηρισμός λεκάνης

Στο φυσιογραφικό χαρακτηρισμό εντοπίζεται ο ποταμός και η λεκάνη του (ή λεκάνη απορροής), μαζί με τη θέση του. Η πηγή του ποταμού θα πρέπει να προσδιορίζεται ως προς το δήμο, το υψόμετρο, την προέκταση του ποταμού μέχρι τις εκβολές και τους κύριους παραποτάμους του. Από την πηγή μέχρι την εκβολή, είναι απαραίτητο να χαρακτηριστεί το ανάγλυφο (π.χ. κυματιστό), το επίπεδο (π.χ. ορεινό) και ο αριθμός των υδροηλεκτρικών σταθμών που προβλέπονται στη λεκάνη. Είναι επίσης απαραίτητο να χαρακτηριστεί η πιθανότητα των πλημμυρών στη λεκάνη κατά την περίοδο των βροχών και κατά συνέπεια, να εκτιμηθεί η ικανότητα της φυσικής ρύθμισης των εκροών. Σημασία για τις μελέτες έχει και το σχήμα της λεκάνης, είτε επιμήκης κατά τη διαμήκη διεύθυνση του ποταμού είτε κυκλική κ.λπ. Προκειμένου να δημιουργηθούν σχέσεις και συγκρίσεις, τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται παρακάτω πρέπει να καθοριστούν τόσο για την ενσωματωμένη λεκάνη, όσο και για το τμήμα από την πηγή έως τη θέση της μελλοντικής μονάδας.

Η περιοχή της αποστράγγισης μιας λεκάνης είναι η προβολή της επιφάνειας που περιέχεται μεταξύ των τοπογραφικών διαχωριστών της (διαιρέτες νερού) σε οριζόντιο επίπεδο. Λαμβάνεται μέσω της επιπεδομετρίας στους χάρτες και συνήθως εκφράζεται σε km^2 .

Για το χαρακτηρισμό του σχήματος μιας λεκάνης χρησιμοποιούνται δείκτες που επιδιώκουν να τη συσχετίσουν με γνωστές γεωμετρικές μορφές. Ο δείκτης, ή ο συντελεστής συμπαγούς (Kc) δείχνει τη σχέση μεταξύ της περιμέτρου της λεκάνης και ενός κύκλου εμβαδού ίσου με αυτό της λεκάνης, δηλαδή:

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A_d}}$$

(3.1)

Όπου P είναι η περίμετρος της λεκάνης (km) και A_d είναι η περιοχή της αποστράγγισης (km^2). Ο δείκτης συμπαγούς K_c είναι το μέτρο του βαθμού ανωμαλίας της λεκάνης. Πιο συγκεκριμένα για μια κυκλική λεκάνη, θα ήταν ίσο με 1,0. Η πιθανότητα εμφάνισης υψηλών πιθανοτήτων πλημμύρας στη λεκάνη αυξάνεται καθώς ο δείκτης συμπαγούς πλησιάζει στη μονάδα.

Ο δείκτης διαμόρφωσης (K_f), ή παράγοντας σχήματος, είναι ο λόγος του εμβαδού της λεκάνης ως προς το τετράγωνο του αξονικού της μήκους, μετρημένος κατά μήκος της κύριας υδάτινης ροής, από το στόμιο έως την πιο απομακρυσμένη πτώση κοντά στο διαχωριστικό των υδάτων της λεκάνης.

$$K_f = \frac{A_d}{L^2}$$

(3.2)

Όπου L είναι το αξονικό μήκος σε km.

Αυτός ο δείκτης διαμόρφωσης συσχετίζει το σχήμα της λεκάνης με ένα ορθογώνιο. Σε μια στενή και μεγάλη λεκάνη, η πιθανότητα έντονων βροχοπτώσεων που καλύπτουν την πλήρη έκτασή της είναι μικρότερη από ό,τι σε φαρδιές και μικρές λεκάνες. Για λεκάνες της ίδιας περιοχής, αυτή που έχει χαμηλότερο K_f θα υπόκειται λιγότερο σε πλημμύρες.

Η μέση κλίση της λεκάνης προκύπτει διαιρώντας τη διαφορά μεταξύ της πηγής και του στομίου με το συνολικό μήκος του κύριου υδάτινου ρεύματος. Η ταχύτητα ροής του ποταμού εξαρτάται από την κλίση του. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση, τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα ροής και κατά συνέπεια τόσο πιο οξείες είναι οι υδρογραφίες των πλημμυρών.

Ο χρόνος συγκέντρωσης αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για να συμβάλει ολόκληρη η λεκάνη στην απορροή σε ένα δεδομένο τμήμα. Με άλλα λόγια, είναι ο χρόνος που χρειάζεται μια σταγόνα που βυθίζεται στο πιο απομακρυσμένο σημείο του εξεταζόμενου τμήματος μιας λεκάνης για να φτάσει

σε αυτό το τμήμα. Στην περίπτωση των πλημμυρών, είναι ο ελάχιστος δυνατός χρόνος για αυτή τη μέγιστη πορεία αυτής της πτώσης.

Για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης υπάρχουν διάφοροι τύποι, ανάλογα με την περιοχή και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης. Αρκετά συνηθισμένος είναι ο τύπος της υπηρεσίας διατήρησης των φυσικών πόρων (NRCS, πρώην Υπηρεσία Διατήρησης Εδάφους), του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ. Αντίστοιχη υπηρεσία στην Ευρώπη αποτελεί ο Ευρωπαϊκός οργανισμός περιβάλλοντος (λειτουργία μέσω του Ευρωπαϊκού συστήματος λεκάνης απορροής και δικτύου ποταμών «Ecrins») [13].

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

(3.3)

Όπου:

t_c = ο χρόνος συγκέντρωσης (λεπτά)

L = το μήκος του κύριου υδάτινου ρεύματος (km)

H = η διαφορά μεταξύ των υψομέτρων του πιο απομακρυσμένου σημείου και του εξεταζόμενου σημείου (m)

3.2 Υδρομετεωρολογία

Για να χαρακτηριστεί κλιματικά η λεκάνη, είναι απαραίτητο να αναζητηθεί πρώτα η λίστα των υφιστάμενων σταθμών και να συμπληρωθεί με γειτονικούς σταθμούς, εάν δεν υπάρχουν αρκετοί κλιματολογικοί σταθμοί εντός της λεκάνης.

Θα πρέπει να επιλεγεί ο σταθμός με τη μεγαλύτερη περίοδο δεδομένων, με τα χαρακτηριστικά του να παρουσιάζονται σε πίνακα, που απεικονίζουν τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, αλλά και τη βροχόπτωση.

Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες, που υπολογίζονται από τις ισόθερμες των κανονικών κλιματολογικών χαρτών, θα πρέπει να παρουσιάζονται σε πίνακες, όπου συνήθως τα πιο σημαντικά είναι το πιο κρύο και το θερμότερο τρίμηνο. Πρέπει επίσης να παρουσιάζονται οι ακραίες τιμές θερμοκρασίας και το απόλυτο θερμικό πλάτος. Επιπλέον, θα πρέπει να δίνεται έμφαση στην υψηλή σχετική υγρασία. Για παράδειγμα το ποσοστό πάνω από το 70% δείχνει ότι υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα της διαδικασίας μετατροπής σε βροχόπτωση.

Με βάση την ανάλυση της ιστορικής σειράς των επιλεγμένων σταθμών, θα πρέπει να επιτρέπεται ο χαρακτηρισμός της ετήσιας κατανομής της μέσης βροχόπτωσης στη λεκάνη.

Η εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων χαρακτηρίζει την περίοδο των βροχών και την περίοδο της ξηρασίας. Θα πρέπει να αναφέρεται το ποσοστό με το οποίο η περίοδος των βροχών συνεισφέρει στο ετήσιο σύνολο. Είναι σημαντικό να προσδιοριστεί το πιο βροχερό τρίμηνο και η συνολική βροχόπτωση στην περίοδο.

3.3 Μετρήσεις ροής

Σε κάθε κράτος ξεχωριστά αλλά και σε επίπεδο μεγαλύτερων ομάδων κρατών (π.χ. Ε.Ε. ή Η.Π.Α.) υπάρχουν επίσημοι φορείς (μετεωρολογικοί σταθμοί κατά κύριο λόγο) που είναι υπεύθυνοι για την παροχή των σειρών δεδομένων (δεδομένα που περιέχονται σε βάσεις δεδομένων) των ρευματομετρικών σταθμών στα τμήματα των ποταμών και στις λεκάνες απορροής τους (Σχήμα 3.1: **Μετεωρολογικός σταθμός στην Στοκχόλμη**

).

Τα περισσότερα από τα δεδομένα παρουσιάζονται συνήθως σε κάποιο τυποποιημένο πίνακα, σύμφωνα με τις περιόδους παρατήρησης. Η καμπύλη απόρριψης του ποταμού (ή η καμπύλη ροής), δηλαδή η $Q \times WL$, είναι εξαιρετικής σημασίας για την αξιολόγηση της κεφαλής που είναι διαθέσιμη για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στο χώρο του έργου. Ως εκ τούτου, είναι σκόπιμο να γίνουν κάποιες παρατηρήσεις σχετικά με τη διαδικασία προσδιορισμού της (Σχήμα 3.2: **Μέτρηση της ροής σε ποτάμι**

). Αυτό, καθορίζεται από άμεσες επιτόπιες μετρήσεις στον επιτόπιο ροομετρικό σταθμό σε διάφορες ροές και επίπεδα ποταμών και μπορεί να είναι μονοσήμαντη ή όχι, σταθερή ή μεταβλητή με την πάροδο του χρόνου, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες.

Η εγκατάσταση του σταθμού αποτελείται ουσιαστικά από συσκευές μέτρησης της στάθμης του νερού, λινομετρικούς χάρακες κ.λπ. Οι μετρήσεις της ροής πρέπει επίσης να γίνονται από εξειδικευμένες εταιρείες. Ο σταθμός της μονάδας πρέπει να τοποθετείται σε κατάλληλο σημείο, με σταθερά και ευαίσθητα χαρακτηριστικά, ώστε να προκύπτει μια καλά καθορισμένη σχέση.



Σχήμα 3.1: Μετεωρολογικός σταθμός στην Στοκχόλμη

[14]



Σχήμα 3.2: Μέτρηση της ροής σε ποτάμι

[15]

Αυτό το μέρος πρέπει να πληροί τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Να είναι σε ευθύγραμμο τμήμα του ποταμού, με καλά καθορισμένα περιθώρια και χωρίς μεμονωμένα σημεία που μπορούν να διαταράξουν σημαντικά τη ροή.
- Η διατομή να είναι όσο το δυνατόν συμμετρική και με έντονες κλίσεις.
- Να υπάρχουν τακτικά κατανεμημένες ταχύτητες.
- Η μέση ταχύτητα να είναι μεγαλύτερη από 0,3 m/s.

Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των σταθμών είναι η σταθερότητα και η ευαισθησία. Είναι προφανές ότι εάν η συστηματική ροή προκύπτει από τα παρατηρούμενα επίπεδα του νερού, η σταθερότητα του λόγου ποσόστωσης-ροής λαμβάνει μια κυρίαρχη τιμή.

Ωστόσο, οι ποταμοί δεν παρουσιάζουν πάντα τις απαραίτητες προϋποθέσεις για αυτή τη σταθερότητα. Τα φυσικά χαρακτηριστικά, όπως η διαμόρφωση, η βλάστηση των όχθων και των πλημμυρικών ζωνών και η φύση της περιοχής γενικότερα (που αποτελούν τον έλεγχο του υδρομετρικού σταθμού) μπορούν να υποστούν λιγότερο, ή περισσότερο γρήγορες αλλαγές με την πάροδο του χρόνου, προκαλώντας διακυμάνσεις στην αναλογία της ροής. Μια άλλη σημαντική πτυχή στον χαρακτηρισμό των ιδιοτήτων του υδρομετρικού σταθμού είναι η ευαισθησία του, που μεταφράζεται από μεγαλύτερη, ή μικρότερη διακύμανση της στάθμης του νερού για μια δεδομένη αλλαγή της ροής.

3.4 Ακραίες ροές

Στη μελέτη των ακραίων ροών χρησιμοποιείται η ημερήσια σειρά δεδομένων του ρευματομετρικού σταθμού που βρίσκεται πλησιέστερα στη χρήση. Αυτές οι ροές χρησιμοποιούνται για έργα υπερχειλίσης και εκτροπής των ποταμών.

Για μελέτες εκτροπής των ποταμών, είναι σύνηθες να μελετάται η συχνότητα των μέγιστων ροών κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου, όταν αυτό είναι σαφώς καθορισμένο για να τονιστεί ο χαμηλότερος κίνδυνος πλημμύρας σε αυτήν την περίοδο. Οι πλημμύρες θα πρέπει να μεταφέρονται στον τόπο ανάκτησης χρησιμοποιώντας το συντελεστή διόρθωσης. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι πλημμύρες που σχετίζονται με το υδρολογικό έτος και όχι με το ημερολογιακό έτος και η διόρθωση για τις στιγμιαίες τιμές της αιχμής θα πρέπει να εφαρμοστεί στις υπολογιζόμενες τιμές με τον τύπο του Fuller (1914):

$$Q_{max} = Q(1 + 2.66A^{-0.30}) \quad (3.4)$$

Όπου:

Q_{max} = Μέγιστη ροή (m^3/s)

Q = Μέση ημερήσια ροή της ημέρας με τη μέγιστη ροή (m^3/s)

A = Περιοχή (km^2)

Σε στατιστικές μελέτες, οι παραδοσιακές κατανομές θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για δύο Gumbel και Εκθετικές παραμέτρους. Η Gumbel προτιμάται όταν η ασυμμετρία της κατανομής είναι $\leq 1,5$. Για μεγαλύτερες ασυμμετρίες, η εκθετική κατανομή φαίνεται να είναι πιο συχνή.

Για φράγματα με ύψος $< 30m$ ή με ταμιευτήρα με όγκο μικρότερο από $50 \times 10^3 m^3$ και χωρίς κίνδυνο απώλειας ανθρώπινης ζωής (χωρίς μόνιμες κατοικίες κοντά), η πλημμύρα ορίζεται μέσω ανάλυσης κινδύνου, σε σχέση με την ελάχιστη επανάληψη των 1.000 ετών.

Για κάθε φάση διαχείρισης του ποταμού, οι ροές εκτροπής θα καθορίζονται από τους χρόνους επανάληψης που προκύπτουν από την ανάλυση του κινδύνου, συγκρίνοντας το κόστος των εργασιών εκτροπής με την αναμενόμενη αξία του κόστους των ζημιών που προκύπτουν από τις αντίστοιχες πλημμύρες. Κατά τον υπολογισμό της ζημιάς, θα ληφθούν υπόψη τοπικές ζημιές, μαζί με το κόστος λόγω καθυστέρησης του χρονοδιαγράμματος κ.λπ. Για κάθε φάση της διαχείρισης του ποταμού κατά την κατασκευή, οι ροές των έργων εκτροπής θα πρέπει να καθορίζονται ανάλογα με τον κίνδυνο της πλημμύρας της χερσαίας περιοχής, λαμβάνοντας υπόψη τον χρόνο έκθεσης σε αυτόν τον κίνδυνο.

3.5 Πλήρωση ταμιευτήρα

Οι μελέτες πλήρωσης του ταμιευτήρα θα εκτελούνται με χρήση των μέσων ημερήσιων, ή μηνιαίων ροών στη θέση του φράγματος, με βάση την καμπύλη \times εμβαδόν \times όγκο του ταμιευτήρα.

Η προσομοίωση θα πρέπει να χαρακτηρίζει την εξέλιξη του WL κατά την πλήρωση, με τους απαραίτητους χρόνους, μέχρι να επιτευχθούν τα επίπεδα λειτουργίας του ταμιευτήρα. Στην ουσία είναι ο υπολογισμός της ροής που φτάνει στον ταμιευτήρα, μείον τη ροή που φεύγει από τον ταμιευτήρα, με αποτέλεσμα τον όγκο να συσσωρεύεται στο χρονικό διάστημα που έχει υιοθετηθεί.

3.6 Ωφέλιμη ζωή ταμιευτήρα

Συχνά είναι τα προβλήματα της συσσωμάτωσης ή συσσώρευσης, της μείωσης δηλαδή του όγκου του ταμιευτήρα λόγω της εναπόθεσης ιζημάτων σε όλη τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του. Η συσσώρευση θα μπορούσε να επηρεάσει την ωφέλιμη ζωή και επίσης την ικανότητα παραγωγής της μονάδας συνολικά. Αυτό είναι ένα θέμα που θα πρέπει να παρακολουθείται από τους ανάδοχους του έργου, ή από τους υπεύθυνους εξουσιοδοτημένους για την παραγωγή της υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραγωγή ιζήματος περιλαμβάνει πολλούς παράγοντες όπως την περιφερειακή γεωλογία και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, τις βροχοπτώσεις, τους ανέμους και τις ανθρωπογενείς δράσεις που γενικά προάγουν την αποδάσωση και την υποβάθμιση της περιοχής, αυξάνοντας τη στερεά ροή.

Το θέμα έχει λάβει αυξανόμενη προσοχή από σχεδιαστές, ερευνητές και φορείς χρηματοδότησης σε όλο τον κόσμο. Ο Power G. (1988) παραθέτει μια μελέτη της Παγκόσμιας Τράπεζας το 1974, που δείχνει ότι το μέσο προσδόκιμο ζωής

των ταμιευτήρων είχε μειωθεί από 100 σε 24 χρόνια [16]. Αυτό το ζήτημα αντιμετωπίζεται σε πολλές αναφορές [17].

Χρησιμοποιώντας τα εκάστοτε δεδομένα, είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η ροή στερεού που λαμβάνεται από το γινόμενο των ροών του υγρού με τις συγκεντρώσεις, που προσδιορίζονται από την ανάλυση της συλλογής των δειγμάτων του νερού και πρέπει να γίνει κατά τις μετρήσεις, μέσω της ακόλουθης έκφρασης:

$$Q_{SS} = 0.0864Q_L C \quad (3.5)$$

Όπου:

Q_{SS} = Επιπρόσθετο φορτίο

Q_L = Καθαρή ροή

C = Συγκέντρωση ιζήματος

Προκειμένου να καθοριστεί η καμπύλη της στερεάς ροής, ή της καμπύλης μεταφοράς του ιζήματος, η ροή του στερεού πρέπει να συσχετιστεί με τη ροή του υγρού μέσω ενός τύπου έκφρασης $Q_{SS} = a Q^b$, όπου a και b είναι σταθερές που λαμβάνονται ως συνάρτηση αυτού του γραφήματος.

Με βάση αυτή την καμπύλη μεταφοράς, θα είναι δυνατός ο υπολογισμός της ετήσιας συνεισφοράς του ιζήματος στη δεξαμενή, εφαρμόζοντας στον τύπο τη μέση ημερήσια (αν είναι διαθέσιμη), ή μηνιαία ροή των υγρών. Στο αποτέλεσμα, θα πρέπει να προστεθεί ένα ποσοστό κατακράτησης των ιζημάτων, που αναφέρεται στην κοίτη του υδάτινου ρεύματος, που δεν υπολογίζεται από

τις μετρήσεις του σταθμού. Για την αξιολόγηση του χρόνου του ιζήματος, μπορούν να ακολουθηθούν οι αντίστοιχες συστάσεις ανάλογα με τον εμπλεκόμενο φορέα για την καθίζηση του ταμιευτήρα.

3.7 Ισχύς εξόδου

Η εκτιμώμενη ισχύς εξόδου θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τις διεθνείς συστάσεις. Μεταξύ της δεκαετίας του 1970 και των αρχών της δεκαετίας του 1980, ο ηλεκτρικός τομέας χρησιμοποιήθηκε ως μια έννοια επέκτασης της προσφοράς για την εξυπηρέτηση της καταναλωτικής αγοράς (Το λεγόμενο κριτήριο σταθερής ενέργειας, ή ντετερμινιστικό κριτήριο, το οποίο καθόρισε ότι το ηλεκτρικό σύστημα, μέσω μιας προσομοίωσης της υδροθερμικής λειτουργίας του πάρκου παραγωγής, θα πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκριθεί στην προβλεπόμενη αγορά χωρίς ενεργειακά ελλείμματα σε περίπτωση οποιασδήποτε από τις ακολουθίες ροής που υπάρχουν στο ιστορικό μητρώο).

Για τη δεδομένη διαμόρφωση του συστήματος, εφαρμόζεται ένα σύνολο υφιστάμενων, ή προγραμματισμένων εγκαταστάσεων, μαζί με τις ακόλουθες έννοιες:

- Ενέργεια σταθερού συστήματος: Το υψηλότερο συνεχές φορτίο (κρίσιμο φορτίο) που μπορεί να ικανοποιήσει αυτή η διαμόρφωση λαμβάνοντας υπόψη το προαναφερθέν κριτήριο, καθ' όλη τη διάρκεια της κρίσιμης περιόδου.
- Κρίσιμη περίοδος: Η ακολουθία των μηνών της ιστορικής καταγραφής για την οποία η ροή ανταποκρίνεται στην ενέργεια διαμόρφωσης της επιχείρησης, χωρίς να υπάρχουν υπολείμματα και ενεργειακά ελλείμματα. Είναι δηλαδή το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το σύστημα μετακινείται από τη μέγιστη κατάσταση αποθήκευσης στην κατάσταση ελάχιστης αποθήκευσης και στη συνέχεια επιστρέφει στην αρχική κατάσταση (μέγιστη αποθήκευση των ταμιευτήρων).

Η μέση παραγωγή κάθε μονάδας σε αυτήν την κρίσιμη περίοδο ονομάζεται τοπική σταθερή ενέργεια. Όταν αυτή η εγκατάσταση λαμβάνεται υπόψη στην υπό ανάλυση διαμόρφωση, το σταθερό ενεργειακό κέρδος μιας εγκατάστασης αντιστοιχεί στην αύξηση της σταθερής ενέργειας του συστήματος. Το σταθερό ενεργειακό κέρδος αξιολογείται με προσομοίωση της διαμόρφωσης με και χωρίς την εν λόγω εγκατάσταση.

Αυτό το ντετερμινιστικό κριτήριο αντικαταστάθηκε από το πιθανοτικό κριτήριο, ή κριτήριο της εγγυημένης ενέργειας, συμβατό με τη στοχαστική φύση της προσφοράς στην καταναλωτική αγορά. Παρόλα αυτά, η αξιολόγηση του ενεργειακού οφέλους μιας εγκατάστασης, για σκοπούς ταξινόμησης του μεγέθους, εξακολουθεί να βασίζεται στην έννοια του σταθερού ενεργειακού κέρδους. Επιπλέον, υπάρχει μια έννοια του εγγυημένου κέρδους της ισχύος με ντετερμινιστικό κριτήριο, η οποία αντιστοιχεί στη μέγιστη δυναμικότητα παραγωγής της ενέργειας στη μονάδα. Όπως φαίνεται από την ιστορία των φυσικών ροών, η μονάδα λειτουργεί με μονιμότητα 95% στη λειτουργία της με ολοκληρωμένο τρόπο στο σύστημα.

Μια άλλη παράμετρος που ποσοτικοποιεί τα ενεργειακά οφέλη μιας εγκατάστασης είναι το δευτερογενές ενεργειακό κέρδος. Αντιστοιχεί στην ενέργεια που παράγεται πέραν της σταθερής ενέργειας στους μήνες των ευνοϊκών υδρολογικών εισροών. Αξιολογείται από τη διαφορά μεταξύ της μέσης μακροπρόθεσμης παραγωγής του συστήματος και της ενέργειάς του με και χωρίς τη συμπερίληψη της εγκατάστασης.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις έννοιες, ο προσδιορισμός της ισχύος που θα εγκατασταθεί στη μονάδα μπορεί να γίνει με συγκεκριμένο τρόπο. Η αύξηση του επιπέδου της εγκατεστημένης ισχύος σε μια μονάδα μπορεί να προσφέρει σταθερά ενεργειακά κέρδη, ειδικά από την παραγωγή της δευτερογενούς ενέργειας και αυξάνοντας την εγγυημένη ενέργεια. Όταν ο αριθμός των μηχανών της εγκατάστασης είναι αρκετός για να λειτουργήσει με την κανονική ροή, εξασφαλίζεται σταθερό ενεργειακό κέρδος που θα κορεστεί γρήγορα από ένα δεδομένο εύρος ισχύος. Επομένως, οι μεγαλύτερες μηχανές δικαιολογούνται, σχεδόν αποκλειστικά, λόγω των κερδών της δευτερογενούς ενέργειας και της εγγυημένης ενέργειας.

Για τον προσδιορισμό της εγκατεστημένης ισχύος αυξάνεται η μηχανοκίνηση, ενώ σταδιακά η έκφραση που χρησιμοποιείται είναι:

$$\Delta Ef \times CME + \Delta Pg \times CMP + \Delta Es \times CMS \geq \Delta C$$

(3.6)

Όπου:

$\Delta Ef, \Delta Pg, \Delta Es$: επαυξητικό όφελος σταθερής ενέργειας, εγγυημένης αιχμής και δευτερεύουσας ενέργειας, αντίστοιχα, που προκύπτει από την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος (MW).

ΔC : Αυξητικό κόστος που αντιστοιχεί στη μεταβολή από ένα επίπεδο μηχανοκίνησης στο επόμενο.

CME: Οριακό κόστος της ενέργειας (χρήματα/MW ανά έτος)

CMP: Οριακό κόστος της αιχμής (χρήματα/MW ανά έτος)

CMS: Οριακό κόστος της δευτερογενούς ενέργειας (χρήματα/MW ανά έτος)

3.8 Προσομοίωση της ενέργειας

Η ενεργειακή προσομοίωση της μονάδας αποτελεί απλούστερο πρόβλημα στην περίπτωση μιας μονάδας με τη ροή του ποταμού-ταμιευτήρα και χωρίς την παρουσία άλλης μονάδας, που να ρυθμίζει τις υδάτινες ροές. Χρησιμοποιώντας αυτό το βασικό μοντέλο μπορεί να επιτευχθεί μια βασική ενεργειακή προσομοίωση μιας εγκατάστασης. Στη συνέχεια αυτό το μοντέλο μπορεί να αναπτυχθεί παραπάνω με στόχο να γίνει πιο εξατομικευμένο και να μπορεί για

παράδειγμα να εξετάζει τη λειτουργία της μονάδας σε μηνιαία βάση. Σύμφωνα με το ιστορικό των μέσων μηνιαίων ροών που παράγονται για την τοποθεσία και μέσω του προσδιορισμού της μέσης ενέργειας των ονομαστικών ροών και των ρυθμών ροής, μπορεί να προσδιοριστεί η ενεργειακή προσομοίωση της εγκατάστασης.

Λαμβάνοντας υπόψη τις οικονομικές παραμέτρους, για τον ενεργειακό-οικονομικό σχεδιασμό της μονάδας, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μια σταδιακή ανάλυση, αυξάνοντας σταδιακά την εγκατεστημένη ισχύ της μονάδας έως ότου ξεπεραστούν τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την πρόσθετη ενέργεια.

3.9 Φράγματα

3.9.1 Χωμάτινα φράγματα ή φράγματα γης

Τα φράγματα γης άρχισαν να χρησιμοποιούνται από τις πρώτες μέρες του πολιτισμού για τη συγκράτηση και την αποθήκευση του πόσιμου νερού, για την άρδευση και για την κίνηση τροχών νερού.

Μέχρι σήμερα συνεχίζουν να είναι ο πιο κοινός τύπος γιατί η κατασκευή τους περιλαμβάνει τη χρήση υλικών στη φυσική τους κατάσταση με ελάχιστη επεξεργασία.

Αυτά τα φράγματα σχεδιάστηκαν με βάση εμπειρικές μεθόδους. Στη βιβλιογραφία καταγράφονται αρκετές περιπτώσεις τέτοιων φραγμάτων. Από το

1930 και μετά, η πρόοδος της εδαφο-μηχανικής και του κατασκευαστικού εξοπλισμού επέτρεψε μεγάλες προόδους στο σχεδιασμό των χωμάτινων φραγμάτων, που άρχισαν να επεξεργάζονται με βάση πιο ορθολογικές διαδικασίες μηχανικής. Αυτές οι διαδικασίες περιλάμβαναν:

- Λεπτομερείς έρευνες για το χαρακτηρισμό των θεμελίων και των περιοχών δανεισμού των φυσικών δομικών υλικών.
- Εφαρμογή τεχνικών μηχανικής στο έργο.
- Λεπτομερή σχεδιασμό και έλεγχο των μεθόδων κατασκευής.

Η τέχνη του σχεδιασμού ενός φράγματος συνδέεται με την τέχνη του ελέγχου της ροής του νερού μέσω της θεμελίωσης του φράγματος. Η ευστάθεια πρέπει να πληροί τις βασικές απαιτήσεις ασφαλείας που καθορίζονται ανάλογα με το είδος της εργασίας και τις διάφορες συνθήκες φόρτωσης. Για να πληρούνται αυτές οι απαιτήσεις ασφαλείας, πρέπει να τηρούνται τρεις βασικές αρχές του σχεδιασμού, όπως η αρχή του ελέγχου της ροής, η αρχή της σταθερότητας και η αρχή της συμβατότητας των παραμορφώσεων των διαφόρων υλικών.

Ως προς τον άξονα, από την ανάντη πλευρά, πρέπει να συγκεντρωθεί όλη η προσπάθεια για να στεγανοποιηθεί στο μέγιστο το φράγμα και η θεμελίωση του, εισάγοντας όλα τα απαραίτητα συστήματα στεγανοποίησης. Από την κατάντη πλευρά, όλες οι προσπάθειες θα πρέπει να επικεντρωθούν στη διευκόλυνση της μέγιστης απόδοσης του νερού με την εισαγωγή όλων των απαραίτητων συστημάτων αποστράγγισης στο φράγμα και το θεμέλιο.

Οι κλίσεις του φράγματος πρέπει να έχουν χαρακτηριστικά αντίστασης που να εγγυώνται τη σταθερότητα. Αυτά τα χαρακτηριστικά πρέπει να είναι συμβατά με τα υλικά της θεμελίωσης για να διασφαλίζεται η σταθερότητα του συγκροτήματος φράγματος-θεμελίωσης για τις διάφορες συνθήκες της φόρτωσης.

Η συμπίεστικότητα των υλικών των διαφόρων ζωνών του φράγματος και της θεμελίωσης του πρέπει να γίνει συμβατή με τις πρόσθετες ζώνες μετάβασης

ώστε να μειωθούν οι συνολικές καθιζήσεις. Λόγω των υπερβολικών συνολικών καθιζήσεων, μπορεί να μειωθεί η απόδοση των συστημάτων αποστράγγισης και στεγανοποίησης, είτε με την εμφάνιση ρωγμών που καθιστούν χαρακτηριστικά συγκεντρωμένης ροής, είτε με την αντιστροφή των κλίσεων ροής στα συστήματα της αποχέτευσης.

Ο ορισμός της πιο κατάλληλης τυπικής ενότητας γίνεται με βάση τις ακόλουθες πτυχές:

- Χαρακτηριστικά, διαθεσιμότητα των υφιστάμενων υλικών στις περιοχές.
- Γεωλογία της τοποθεσίας.
- Σεισμική δραστηριότητα.
- Περιφερειακό υδρολογικό καθεστώς όσον αφορά τις βροχοπτώσεις.
- Σχήμα και μέγεθος της κοιλάδας (τοπογραφικές όψεις) και χαρακτηριστικά του θεμελίου.
- Ενσωμάτωση το χρονοδιαγράμματος της κατασκευής.

Επίσης, ο σχεδιασμός ενός χωματουργικού φράγματος έχει συνήθως τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Το τμήμα του εδάφους είναι συμπιεσμένο με υλικά επαρκώς αδιαπέραστα, με σχετικά ομαλές κλίσεις, σύμφωνα με τα κριτήρια ευστάθειας και με προστασίες από τις επιφανειακές διαβρώσεις.
- Μπορεί να απαιτούνται αρμοί ανάλογα με τον κατασκευαστικό σχεδιασμό.
- Το εσωτερικό σύστημα αποστράγγισης πρέπει να παρέχει κατακόρυφο φίλτρο και μια στρώση αποστράγγισης στην πάνω και στην κάτω περιοχή.

Ένα ομοιογενές χωματουργικό φράγμα αποτελείται από ένα μόνο τύπο, ή σχεδόν από ένα μόνο τύπο αδιαπέραστου υλικού, εξαιρουμένου του προστατευτικού υλικού της κλίσης.

Όταν το τμήμα έχει ζώνες, θα πρέπει να τοποθετούνται περισσότερα αδιαπέραστα υλικά στην κεντρική περιοχή και στην ανάντη πλευρά και τα πιο διαπερατά υλικά στην κατόντη πλευρά. Τα έργα αυτών των φραγμάτων γίνονται σύμφωνα με τις τυποποιημένες προδιαγραφές. Συνοπτικά, ξεχωρίζουν τα ακόλουθα σημεία:

- Η εναπόθεση των ιζημάτων πρέπει να ασφαρίζεται έναντι κάποιας πιθανής υπέρβασης λόγω της δράσης κυμάτων, κατά την εκδήλωση πλημμυρών του έργου υπερχειλίσης.
- Το πλάτος της κορυφής είναι συνάρτηση της κατασκευαστικής διαδικασίας και πρέπει να υιοθετούνται με ασφάλεια τα ελάχιστα προαπαιτούμενα για την αμφίδρομη κυκλοφορία.
- Η κλίση πρέπει να καθοριστεί λαμβάνοντας υπόψη τις χαρακτηριστικές παραμέτρους της αντίστασης των υλικών του επιχώματος και της θεμελίωσης.
- Η κλίση πρέπει να είναι σταθερή για όλες τις συνθήκες φόρτωσης (κατασκευή, λειτουργία, κ.λπ.).
- Ο σχεδιασμός πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να μην επιβάλλονται υπερβολικές καταπονήσεις στη θεμελίωση.
- Η διείσδυση ιζημάτων αλλά και υγρού στη θεμελίωση και στις στηρίξεις πρέπει να ελέγχεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχουν σωληνώσεις. Η ροή που χάνεται μέσω της διήθησης πρέπει να εκτιμάται και να ελέγχεται, έτσι ώστε να μην παρεμποδίζεται η προγραμματισμένη λειτουργία του έργου.

- Η ανάντη κλίση πρέπει να προστατεύεται από τη δράση των κυμάτων. Η κορυφή και η κλίση πρέπει να προστατεύονται από τη δράση των βροχών.
- Εάν το φράγμα βρίσκεται σε περιοχή σεισμικής δραστηριότητας, το έργο πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη την εκδήλωση σεισμού.
- Το θεμέλιο γενικά πρέπει να παρέχει σταθερή στήριξη για το φράγμα, υπό όλες τις συνθήκες και να παρέχει επαρκή αντίσταση στη διήθηση για την αποφυγή υπερβολικής απώλειας νερού.

Τα τελευταία 70 χρόνια έχουν κατασκευαστεί εκατοντάδες χωματένια φράγματα. Ωστόσο, συνεχίζουν να συμβαίνουν ρήξεις κάποιων μικρών φραγμάτων λόγω του ανεπαρκούς σχεδιασμού και της κατασκευής.

Τονίζεται ότι ο κατάλληλος τρόπος κατασκευής απαιτεί σωστή και αυστηρή επεξεργασία της θεμελίωσης, καθώς και εναπόθεση των υλικών στο ανάχωμα του φράγματος σε στρώσεις με προκαθορισμένα πάχη. Αυτές οι στρώσεις θα συμπίεζονται στον καθορισμένο βαθμό, τηρώντας τις μεθόδους δοκιμής και ελέγχου σε όλη τη διαδικασία της κατασκευής.

3.9.2 Φράγματα βράχων-πετρωμάτων

Ένα φράγμα βράχου αποτελείται από το σώμα του φράγματος που σχηματίζεται από συμπίεσμένα πέτρινα σημεία με μια αδιαπέραστη μεμβράνη για να εμποδίζει τη διέλευση του νερού που διεισδύει ελεύθερα μέσα από το βράχο. Η αδιαπέραστη μεμβράνη μπορεί να τοποθετηθεί στο κέντρο, ή στον πυρήνα του φράγματος, σε όρθια, ή κεκλιμένη θέση, ή μπορεί επίσης να τοποθετηθεί στην ανάντη κλίση. Η επιλογή μεταξύ του ενός τύπου, ή του άλλου εξαρτάται από τις τεχνικές και τις οικονομικές αναλύσεις κάθε έργου.

Η προέλευση των φραγμάτων βράχων χρονολογείται από τη δεκαετία του 1870, κατά τη διάρκεια της περιόδου του χρυσού στην Καλιφόρνια. Μέχρι τη

δεκαετία του 1930, κατασκευάστηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες πολλά βραχώδη φράγματα.

Μεταξύ του 1930 και 1960, σημειώθηκε μείωση στη χρήση αυτού του τύπου κατασκευής, λόγω της αύξησης του κόστους απόκτησης και τοποθέτησης μεγάλων ποσοτήτων βραχωδών υλικών.

Η κατασκευή αυτού του τύπου φράγματος ξεκίνησε ξανά τη δεκαετία του 1960, γεγονός που αποδόθηκε στις πιο οικονομικές μεθόδους εξόρυξης, κατασκευής και τοποθέτησης των υλικών, στη χρήση υλικών εκσκαφής, καθώς και στη βελτιστοποίηση των λεπτομερειών της κατασκευής.

Οι παράγοντες που καθορίζουν την επιλογή ενός φράγματος βράχου είναι οι εξής:

- Τοπικές τοπογραφικές και γεωτεχνικές συνθήκες, καθώς και η διαθεσιμότητα άφθονων πετρωμάτων στην τοποθεσία, τα οποία μπορούν εύκολα να εξερευνηθούν, ή που μπορούν να προέλθουν από τις ανασκαφές που απαιτούνται για τα θεμέλια των κατασκευών. Αυτά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται όπως προβλέπεται στις διατάξεις και με καλές συνθήκες θεμελίωσης, με επαρκή αντοχή ώστε να διασφαλίζεται η σταθερότητα σε πιο απότομες πλαγιές.
- Η σπανιότητα κάποιων γήινων υλικών, που είναι δύσκολο να αποκτηθούν στην περιοχή, ή που απαιτούν εντατική επεξεργασία για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν.
- Σύντομο χρονικό διάστημα για την κατασκευή του φράγματος, αλλά και για την ανύψωση του σώματος του φράγματος που μπορεί να περάσει από την κρίσιμη περίοδο του χρονοδιαγράμματος του έργου.
- Τέλος, η ύπαρξη υπερβολικά υγρών και βροχερών καιρικών συνθηκών στην περιοχή που μπορεί να περιορίσουν την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων γήινων υλικών.

Επίσης μπορούν διάφοροι άλλοι παράγοντες να ευνοούν τη χρήση φραγμάτων βράχου, όπως η δυνατότητα τοποθέτησης του πετρώματος κατά τη διάρκεια του χειμώνα σε ψυχρές χώρες και η δυνατότητα επεξεργασίας των θεμελίων μέσω εγχύσεων με την ταυτόχρονη τοποθέτηση του επιχώματος.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι κατά την περίοδο των βροχών ο βράχος μπορεί να αντέξει τις πιέσεις χωρίς προβλήματα. Τα φράγματα βράχου ταξινομούνται σε τρεις ομάδες με βάση την αδιαπέραστη μεμβράνη, δηλαδή σε φράγματα με κατακόρυφο κεντρικό πυρήνα, με κεκλιμένο κεντρικό πυρήνα και με μεμβράνη τοποθετημένη στην ανάντη πλαγιά.

Κάθε ομάδα έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της, τα οποία ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο της μεμβράνης, τα υλικά που είναι διαθέσιμα στην τοποθεσία και τις συνθήκες της θεμελίωσης. Θα πρέπει να γίνονται τεχνικές και οικονομικές αναλύσεις με σκοπό τον προσδιορισμό του τύπου που θα επιλεγεί, είτε με εσωτερική, είτε με εξωτερική μεμβράνη.

Σύμφωνα με τους Marsal R. και Nuñez D. (1975), οι βράχοι είναι υλικά που, όταν υπόκεινται σε μια μεταβολή της τάσης, υφίστανται δομικούς μετασχηματισμούς λόγω της μετατόπισης, της περιστροφής και της θραύσης των σωματιδίων [18]. Για να ληφθούν υπόψη αυτές οι παραλλαγές και η επιρροή τους στα χαρακτηριστικά της παραμόρφωσης και της αντίστασης, είναι απαραίτητο να μελετηθεί η κατανομή των δυνάμεων επαφής και τα θεμελιώδη στοιχεία της θραύσης των σωματιδίων.

Η αδιαπέραστη μεμβράνη (πυρήνας αργίλου) μπορεί να σχεδιαστεί είτε κατακόρυφα, είτε σε κεκλιμένη θέση σε φράγματα από βράχο. Το σημείο που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι προτιμάται η κάθετη μεμβράνη παρά η κεκλιμένη, επειδή η πίεση της επαφής με το θεμέλιο θα είναι μέγιστη και ο έλεγχος κατασκευής μπορεί να είναι λιγότερο αυστηρός. Η κεντρική μεμβράνη έχει κάποια πλεονεκτήματα όπως ότι παρουσιάζει μικρότερη περιοχή εκτεθειμένη σε επαφή με το νερό, έχει μικρότερα μήκη έγχυσης και έχει μεγαλύτερη προστασία από τις καιρικές συνθήκες και τις εξωτερικές βλάβες. Από την άλλη, έχει και κάποια μειονεκτήματα όπως ότι πρέπει να βάλει κανείς το υλικό του πυρήνα και τα φίλτρα ταυτόχρονα στην τοποθέτηση του βράχου και έπειτα η μεμβράνη θα είναι απρόσιτη για μελλοντικό έλεγχο και διόρθωση τυχόν ζημιών.

Σε αυτά τα φράγματα η διάταξη των υλικών θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να παρέχεται η καλύτερη συμβατότητα των παραμορφώσεων. Το πλάτος της κορυφής πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 μέτρα για να πληρούνται τα πρότυπα ασφαλείας και να διασφαλίζονται οι κατάλληλες εποικοδομητικές διαδικασίες που περιλαμβάνουν τη μεταφορά και την τοποθέτηση των διαφόρων υλικών.

Σε αυτή την κατηγορία φραγμάτων ανήκουν και τα φράγματα που καλύπτονται στην επιφάνειά τους με σκυρόδεμα, ή με ασφαλτικό σκυρόδεμα. Το ασφαλτικό σκυρόδεμα είναι ο δεύτερος πιο χρησιμοποιούμενος τύπος επίστρωσης για την πρόσοψη του φράγματος βράχου (Σχήμα 3.3: Πρόσοψη από ασφαλτικό σκυρόδεμα (Ελβετία))



Σχήμα 3.3: Πρόσοψη από ασφαλτικό σκυρόδεμα (Ελβετία)

3.9.3 Φράγματα βαρύτητας σκυροδέματος

Αυτό το φράγμα είναι μια κατασκευή που έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε το βάρος του να αντιστέκεται στις κύριες οριζόντιες δυνάμεις, δηλαδή στην πίεση του νερού που δρα για να κάνει το φράγμα να γλιστρά κατά μήκος της θεμελίωσης, και στις κατακόρυφες δυνάμεις, όπως οι δυνάμεις υποπίεσης. Εάν η θεμελίωση είναι επαρκής και το φράγμα έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί σωστά, η κατασκευή θα είναι σταθερή, μόνιμη και χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερη συντήρηση.

Τα φράγματα βαρύτητας κατασκευάστηκαν χιλιάδες χρόνια πριν, με πλάτος βάσης τετραπλάσιο από το ύψος, όπως δείχνουν τα ερείπια. Με την πάροδο του χρόνου, διάφοροι τύποι κονιάματος έχουν χρησιμοποιηθεί, αυξάνοντας τη σταθερότητα και τη στεγανότητα μαζί με την πραγματοποίηση της πιθανότητας πιο απότομων κλίσεων. Το σκυρόδεμα και η τσιμεντοκονία χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή φραγμάτων κυκλικού σκυροδέματος, που ήταν οι πρόδρομοι των φραγμάτων σκυροδέματος (CCV).

Η δράση των κυμάτων αυξάνει την οριζόντια δύναμη και μπορεί να προκαλέσει αύξηση στο ύψος του φράγματος συν ένα βαθμό ελευθερίας ο οποίος προσθέτει μια αύξηση του βάρους του φράγματος. Η συμβατική μέθοδος κατασκευής των φραγμάτων από σκυρόδεμα, βασίζεται σε μια σειρά μονόλιθων που χωρίζονται με αρμούς. Η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι αποτρέπει τις ρωγμές που προκαλούνται από τη θερμοκρασία, αλλά ο εξοπλισμός που απαιτείται την καθιστά λιγότερο οικονομική από τη συμβατική μέθοδο κατασκευής των χωμάτινων φραγμάτων. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ο περιορισμός της χρήσης του εξοπλισμού λόγω του μικρού χώρου εργασίας. Κατά το σχεδιασμό της δομής, πρέπει να τηρούνται όλα τα διεθνώς αναγνωρισμένα κριτήρια, διαδικασίες και πρότυπα. Όσον αφορά το σκυρόδεμα, τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να συμμορφώνονται με τις διατάξεις σχετικά με τις ιδιότητες των υλικών. Επίσης, θα πρέπει να εκτελούνται αναλύσεις ευστάθειας

για όλες τις τρέχουσες και πιθανές περιπτώσεις φορτίου. Ένα τέτοιο φράγμα αποτυπώνεται στο Σχήμα 3.4: **Φράγμα Krasnoyarsk στη Ρωσία**



Σχήμα 3.4: Φράγμα Krasnoyarsk στη Ρωσία

[19]

Η ανάγκη για μια ταχύτερη και πιο οικονομική μέθοδο κατασκευής φράγματος από σκυρόδεμα αντιμετωπίστηκε για πρώτη φορά στο συνέδριο Asilomar στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ (1972). Το ίδιο θέμα συζητήθηκε ένα χρόνο αργότερα στο 11ο ICOLD στη Μαδρίτη (1973). Προηγούμενες εργασίες έχουν ανοίξει το δρόμο για την πρόταση εναλλακτικών λύσεων σε μια ταχύτερη και λιγότερο δαπανηρή μέθοδο κατασκευής φραγμάτων από σκυρόδεμα. Η ιδέα του συνδυασμού των πλεονεκτημάτων της συνεχούς ανάμειξης χαλαρών υλικών, της μεταφοράς και της χρήσης στο χώρο εργασίας, με τα πλεονεκτήματα του σκυροδέματος ως δομικού υλικού υπάρχει από τη δεκαετία του 1960.

Το συμπαγές σκυρόδεμα τοποθετήθηκε για πρώτη φορά σε φράγμα το 1960-1961. Εφαρμόστηκε στον πυρήνα του φράγματος Shihmen, ύψους 65 μέτρων, στην Ταϊβάν. Το μείγμα χρησιμοποίησε $107\text{kg}/\text{m}^3$ τσιμέντου. Το υλικό μεταφέρθηκε με ανατρεπόμενα φορτηγά και απλώθηκε με τρακτέρ σε στρώσεις των 30 cm. Η συμπίκνωση του υλικού στη βέλτιστη υγρασία (Modified Proctor) έγινε από την κυκλοφορία φορτηγών και τρακτέρ D-8.

Την ίδια περίοδο, μεταξύ του 1961 και 1964, κατασκευάστηκε το φράγμα Alpe Gera στην Ιταλία, με μεταλλική όψη. Εφαρμόστηκε η τεχνολογία της εκτεταμένης στρώσης, αποτελούμενη από χαλαρά υλικά, και λεπτή στρώση σκυροδέματος πάχους 70 cm, τοποθετημένη με εκτεταμένη στρώση, αποφεύγοντας τους κατασκευαστικούς αρμούς. Η ίδια μεθοδολογία εφαρμόστηκε και στην κατασκευή του φράγματος Quaira Della Miniera, επίσης στην Ιταλία.

Το 1965, η Hydro Quebec σχεδίασε δύο τοίχους βαρύτητας ύψους 18 μέτρων στο φράγμα Manicouagan I στο Κεμπέκ. Στην όρθια όψη των τοίχων χρησιμοποιήθηκε μείγμα πλούσιου σκυροδέματος με καλούπια. Στην ανάντη πλευρά χρησιμοποιήθηκαν προκατασκευασμένοι τσιμεντόλιθοι. Η Hydro-Quebec εκτίμησε ότι το έργο εξοικονόμησε 20% σε κόστος και 66% του χρόνου σε σύγκριση με αυτόν που απαιτείται για την κατασκευή των τοίχων με χρήση συμβατικού σκυροδέματος.

Ένα άλλο σημαντικό ορόσημο σε αυτήν την εποικοδομητική διαδικασία συνέβη στο φράγμα Tarbela στο Πακιστάν, όπου χρησιμοποιήθηκαν 2,5 εκατομμύρια κυβικά μέτρα μεταξύ του 1974 και 1982.

Στην Ιαπωνία, οι έρευνες ξεκίνησαν το 1974 με δύο έργα, το φράγμα Shimajigawa ύψους 89 μέτρων που ολοκληρώθηκε το 1980 και η πλάκα θεμελίωσης του φράγματος Ohkawa (ξεκίνησε το 1979).

Η εξέλιξη της έννοιας των φραγμάτων ακολούθησε διαφορετικούς δρόμους:

- Φράγματα κατασκευασμένα με μείγματα, με περιεκτικότητα σε τσιμεντόπαστα από 70 έως $100\text{ kg}/\text{m}^3$ και με επίστρωση κονιάματος μεταξύ των στρώσεων. Αυτή η εναλλακτική λύση υιοθετήθηκε από την

USACE και άλλους ερευνητές. Το πρώτο μεγάλο έργο ήταν το Willow Creek Dam (1983).

- Φράγματα με υψηλή περιεκτικότητα σε συνδετικό υλικό από 150 έως 270 kg/m^3 . Το παράδειγμα είναι το έργο του φράγματος Upper Stillwater (1988), με 1.147.000 m^3 σκυροδέματος με 247 kg/m^3 συνδετικού υλικού.
- Φράγματα με μείγματα που κυμαίνονται από 130 kg/m^3 (Les Olivettes – Γαλλία) και 170 kg/m^3 (Craigbourne – Αυστραλία) συνδετικού υλικού.
- Τα φράγματα που σχεδιάστηκαν με περιεκτικότητα σε τσιμέντο 70 kg/m^3 στα 100 kg/m^3 , με υψηλή περιεκτικότητα σε λεπτά σωματίδια (8–12% μικρότερη από 0,075mm σε διάμετρο), με τοποθέτηση κονιάματος μεταξύ των στρώσεων και ενός συμβατικού σκυροδέματος- στρώμα μάζας στο ανάντη μέρος του φράγματος.

3.10 Υπερχειλιστές

3.10.1 Είδη υπερχειλιστών και κριτήρια επιλογής

Μπορούν να υιοθετηθούν διάφοροι τύποι υπερχειλιστών, ανάλογα με τις διατάξεις. Οι τοπογραφικές και γεωλογικές πτυχές των τοποθεσιών καθορίζουν τον ορισμό της διάταξης, καθώς και την επιλογή του τύπου του υπερχειλιστή. Το Σχήμα 3.5: **Campbell Υδροηλεκτρικό φράγμα**

δείχνει τον υπερχειλιστή στο υδροηλεκτρικό φράγμα Campbell.



Σχήμα 3.5: Campbell Υδροηλεκτρικό φράγμα

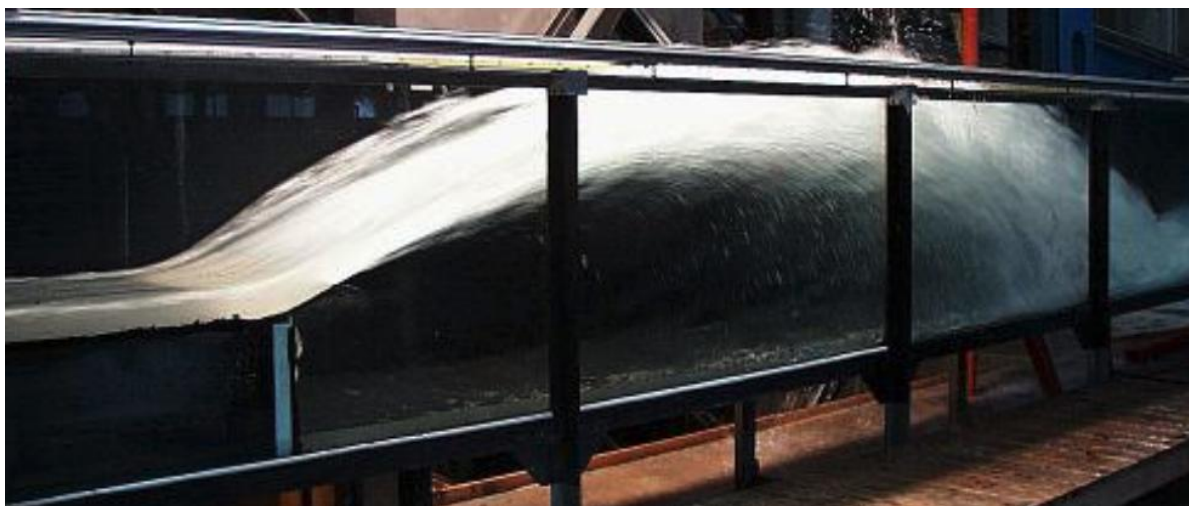
[21]

Ο υπερχειλιστής περιλαμβάνει ένα κανάλι, μια δομή ελέγχου, έναν αγωγό και έναν διασκορπιστή της ενέργειας. Η σημασία του να υπάρχει ένας υπερχειλιστής καλά τοποθετημένος στη διάταξη είναι μεγάλη. Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί ο διαχωρισμός των γραμμών ροής και για να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό δίκτυο ροής για την προσαρμογή της ροής. Οι υπερχειλιστές μπορεί να βρίσκονται στην επιφάνεια, ή στο κάτω μέρος. Αυτό φαίνεται σε διάφορα παραδείγματα:

- Οι επιφανειακές υπερχειλίσεις, ελεύθερες ή ελεγχόμενες από πύλες, επιτρέπουν τη στάθμη της δεξαμενής να κατέβει στην κορυφή της.
- Οι υπερχειλιστές πυθμένα, που ελέγχονται από πύλες, επιτρέπουν την ολική, ή μερική εκκένωση της δεξαμενής.

Οι υπερχειλιστές έχουν ποικίλα τυπικά τμήματα:

- Τμήματα με όρθια όψη και κλίση προς το προφίλ, πάνω από τα οποία ρέει νερό. Μετά το προφίλ, μπορεί να έχει μια λεκάνη με έναν υπερχειλιστή με ένα άλμα σκι στο τέλος (Σχήμα 3.6: Υπερχειλιστής με άλμα σκι).
- Τμήματα στρογγυλεμένης κορυφής με πίδακα σε ελεύθερη πτώση, ή στόμιο με άλμα σκι (ή εγκάρσιους πίδακες), στις περιπτώσεις τοξωτών φραγμάτων σε στενές κοιλάδες (Σχήμα 3.6: Υπερχειλιστής με άλμα σκι).
- Τμήματα στο φρεάτιο.
- Τμήματα σε στόμιο (κάτω), σε αγωγό (κάτω από φράγμα) ή σε σήραγγα.



Σχήμα 3.6: Υπερχειλιστής με άλμα σκι
[22]



Σχήμα 3.7: Άλμα του σκι του φράγματος Karakaya στην Τουρκία
[23]

3.10.2 Υδραυλικός σχεδιασμός

Αρχικά, αξίζει να σημειωθεί ότι η ροή για το σχεδιασμό της κατασκευής πρέπει να πληρεί συγκεκριμένα κριτήρια:

- Για φράγματα με ύψος μεγαλύτερο από 30m ή των οποίων η κατάρρευση ενέχει τον κίνδυνο απώλειας ζωής, η σχεδιασμένη ροή των υπερχειλιστών θα είναι η μέγιστη πιθανή ροή (VMP).
- Για φράγματα ύψους μικρότερου από 30m, ή με όγκο ταμιευτήρα μικρότερο από $50 \times 10^6 \text{ m}^3$ και όπου δεν υπάρχει κίνδυνος απώλειας ανθρώπινης ζωής, η ροή του σχεδιασμού θα καθορίζεται από έναν κίνδυνο, σημειώνοντας ότι η ελάχιστη επανάληψη θα είναι τα 1.000 χρόνια.

Το υδραυλικό μέγεθος καθορίζει το πλάτος (L) ή το πραγματικό μήκος της κορυφής της κατασκευής και το ύψος του υδραυλικού φορτίου στην κορυφή (H).

Πάνω από το 20% των ατυχημάτων στα φράγματα οφείλονται σε ανεπαρκή ικανότητα της ροής του υπερχειλιστή. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορεί να συναχθεί ότι η εκτιμώμενη ροή για το σχεδιασμό αυτής της κατασκευής έχει υπερβεί. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να υπήρξε σφάλμα στον προσδιορισμό της ροής κατά το σχεδιασμό και επίσης στο υδραυλικό μέγεθος των κατασκευών.

Η υδραυλική διαστασιολόγηση ενός φράγματος λαμβάνει υπόψη τις ιδανικές κορυφές με γεωμετρίες ανάντη και κατόντη που ορίζονται στα αντίστοιχα διαγράμματα HDC. Αυτά τα προφίλ εξαρτώνται από το υδραυλικό φορτίο στην κατασκευή (H_0), την κλίση της ανάντη όψης και το ύψος της κορυφής στο δάπεδο του καναλιού υπερχείλισης (P), το οποίο επηρεάζει τελικά την ταχύτητα ροής στην κορυφή.

Η ικανότητα ροής δίνεται από την εξίσωση:

$$Q = C_0 L H^{3/2} \quad (3.7)$$

Όπου:

Q = Συνολική ροή (m^3/s)

C_0 = Συντελεστής ροής

L = Αποτελεσματικό μήκος κορυφής (m)

H = Υδραυλική κεφαλή (m)

Δηλαδή, η ικανότητα ροής του υπερχειλιστή εξαρτάται από την ενεργειακή κεφαλή στην κορυφή (ht), το πραγματικό μήκος κορυφής (L) και το συντελεστή ροής.

Η κεφαλή σχεδίασης H_0 χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του προφίλ. Η υδραυλική κεφαλή μπορεί να είναι ίση με, μικρότερη ή μεγαλύτερη από το H_0 . Για $H > H_0$, ο συντελεστής αυξάνεται και εμφανίζονται αρνητικές πιέσεις στην επιφάνεια του υπερχειλιστή.

Κατά τον προσδιορισμό του καθαρού μήκους της κορυφής (L'), το φαινόμενο συστολής K_p και του στηρίγματος K_a θα πρέπει να ληφθεί υπόψη:

$$L' = L + 2(NK_p + K_a)H_0$$

(3.8)

Όπου:

L = Αποτελεσματικό μήκος κορυφής (m)

L' = Καθαρό μήκος κορυφής (m)

N = Αριθμός πυλώνων

K_p = Συντελεστής συστολής πυλώνων

K_a = Συντελεστής συστολής των ακραίων τοιχωμάτων του υπερχειλιστή

Οι υπερχειλιστές λειτουργούν λαμβάνοντας υπόψη το «Σχέδιο Λειτουργίας Πύλης» (GOP), το οποίο εκπονείται με βάση τις ροές που θα υπάρχουν κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής τους. Οι διάφορες πιθανές διαμορφώσεις λειτουργίας ελέγχονται σε μοντέλα. Τα σχέδια αυτά πρέπει να τηρούνται αυστηρά λόγω της ασφάλειας των εργασιών. Πριν από την έναρξη λειτουργίας των μονάδων, συνιστάται ειδική εκπαίδευση της ομάδας χειρισμού για το σκοπό αυτό.

Οι κανόνες πρέπει να είναι σαφείς και καλά καθορισμένοι για τα διάφορα επίπεδα επιχειρησιακής απόφασης και να καλύπτουν όλες τις κανονικές και έκτακτες καταστάσεις λειτουργίας.

Σε αυτά τα σχέδια πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Είναι σημαντικό να καθοριστούν τα εύρη των διακυμάνσεων της ροής, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η ταχεία διακύμανση της στάθμης του νερού, η οποία μπορεί να προκαλέσει ατυχήματα (είτε με τους πληθυσμούς του ποταμού, είτε με αλιευτικά ή εμπορικά σκάφη, βάρκες,

κλπ.). Σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όπως ξαφνικής διακύμανσης των ροών, ο πληθυσμός που μπορεί να επηρεαστεί θα πρέπει να προειδοποιηθεί σε κάποιο βαθμό.

- Ελαχιστοποίηση των ασύμμετρων ελιγμών της πύλης όπου είναι δυνατόν.
- Εξέταση της πιθανότητας εμπλοκής των πυλών και ορισμός διαδικασιών για τέτοιες καταστάσεις.
- Πρόβλεψη της δυνατότητας συντήρησης στον υπερχειλιστή, λαμβάνοντας υπόψη τη χρονική περίοδο, ανάλογα με το υδρολογικό καθεστώς, που είναι διαθέσιμο για αυτές τις δραστηριότητες. Θα πρέπει να εξεταστεί η εναλλακτική της εκτροπής του ποταμού για να καταστεί δυνατή η επισκευή της κατασκευής.
- Εξέταση όλων των παραδοχών που στοχεύουν στην αύξηση της λειτουργικής ευελιξίας της δομής.

Στο Σχήμα 3.8: **Ζημιά λόγω τριβής και πίεσης** παρουσιάζεται ένας υπερχειλιστής με καθίζηση λόγω της τριβής και της πίεσης.



Σχήμα 3.8: Ζημιά λόγω τριβής και πίεσης

[21]

4. Κεφάλαιο : Σχεδιασμός υδραυλικής μεταφοράς και μηχανολογικός εξοπλισμός

4.1 Γενικά

Η υδραυλική μεταφορά του υδροηλεκτρικού σταθμού περιλαμβάνει ως δομές το κανάλι της τροφοδοσίας ή κεφαλής, την εισαγωγή, τη δεξαμενή υπερχειλίσης εάν είναι απαραίτητο, την αποθήκη (ή σήραγγα), τη μονάδα παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας (στρόβιλος/γεννήτρια, σωλήνας βύθισης) και αυλάκι.

Ανάλογα με τη διάταξη, η λύση της υδραυλικής μεταφοράς μπορεί να είναι σε σήραγγα ή σε σωλήνα. Εάν η διάταξη είναι σε σήραγγα ή σωλήνα υπό πίεση, ανάλογα με το μήκος, μπορεί να απαιτείται μια δεξαμενή υπερχειλίσης.

4.2 Κανάλι ισχύος

Πολλές μονάδες διαθέτουν κανάλι (ή σήραγγα) παροχής ρεύματος για τη διεξαγωγή της ροής στην εισαγωγή, η διάταξη του οποίου πρέπει να μελετηθεί προσεκτικά. Η ροή πρέπει να είναι αθόρυβη, καλά προσαρμοσμένη, για να ελαχιστοποιηθεί ο σχηματισμός στροβιλισμού και απωλειών της κεφαλής.

Ανοδικά της εισαγωγής, μπορεί να απαιτηθεί η τελική έκταση του καναλιού τροφοδοσίας (ένας μπροστινός κολπίσκος και συχνά ένας πλευρικός υπερχειλιστής). Τα κριτήρια του σχεδιασμού συνοψίζονται παρακάτω.

Το κανάλι ισχύος πρέπει να σχεδιαστεί για τη μέγιστη ροή του στροβίλου, με τη δεξαμενή στην ελάχιστη στάθμη νερού. Το ύψος πρέπει να είναι σχεδιασμένο

στο μέγιστο επίπεδο. Η μέγιστη ταχύτητα της ροής ορίζεται με οικονομικά κριτήρια και είναι γενικά μικρότερη από 2,5 m/s για σκαμμένα κανάλια, ή κανάλια με επένδυση από σκυρόδεμα.

Για τα σκαμμένα κανάλια, οι ταχύτητες δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 1,0 m/s για την πρόληψη της διάβρωσης. Η κλίση μπορεί να είναι ίση με το προφίλ για τη στάθμη του νερού του ταμιευτήρα που αντιστοιχεί στη μέγιστη ροή και την ταχύτητα που έχει υιοθετηθεί.

Η απώλεια της κεφαλής κατά μήκος του καναλιού θα πρέπει να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας τον τύπο Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad \text{ή} \quad h_f = L \left(\frac{nV}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^{1/2} \quad (4.1)$$

Όπου:

V = μέση ταχύτητα σε διατομή (m/s).

I = κλίση (m/m)

R = υδραυλική ακτίνα = A/P (m)

A = επιφάνεια υγρού τμήματος (m^2)

P = περίμετρος υγρής διατομής (m)

L = μήκος (m)

n = συντελεστής τραχύτητας

h_f = συνεχής απώλεια κεφαλής (m)

Ο μετασχηματισμένος τύπος του Manning επιτρέπει τον έλεγχο της κλίσης του καναλιού με προκαθορισμένη ταχύτητα:

$$\frac{h_f}{L} = I = \left(\frac{nV}{R^3}\right)^2$$

(4.2)

Όπου το V έχει εύρος από 1,2 έως 2 m/s και το R από 4 έως 2, για $n=0,015$, όπου το I έχει εύρος από 0,05% έως 0,4% (μέτριες κλίσεις).

4.3 Είσοδος

Η είσοδος είναι μια μεταβατική δομή μεταξύ μιας ελεύθερης ροής στον ταμιευτήρα και μιας περιορισμένης ροής στο στόμιο στο οποίο η ταχύτητα πρέπει να είναι αργή για να περιορίσει τις τάσεις και την απώλεια της κεφαλής. Στο σχεδιασμό, θα πρέπει να αναζητηθεί μια δομή με γεωμετρία που να δέχεται τη ροή ομοιόμορφα, χωρίς στροβιλισμούς και να προωθεί μια προοδευτική και σταδιακή επιτάχυνση της ροής χωρίς φαινόμενα διαχωρισμού ή/και αποκόλλησης, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη απόδοση του στροβίλου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για μονάδες ηλεκτροπαραγωγής χαμηλής κεφαλής που χρησιμοποιούν οριζόντιες μηχανές, όπου η απόσταση μεταξύ της εισόδου και του στροβίλου είναι μικρή.

Οι εισοδοί είναι τυπικές κατασκευές πύργων ή τμημάτων βαρύτητας. Αυτός ο τύπος κατασκευής σε όλο τον κόσμο ήδη ενσωματώνει ένα πρότυπο σχεδιασμού για την επίτευξη ροής με την ελάχιστη απώλεια της κεφαλής. Στην ανάντη όψη, υπάρχουν συσσωρευτές σκουπιδιών και κατά την είσοδο, οι αυλακώσεις της πύλης είναι μπροστά από το στόμιο.

Ο σχεδιασμός της εισαγωγής είναι πολύπλοκος λόγω των ακόλουθων λεπτομερειών:

- Θέση της κατασκευής.
- Διεπαφές με τη ροή προσέγγισης σε γειτονικές κατασκευές (π.χ. φράγμα, υπερχειλιστής, ιχθυόσκαλες, τάφροι)
- Η γωνία προσέγγισης της ροής.
- Η στένωση της ίδιας της ροής.

Σε μεγάλα έργα για τον έλεγχο του μεγέθους και της απόδοσης της δομής, χρησιμοποιείται κάποιο μοντέλο.

4.4 Εξαερισμός

Ο αερισμός χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου εμφάνισης σπηλαιώσης σε ροές υψηλής ταχύτητας. Μια επιφάνεια σκυροδέματος, ακόμη και όταν δημιουργείται με αυστηρές προδιαγραφές, δεν είναι απαλλαγμένη από τυχόν φθορές σπηλαιώσης² όταν οι ταχύτητες ροής φτάνουν ή υπερβαίνουν τα 40 m/s, καθώς και για υψηλές ειδικές εκκενώσεις.

Ακόμα, για υψηλές ειδικές εκκενώσεις που είναι κοινές στα τρέχοντα έργα, ο συμπαρασυρόμενος αέρας της επιφάνειας του νερού λόγω της ανάπτυξης του οριακού στρώματος δε φτάνει πάντα στην κάτω περιοχή του καναλιού [25]. Ελλείπει της προστασίας που παρέχεται από το σύνολο νερού-αέρα, καθίσταται σημαντική οποιαδήποτε επιφανειακή ανωμαλία ικανή να μειώσει την πίεση

² Το φαινόμενο της σπηλαιώσης είναι πολύ σημαντικό και ταυτόχρονα θεωρείται ως η καταστροφή των υδραυλικών κατασκευών (υπερχειλίση των φραγμάτων). Αυτό είναι το φαινόμενο που συμβαίνει όταν η τάση των ατμών έχει μικρότερη πίεση στη δομή του υπερχειλιστή. Αυτό μπορεί να προκαλέσει σοβαρή ζημιά στη δομή του υπερχειλιστή και στο φράγμα και θα επηρεάσει αρνητικά την απόδοση. Μεταξύ των σημαντικών παραμέτρων που εμπλέκονται στην εμφάνιση αυτού του φαινομένου μπορεί να είναι ο ρυθμός της ροής, η πίεση της ροής, η αντοχή των υλικών που σχηματίζουν τη δομή του υπερχειλιστή και η ποσότητα της ροής του αέρα πάνω από τον υπερχειλιστή.

τοπικά στο επίπεδο της εξάτμισης του νερού (τάση ατμού). Όσο μεγαλύτερες είναι οι ταχύτητες της ροής, τόσο μεγαλύτερες είναι οι πιθανότητες της σπηλαιώσης. Για ταχύτητες 40 m/s ή μεγαλύτερες, το πεδίο της πίεσης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο. Μια αύξηση της ταχύτητας 5% – 10% αποδεικνύεται ότι είναι επαρκής για να προκαλέσει μειώσεις της πίεσης κατά 10 m της στήλης νερού.

Η εμπειρία δείχνει ότι είναι πολύ δύσκολο, ή πρακτικά αδύνατο, να κατασκευαστούν επιφάνειες από σκυρόδεμα που να είναι αρκετά λείες για να αποτρέψουν τη σπηλαιώση σε αυτές τις ταχύτητες.

Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σκαλοπάτια ή ράμπες για την προώθηση της εισαγωγής του αέρα (τεχνητός αερισμός) κάτω από την κοίτη του ρεύματος, απευθείας στην επιφάνεια της επαφής. Αυτό, μπορεί να θεωρηθεί ως μια λογική εναλλακτική λύση στην υιοθέτηση πολύ ομαλών και κανονικών επιφανειών των οποίων η εκτέλεση είναι δύσκολη, δαπανηρή και όχι πάντα επιτυχημένη.

Έχουν κατασκευαστεί αρκετά φράγματα παρέχοντας τμήματα αερισμού, όπως τα Bratsk, Ust-Ilim, Nurek και Toktogul-Narim στη Ρωσία, το Yacambu στη Βενεζουέλα, τα Itaipu και Foz do Areia στον ποταμό Iguaçu, τα Paraná και Emborcação στον ποταμό Paranaíba. Ο σχεδιασμός ενός συστήματος αερισμού απαιτεί να απαντηθούν τρία βασικά ερωτήματα:

- Με ποια ταχύτητα πρέπει να παρέχεται ο πρώτος αεριστής;
- Πόσος αέρας αναρροφάται στον αεριστή;
- Ποιος είναι ο χώρος μεταξύ των αεριστών για τη διατήρηση ενός δεδομένου επιπέδου προστασίας;

Η απάντηση στο πρώτο ερώτημα σχετίζεται με την έννοια του αερισμού ως συστήματος προστασίας από τη σπηλαιώση. Η προσοχή που λαμβάνεται κατά την κατασκευή σίγουρα συμβάλλει στη μείωση των ανωμαλιών και κατά συνέπεια του κινδύνου της σπηλαιώσης. Ο Πίνακας 4.1: **Αρχικές τιμές δείκτη σπηλαιώσης (σ_i)** δείχνει ορισμένες αρχικές τιμές του δείκτη σπηλαιώσης (σ_i), οι οποίες υποδεικνύουν την επίδραση της ποιότητας της επιφάνειας. Η βελτίωση

της ποιότητας σχετίζεται φυσικά με την αύξηση του κόστους λόγω της δυσκολίας της εκτέλεσης του έργου με πιο αυστηρά επίπεδα ανοχής.

Μία από τις βασικές ιδέες που διέπουν τα συστήματα αερισμού είναι η μείωση του κόστους, που προκύπτει από λιγότερο αυστηρές προδιαγραφές για το φινίρισμα των επιφανειών από σκυρόδεμα. Μια σωστή αξιολόγηση του αρχικού δείκτη σπηλαίωσης (σ_i) για τις αναμενόμενες ανωμαλίες της τοποθεσίας και τις οικονομικές εκτιμήσεις θα πρέπει να υποστηρίζει την απόφαση για το πού θα τοποθετηθεί ο πρώτος αεριστής.

Πίνακας 4.1: Αρχικές τιμές δείκτη σπηλαίωσης (σ_i)

I: n	σ_i
I:5	0.62
I:10	0.50
I:20	0.35
I:40	0.25

Όπου n = κλίση της ράμπας και

$$\sigma_i = (H - H_v) \sqrt{2g} \quad (4.3)$$

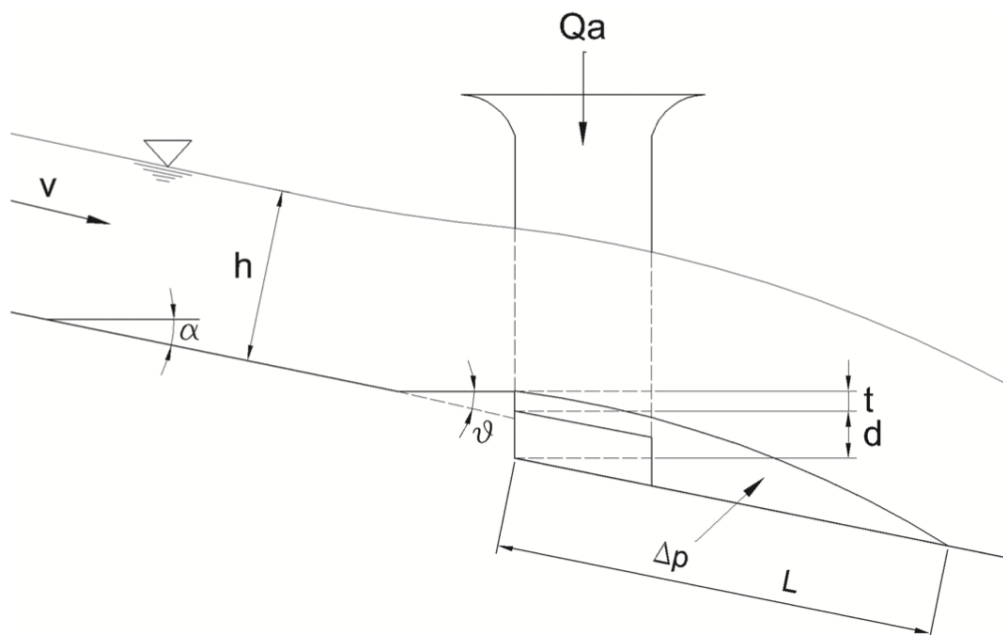
Οι διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις του αερισμού υποδεικνύουν ότι μια συγκέντρωση αέρα 5–10% ($C=[Var / Var+V_w]$) κοντά στην επιφάνεια που πρόκειται να προστατευτεί, ουσιαστικά εξαλείφει τον

κίνδυνο της σπηλαιώσης. Ωστόσο, ο σωστός σχεδιασμός ενός συστήματος αερισμού εξαρτάται από τη σωστή εκτίμηση της ποσότητας του αέρα που πρέπει να τραβήξει ο αεριστής (δεύτερη ερώτηση) και την ανάπτυξη συγκέντρωσης αέρα κοντά στην επιφάνεια που πρόκειται να προστατευτεί (τρίτη ερώτηση). Θα πρέπει να παρέχονται πρόσθετοι αεριστήρες σε τμήματα όπου οι κεφαλές συγκέντρωσης είναι κάτω από το απαιτούμενο ελάχιστο επίπεδο.

Οι ράμπες, τα σκαλοπάτια, οι εσοχές, οι αυλακώσεις κ.λπ. που εισάγονται στον αγωγό υπερχειλίσης είναι τα τμήματα που χρησιμοποιούνται για να προκαλέσουν ένα φυσικό αερισμό της ροής κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Η ξαφνική ασυνέχεια στην ευθυγράμμιση του πυθμένα δημιουργεί μια διεπαφή αέρα-νερού στην οποία η υψηλή ταχύτητα του νερού παρασύρει τον αέρα μέσω μιας έντονης διαδικασίας ανάμειξης. Ο καθορισμός της γεωμετρίας του αεριστή και της επιρροής του στην απόδοση του αερισμού δεν είναι μια εύκολη υπόθεση.

Ένα παράδειγμα υπολογισμών της γεωμετρίας ενός πιθανού αεριστή φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 4.1: Γεωμετρία αεριστή

).



Σχήμα 4.1: Γεωμετρία αεριστή

Όπου:

α : γωνία κλίσης του αγωγού

t : ύψος της ράμπας (m) και φ η γωνία της ράμπας ως προς το κάτω μέρος του αγωγού.

B : πλάτος του αγωγού, που αντιστοιχεί σε κάθε αεριστή (m).

A : Η περιοχή του αγωγού κάτω από την επιφάνεια του νερού (m^2).

Q : συνολική παροχή (m^3/s)

q : Η ειδική ροή ανά μονάδα πλάτους αγωγού ($m^3/s/m$)

Q_a : Η συνολική ροή του αέρα (m^3/s)

q_a : Η ειδική ροή του αέρα ανά μονάδα πλάτους του αγωγού ($m^3/s/m$).

h : Το ύψος του νερού στο τμήμα του αεριστή (m)

V : Η μέση ταχύτητα της ροής: $Q = q/h$ (m/s)

Fr : Αριθμός Froude: $Fr = V/(gh)^{0,5}$

Ο αεραγωγός θεωρείται ως ένα κοντό στόμιο ή ένας αγωγός, που ορίζεται από τη διατομή του και την επακόλουθη απώλεια της πίεσης της ροής του αέρα. D είναι η πραγματική επιφάνεια του αγωγού ανά μονάδα πλάτους του αγωγού και υπολογίζεται με $D=CA/B$ (m^2/m). C είναι ο συντελεστής εκκένωσης για τον τύπο εκκένωσης του αέρα του αγωγού:

$$Q_a B = CA \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho_a}}$$

(4.4)

Όπου:

Δp είναι η διαφορά μεταξύ της ατμοσφαιρικής πίεσης και της μέσης πίεσης κάτω από τον πίδακα του νερού, όπως μετράται κατά μήκος της κατακόρυφης όψης του σκαλοπατιού, ή της ράμπας (N/m^2) και ρ_a είναι η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3).

Η απόδοση του αεριστή μετριέται από την αναλογία της ροής του αέρα ως προς το νερό:

$$\beta = \frac{Q_a}{Q} = q_a/q$$

(4.5)

Το φαινόμενο έλξης του αέρα μπορεί να αναπαρασταθεί από την εξίσωση:

$$\beta = f(Fr, \frac{t}{h}, D/h)$$

(4.6)

Όπου:

Fr: Ο αριθμός Froude (αντανakλά τις συνθήκες απορροής του νερού)

Το t/h είναι ένα μέτρο του σχετικού ύψους του σκαλοπατιού ή της ράμπας

Το D/h χαρακτηρίζει την επίδραση του αεριστή

Όταν οι αδιάστατες παράμετροι Fr , t/h και D/h εξαρτώνται μοναδικά από τη ροή του νερού και το β είναι μια μοναδική συνάρτηση της ροής του νερού, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.2: **Διαφορετικά παραδείγματα υπολογισμών σε φράγματα**, έχουμε:

Πίνακας 4.2: Διαφορετικά παραδείγματα υπολογισμών σε φράγματα [25]

tg α	tg \varnothing	t (m)	A/t (m^2/m)	D (m^2/m)	GEOMETRY
0,26	1,8	0,2	0,16	0,16	
0,26	1,8	0,2	0,08	0,061	
0,26	1,8	0,15	0,16	0,15	
0,26	1,8	0,15	0,08	0,058	
0,26	1,8	0,1	0,16	0,14	
0,51	1,5	0,25	0,15	0,14	
0,51	1,5	0,25	0,17	0,16	
0	1,8	0,14	0,29	0,21	
0	1,8	0,14	0,29	0,21	
0	1,8	0,14	0,29	0,21	
2,41	1,1	0,06	0,2	0,23	
0,18	1,8	0,3	0,23	0,2	
0,18	1,8	0,2	0,23	0,21	

4.5 Σήραγγες

Οι σήραγγες έχουν χρησιμοποιηθεί σε υδροηλεκτρικές μονάδες με αυξανόμενα φορτία, που πλησιάζουν τα 1.000 m. Γενικότερα, η χρήση τους έχει ενταθεί αρκετά τα τελευταία 25 χρόνια. Είναι σχεδιασμένες και κατασκευασμένες για να λειτουργούν κανονικά χωρίς σημαντική πίεση. Ακολουθεί μια σύνοψη του σχεδιασμού και των εκτελεστικών μεθόδων αυτών των τμημάτων.

Η ευθυγράμμιση της σήραγγας θα πρέπει να αντιπροσωπεύει τη συντομότερη σύνδεση μεταξύ της εισαγωγής του νερού και της μονάδας παραγωγής της ενέργειας, όπου είναι δυνατόν.

Η σήραγγα πρέπει να σχεδιάζεται, έτσι ώστε το υψηλότερο σημείο να βρίσκεται πάντα με ασφάλεια κάτω από την πιεζομετρική γραμμή στην πιο δυσμενή περίπτωση, δηλαδή όταν η στάθμη του νερού του ταμιευτήρα και του αντίστοιχου της υπερχειλίσσης (αν υπάρχει) φτάσει στο ελάχιστο επίπεδο. Στο σημείο της χαμηλής πίεσης (σήραγγα κεφαλής), μεταξύ της εισαγωγής του νερού και του ταμιευτήρα της υπερχειλίσσης, η κλίση πρέπει να είναι χαμηλή, 1,0%-2,0%, ώστε να υπάρχει στην ουσία στρωτή ροή. Αυτή η κλίση θα λάβει υπόψη τις πτυχές της αποστράγγισης του νερού. Στο σημείο της υψηλής πίεσης, μεταξύ του ταμιευτήρα υπερχειλίσσης και της βαλβίδας ανάντη του στροβίλου, θα πρέπει να είναι κατάλληλη η γωνία. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι κεκλιμένοι άξονες έχουν πλεονεκτήματα έναντι των κατακόρυφων αξόνων. Γενικά, η μέγιστη κλίση πρέπει να περιορίζεται στο 10%-12%. Όταν η γεωμετρία της διάταξης το απαιτεί, τα απότομα τμήματα θα πρέπει να συγκεντρώνονται σε μικρές προεκτάσεις, καθώς θα απαιτούν διαφοροποιημένες μεθόδους κατασκευής.

Λαμβάνοντας υπόψη την ποιότητα του βράχου, στο τμήμα όπου πληρείται το κριτήριο της ελάχιστης κάλυψης του βράχου, δεν πρέπει να προβλέπεται επένδυση της σήραγγας. Η επένδυση θα απαιτηθεί μόνο στο τμήμα όπου η κάλυψη του βράχου είναι ανεπαρκής λόγω των γεωλογικών και κατασκευαστικών απαιτήσεων. Το μήκος του θωρακισμένου τμήματος στη μονάδα παραγωγής της ενέργειας και τελικά, σε άλλα εντοπισμένα τμήματα, θα πρέπει να πληροί το κριτήριο της ελάχιστης κάλυψης του βράχου. Το Σχήμα 4.2: Διαδικασίες κατασκευής και συντήρησης σήραγγας

αφορά τις διαδικασίες κατασκευής και συντήρησης μιας σήραγγας. Αντίστοιχα το Σχήμα 4.3: Αποτυχία και καθίζηση πετρωμάτων και χώματος σε σήραγγα αφορά την αποτυχία και την καθίζηση πετρωμάτων και χώματος σε μια σήραγγα.



Σχήμα 4.2: Διαδικασίες κατασκευής και συντήρησης σήραγγας

[26]



Σχήμα 4.3: Αποτυχία και καθίζηση πετρωμάτων και χόματος σε σήραγγα

[27]

Όταν η κάλυψη του πεδίου είναι ανεπαρκής, ή όπου η μάζα του βράχου είναι πολύ διαπερατή, θα έχει ως αποτέλεσμα την υπερβολική διείσδυση και θα είναι απαραίτητο να καλυφτεί η σήραγγα (επένδυση από χάλυβα ή σκυρόδεμα). Αυτό το μέτρο καθιστά το έργο πολύ πιο ακριβό.

Η πρόοδος της ανασκαφής θα πρέπει να συνοδεύεται από κάποιον έμπειρο γεωλόγο, ο οποίος θα ταξινομήσει τη μάζα του βράχου χρησιμοποιώντας το κριτήριο του Barton (1974), λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο του πετρώματος αξιολογώντας τις γεωλογικο-γεωτεχνικές παραμέτρους του (βαθμοί θραύσης, αλλοίωση, συνοχή και υδραυλική αγωγιμότητα) [28]. Επίσης, απαιτείται η ανάλυση των δομικών πτυχών (ρήγματα, σύνδεσμοι, συνθήκες θραύσης κ.λπ.). Συνάρτηση αυτής της ταξινόμησης θα είναι επίσης οι τύποι στήριξης, επεξεργασίας και περιορισμού σε κάθε τμήμα.

Η διάσταση του πάχους της επιπρόσθετης προσθήκης κάλυψης πρέπει να λαμβάνει υπόψη δύο καταστάσεις:

- Πρέπει να συμμορφώνεται πλήρως με το μέγιστο εσωτερικό φορτίο της κεφαλής με τη σήραγγα σε λειτουργία, σε κάθε σημείο που υπολογίζεται, από τη διαφορά μεταξύ της στάθμης του νερού ανάντη και του ύψους του δαπέδου της σήραγγας, συν τον συντελεστή υπερ-πίεσης = 1,3.
- Πρέπει επιπλέον να πληροί την κατάσταση που επικρατεί στη λειτουργία εκκένωσης της σήραγγας όταν οι εξωτερικές πιέσεις του φυσικού υδροφόρου ορίζοντα, ή της τεχνητής κάλυψης που δημιουργείται από τη λειτουργία της σήραγγας ενεργούν προς την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή τη σύνθλιψη της επένδυσης.

Για να ανακουφιστούν οι εξωτερικές πιέσεις σύνθλιψης, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι πτυχές όπως το σύστημα της αποστράγγισης του νερού γύρω από το τμήμα και η πρόβλεψη των ακτινικών εγχύσεων μεταξύ της με και χωρίς επένδυση έκτασης.

Η κάλυψη πρέπει να αντέχει την ελάχιστη πίεση σύνθλιψης που αντιστοιχεί στην πίεση έγχυσης της διαδικασίας θωράκισης της μάζας του βράχου, συνήθως $3,0 \text{ kg/cm}^2$, που αντιστοιχεί σε στήλη νερού 20 m συν το συντελεστή ασφαλείας 1,5 ($20 \text{ m}=2,0 \text{ kg / cm}^2$). Στο τμήμα εξόδου της σήραγγας, η θωράκιση πρέπει να ελεγχθεί για τη μέγιστη πίεση.

4.6 Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος

Στις υδροηλεκτρικές μονάδες έχουν χρησιμοποιηθεί δύο τύποι κατασκευής, ο εξωτερικός ηλεκτροπαραγωγός σταθμός, ο οποίος μπορεί να είναι εσωτερικός ή εξωτερικός και ο υπόγειος ηλεκτροπαραγωγός σταθμός. Στη μονάδα παραγωγής της ενέργειας, θα πρέπει να παρέχονται χώροι για το βοηθητικό ηλεκτρολογικό και μηχανολογικό εξοπλισμό (ηλεκτρικές και μηχανολογικές στοές, κέντρο λειτουργίας κ.λ.π.). Οι μετασχηματιστές μπορούν να εγκατασταθούν εντός ή και εκτός του ηλεκτροπαραγωγικού συγκροτήματος, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της κάθε περίπτωσης.

Τα υψόμετρα του εργοστασίου παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας ορίζονται λαμβάνοντας υπόψη τα αξιοσημείωτα επίπεδα των βυθιζόμενων υδάτων του στροβίλου και κατά συνέπεια, του σωλήνα έλξης, που καθορίζει τον ορισμό του επιπέδου θεμελίωσης του ηλεκτροπαραγωγικού συγκροτήματος και των στοών αποστράγγισης. Η ποιότητα της καμπύλης της ονομαστικής ροής είναι υψίστης σημασίας για τον καθορισμό των επιμέρους στοιχείων, όπως το επίπεδο του δαπέδου του μετασχηματιστή.

Το ύψος της υπερ-κατασκευής ή του σκελετού του γερανού (στην περίπτωση της συναρμολόγησης/αποσυναρμολόγησης) εξαρτάται από το μέγιστο ύψος του γάντζου του βαρούγκου πάνω από το έδαφος, που απαιτείται ώστε το μεγαλύτερο μέρος (ρότορας στροβίλου με άξονα ή ρότορας γεννήτριας) να μπορεί να τοποθετηθεί πάνω από τις ήδη συναρμολογημένες μηχανές, ή αυτές που βρίσκονται σε λειτουργία.

Για τη συναρμολόγηση/αποσυναρμολόγηση, τα σχέδια πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις δοκούς για τους οριστικούς γεραμούς. Σημειώνεται ότι ορισμένος εξοπλισμός και εξαρτήματα ενδέχεται να παρέχονται προ-συναρμολογημένα. Οι σκάλες πρέπει να σχεδιάζονται σε άνετες αναλογίες και σχήματα. Οι εργαζόμενοι συχνά πρέπει να περάσουν βιαστικά από αυτές, μεταφέροντας βαριά και δυσκίνητα εξαρτήματα σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Οι σπειροειδείς και ναυτικές σκάλες πρέπει να σχεδιάζονται μόνο για μέρη όπου δεν υπάρχει άλλη επιλογή. Η εξωτερική πρόσβαση θα πρέπει να καθορισθεί λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο του κύριου δαπέδου της περιοχής συναρμολόγησης, λαμβάνοντας υπόψη τις τοπογραφικές πτυχές του χώρου μαζί με τις αποδεκτές ράμπες για τον εξοπλισμό μεταφοράς και τη διάταξη των υπόλοιπων έργων (π.χ. υποσταθμός). Η σταθερότητα της κατασκευής θα πρέπει επίσης να ελέγχεται για τις τρέχουσες περιπτώσεις φόρτωσης.

4.7 Πύλες και βαλβίδες

Η κατασκευή των πυλών προήλθε από τις εργασίες άρδευσης, ύδρευσης και ποταμοπλοΐας. Στην αρχαιότητα, το νερό φράσσονταν από μικρά φράγματα και εκτρέπονταν σε αρδευτικά κανάλια. Η περίσσεια νερού μπορούσε να απορροφηθεί πάνω από το φράγμα.

Τα κινητά φράγματα κατασκευάστηκαν με κινητές πύλες που μπορούσαν να ανοίξουν για να δώσουν τη θέση τους στην περίσσεια νερού, επιτρέποντας μεγαλύτερη ευελιξία στη λειτουργία των υδραυλικών έργων.

Τα κανάλια κεφαλής και οι σήραγγες χαμηλής και υψηλής πίεσης συνήθως χρησιμοποιούν πύλες και βαλβίδες για να προστατεύσουν τους υδατοφράχτες και τους στρόβιλους. Οι υπερχειλιστές είναι συνήθως εφοδιασμένοι με επιφανειακές πύλες, αλλά υπάρχουν έξοδοι και στο κάτω μέρος. Πριν από την επιλογή τους (συγκεκριμένος τύπος), πρέπει να καθοριστούν οι βασικές υδραυλικές απαιτήσεις όπως το μέγιστο φορτίο και η εκφόρτιση. Αυτές οι απαιτήσεις παρέχουν τη βάση για τον προσδιορισμό των διαστάσεων και του αριθμού των απαιτούμενων αγωγών.

Οι διαστάσεις είναι το σημείο εκκίνησης για την επιλογή πυλών και βαλβίδων, καθώς οι διάφοροι τύποι έχουν περιορισμό μέγιστου φορτίου (μέγιστη κεφαλή). Ο περιορισμός του φορτίου μπορεί να οφείλεται σε στεγανοποιήσεις, ή σε πιθανά υδραυλικά προβλήματα (τάσεις σπληαίωσης και ζημιές, απώλειες κεφαλής, απαιτούμενη συντήρηση και κόστος). Το μέγεθος συνήθως περιορίζεται από τα προβλήματα της κατασκευής και της μεταφοράς.

Ακόμα κι αν οι στρόβιλοι έχουν τις δικές τους συσκευές κλεισίματος (διανομέας), είναι συνετό να προβλεφθεί ένας ακόμη άλλος μηχανισμός κλεισίματος του κυκλώματος. Συνήθως πρέπει να παρέχονται τουλάχιστον δύο ξεχωριστοί αγωγοί, ο καθένας με μια πύλη ή μια βαλβίδα πύλης. Αυτή η διάταξη, αν και είναι πιο ακριβή, εξασφαλίζει έναν υψηλό βαθμό ελευθερίας στον έλεγχο των εκκενώσεων. Επιπλέον, επιτρέπει την εκτέλεση εργασιών συντήρησης και επισκευής χωρίς την ανάγκη για διακοπή της λειτουργίας όταν κάποια πύλη καταστεί εκτός λειτουργίας (κάτι που συμβαίνει συχνά).

Στη διαδικασία επιλογής πύλης ή βαλβίδας πρέπει επίσης να καθοριστούν οι συνθήκες υπό τις οποίες θα εκκενωθούν οι αγωγοί. Για αγωγούς με σχέδια πύλης εκκένωσης και βαλβίδες, πρέπει να οι μηχανικοί να είναι βέβαιοι ότι δε θα βυθιστούν ποτέ κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης (οι στροβιλιζόμενες ροές αυξάνουν τη στάθμη και εάν υπάρχει σφάλμα μπορούν να γεμίσουν με νερό).

Σε πολλές περιπτώσεις, ο αγωγός εκκένωσης ενός φράγματος είναι μια βασική πτυχή της ασφαλούς λειτουργίας της δομής. Για το λόγο αυτό, οι πύλες και οι βαλβίδες για αυτούς τους αγωγούς πρέπει να επιλέγονται και να διατάσσονται ώστε να λειτουργούν υδραυλικά με ασφάλεια. Η ασφάλεια είναι πρωταρχικής σημασίας και δε μπορεί να διακυβευτεί για λόγους οικονομίας.

Παρακάτω παρουσιάζεται η ορολογία που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των διαφόρων αντίστοιχων τύπων:

- Πύλη: είναι μια συσκευή που αποτελείται από μια σανίδα-πλάκα (με άνοιγμα και κλείσιμο ως λειτουργίες), που κινείται για να ελέγξει τη ροή. Περιέχει σταθερά μέρη και μηχανισμούς. Οι σφραγίδες τους που στερεώνονται στον τοίχο για πλήρη στεγανοποίηση είναι συνήθως κατασκευασμένες από καουτσούκ (Σχήμα 4.4: **Πύλες φράγματος**).
- Βαλβίδα: είναι μια συσκευή κλεισίματος όπου παραμένει αξονικά στερεωμένη ως προς τη διαδρομή της ροής και περιστρέφεται ή μετακινείται κατά μήκος προκειμένου να ελεγχθεί η ροή. Υπάρχουν διάφοροι τύποι βαλβίδας (Σχήμα 4.5: **Κωνικές βαλβίδες**).
- Πύλες ή προστατευτικές βαλβίδες: αυτές οι συσκευές λειτουργούν πλήρως ανοιχτές ή κλειστές και λειτουργούν ως δευτερεύουσα διάταξη ασφαλείας για τη διακοπή της ροής σε περίπτωση που η κύρια συσκευή δε λειτουργεί. Οι προστατευτικές πύλες συνήθως λειτουργούν υπό συνθήκες ισορροπημένης πίεσης, μη ροής, εκτός από τα κλεισίματα έκτακτης ανάγκης. Οι πύλες και οι ρυθμιστικές βαλβίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της ροής εξόδου του ταμιευτήρα ή για τον έλεγχο των παροδικών πιέσεων που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία του στροβίλου.
- Πύλες στραγγαλισμού ή βαλβίδες: αυτές οι συσκευές λειτουργούν υπό υψηλή πίεση για να μειώνουν τη ροή και να ελέγχουν τους ρυθμούς εκφόρτισης. Μπορούν επίσης να ελέγξουν τις παροδικές πιέσεις κατά τη λειτουργία του στροβίλου.
- Πύλες διαφράγματος ή σταματήματος (stop): εγκαθίστανται στην είσοδο του υδραυλικού κυκλώματος για να το απομονώσουν ένα τμήμα για επιθεώρηση ή συντήρηση και λειτουργούν πάντα σε ισορροπία πίεσης. Δε μπορούν ωστόσο να θεωρηθούν ως προστατευτικές πύλες.

Με το πέρασμα των χρόνων έχουν αναφερθεί ποικίλα σχέδια πυλών και βαλβίδων. Συνήθως, τα καλύτερα είναι αυτά που αντικατοπτρίζουν πιο στιβαρές και απλές κατασκευές.



Σχήμα 4.4: Πύλες φράγματος

[29]



Σχήμα 4.5: Κωνικές βαλβίδες

[30]

4.8 Στρόβιλοι

Ο στρόβιλος μετατρέπει την υδραυλική ενέργεια $Q \cdot H$ – ροή (κινητική) και κεφαλή (δυναμικό) σε μηχανική ενέργεια ($T \cdot n$, ροπή κινητήρα και περιστροφή) στον άξονα του στροβίλου.

Η ροή ελέγχεται με το άνοιγμα του διανομέα. Ο άξονας του στροβίλου συνδέεται απευθείας με μια γεννήτρια που μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια ($E \cdot I$, ηλεκτρική τάση και ηλεκτρικό ρεύμα). Η ταχύτητα περιστροφής n (rpm) του στροβίλου-γεννήτριας πρέπει να είναι η σύγχρονη ταχύτητα που αντιστοιχεί στη συχνότητα συστήματος (f) του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Γενικά, είναι επιθυμητή η υψηλότερη δυνατή ταχύτητα επειδή το στροβίλου-γεννήτριας θα είναι μικρότερο και η μονάδα θα απαιτεί λιγότερο χώρο (οι διαστάσεις του ηλεκτροπαραγωγικού συγκροτήματος θα μειωθούν και η μονάδα θα είναι φθηνότερη). Ένας υδραυλικός στρόβιλος είναι συνήθως προσαρμοσμένος για να ταιριάζει σε μια κεφαλή υγρού και στο σχεδιασμό της ροής. Υπάρχουν δύο τύποι, που βασίζονται σε δύο διαφορετικές αρχές μετατροπής της ενέργειας, οι στρόβιλοι δράσης και οι στρόβιλοι αντίδρασης.

Οι στρόβιλοι δράσης είναι εκείνοι στους οποίους όλη η υδραυλική ενέργεια που εισέρχεται σε αυτούς μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια στα ακίνητα μέρη μπροστά από το ρότορα. Ο ρότορας αυτού του στροβίλου λειτουργεί εκτός νερού (λειτουργεί κοντά στην ατμοσφαιρική πίεση) που δεν του επιτρέπει να αξιοποιήσει πλήρως την ενέργεια της εγκατάστασης καθώς το ελεύθερο ύψος πάνω από το ρότορα δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Ο στρόβιλος Pelton είναι ο πιο κοινός τύπος αυτής της κατηγορίας και χρησιμοποιείται για πολύ ψηλές κεφαλές.

Οι στρόβιλοι αντίδρασης είναι εκείνοι των οποίων οι ρότορες λειτουργούν βυθισμένοι στο νερό, υπόκεινται σε αντίθλιψη προς τα κάτω, η οποία επιτρέπει την πλήρη χρήση της ενέργειας της εγκατάστασης. Σε αυτούς τους στροβίλους, μόνο το μέρος της υδραυλικής ενέργειας που εισέρχεται σε αυτούς μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια στα ακίνητα μέρη μετά το ρότορα. Η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια στο ρότορα μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα. Το πρώτο είναι η παλμική δράση που προκαλείται από την αλλαγή στην κατεύθυνση της ταχύτητας εισόδου στην έξοδο του ρότορα και το δεύτερο είναι η συνεισφορά της αντίδρασης που προκαλείται από την πτώση της πίεσης στο ρότορα. Στο σωλήνα βύθισης ένα μέρος της κινητικής ενέργειας στην έξοδο του ρότορα μετατρέπεται σε δυναμική ενέργεια. Οι στρόβιλοι Francis και Kaplan ανήκουν σε αυτή την ομάδα.

4.9 Παράδειγμα υδροηλεκτρικού εργοστασίου

Σε αυτό το υποκεφάλαιο συνοψίζονται όλες οι παραπάνω αναφορές σε ένα παράδειγμα για τη λειτουργία ενός υδροηλεκτρικού εργοστασίου. Τα δεδομένα προέρχονται από έναν πραγματικό υδροηλεκτρικό σταθμό στη βορειοδυτική περιοχή της Ισπανίας.

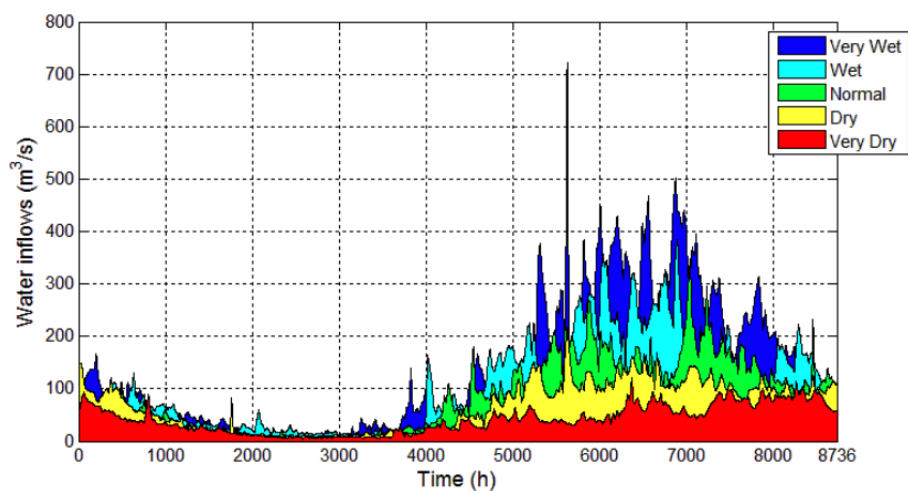
Ο υδροηλεκτρικός σταθμός είναι ένα σχέδιο που βασίζεται σε φράγματα. Το εργοστάσιο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται στο άκρο του φράγματος και το νερό μεταφέρεται στους στρόβιλους μέσω τριών διαφορετικών πυλώνων που διέρχονται από το σώμα του φράγματος. Οι κύριες παράμετροι σχεδιασμού του υδροηλεκτρικού σταθμού περιλαμβάνονται στον Πίνακα 4.3: Κύριες σχεδιαστικές παράμετροι του υδροηλεκτρικού σταθμού.

Πίνακας 4.3: Κύριες σχεδιαστικές παράμετροι του υδροηλεκτρικού σταθμού

Μέγιστη περιεκτικότητα σε νερό του ταμιευτήρα	644.60 hm^3
Ελάχιστη περιεκτικότητα σε νερό του ταμιευτήρα	70.98 hm^3
Μέγιστη υψομετρική στάθμη νερού	329.50 masl
Ελάχιστο υψόμετρο νερού	270 masl
Αριθμός υδροηλεκτρικών μονάδων	3
Τύπος υδροηλεκτρικής μονάδας	Francis
Αριθμός σηράγγων	3

Μέγιστη παροχή	279 (3x93) m^3/s
Ελάχιστη παροχή	40 m^3/s
Μέγιστη ισχύς	319.7 (3x106.6) MW
Ελάχιστη ισχύς	21.9 MW

Για τον υπολογισμό είναι απαραίτητες οι αντίστοιχες χρονοσειρές για τις βροχοπτώσεις και τις εισροές του νερού καθώς και οι αντίστοιχες κατανομές μέσα στους μήνες.



Εικόνα 4.1: Ωριαίες εισροές νερού για κάθε τύπο «υδάτινου» έτους

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ενέργεια παίζει βασικό ρόλο στην ανάπτυξη μιας χώρας και στον καθορισμό του βιοτικού της επιπέδου. Λόγω της ταχείας αύξησης του πληθυσμού και της εκβιομηχάνισης σε όλο τον κόσμο, η ζήτηση της ενέργειας αυξάνεται απότομα. Η αύξηση της ζήτησης της ενέργειας εξαντλεί ραγδαία τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους. Οι συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και η πυρηνική ενέργεια, εκτός από περιορισμένες είναι επίσης υπεύθυνες για τη ρύπανση του περιβάλλοντος και τη διατάραξη της οικολογικής ισορροπίας. Από την άλλη πλευρά, οι μη συμβατικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ο άνεμος, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμία, η κυματική ενέργεια των ωκεανών είναι άφθονες, ανεξάντλητες και μη ρυπογόνες ως προς τη φύση. Έτσι, η κατεύθυνση της ανάπτυξης στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας μετατοπίζεται προς τις μη συμβατικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με την πάροδο των ετών. Από όλους τους διαθέσιμους ανανεώσιμους πόρους της ενέργειας, η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια καθαρή, αποτελεσματική και χωρίς προβλήματα τεχνολογία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα συστήματα υδροηλεκτρικής ενέργειας ορίζονται ως μεγάλα ή μικρά με βάση τη δυναμικότητα της κάθε μονάδας. Επίσης, διαφορετικές χώρες ακολουθούν διαφορετικούς κανόνες για το σχεδιασμό και την κατασκευή τέτοιων μονάδων. Η υδροηλεκτρική ενέργεια, η πιο σημαντική μορφή ανανεώσιμης ενέργειας για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο, παρέχει το 19% της ενεργειακής ζήτησης του πλανήτη.

Στις αρχές του εικοστού αιώνα αναπτύχθηκαν διάφορες μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες. Πολλές από αυτές έχουν πλέον εγκαταλειφθεί. Η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει ένα ευρύ φάσμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η σωστή λειτουργία τέτοιων μονάδων είναι πολύ σημαντική για να επιτευχθεί η μέγιστη παραγωγή με το ελάχιστο κόστος λειτουργίας.

Ένα φράγμα καθ' όλη τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του μπορεί να επηρεαστεί από διάφορα φαινόμενα, φυσικά ή άλλα, όπως για παράδειγμα το κλίμα της περιοχής, τα πιθανά προβλήματα των θεμελίων, τις πιθανές μεγάλες πλημμύρες, τους σεισμούς, τα οικοδομικά υλικά κ.λπ. Η παλαιότητα των φραγμάτων μπορεί να οδηγήσει σε ατυχήματα που συνήθως οδηγούν σε άυλες απώλειες

ανθρώπων ζώων και σημαντικές οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές απώλειες που υπερβαίνουν την ικανότητα των πληττόμενων κοινοτήτων να λύσουν και να αντιμετωπίσουν τα πιθανά προβλήματα που προκλήθηκαν. Για όλους αυτούς τους λόγους, κάθε φράγμα θα πρέπει να είναι καλά κατασκευασμένο και να παρακολουθείται συστηματικά από εκπαιδευμένες και καταρτισμένες ομάδες. Επιπλέον, μέσα από τα παραπάνω φαίνεται η σημαντικότητα του σωστού σχεδιασμού του πριν από την εκκίνηση των κατασκευαστικών εργασιών.

Γενικότερα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν τα ακόλουθα:

- Όλα τα γεωλογικά και γεωτεχνικά θέματα.
- Οι υδρολογικές πτυχές σχετικά με τις εκτιμήσεις της μέγιστης ροής.
- Όλες οι πτυχές της κατασκευής, από την εκσκαφή, την επεξεργασία των θεμελίων έως και την προσομοίωση της λειτουργίας του.

Οι υδροηλεκτρικές διατάξεις περιλαμβάνουν έναν υπερχειλιστή για την υπερχείλιση των πλημμυρών για τη διατήρηση της στάθμης του νερού των ταμιευτήρων και τη διασφάλιση της προστασίας από πιθανά προβλήματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ρυθμίσεις συχνά δεν περιλαμβάνουν έξοδο στο κάτω μέρος για να επιτρέπεται το άδειασμα του ταμιευτήρα. Η ύπαρξη μιας τέτοιας εξόδου είναι σημαντική σε όλες τις υδραυλικές εργασίες ανεξάρτητα από το κόστος. Κάποια από τα ατυχήματα που συνέβησαν στο παρελθόν θα μπορούσαν να είχαν αποτραπεί εάν υπήρχε μια τέτοια έξοδος. Όλα αυτά τα θέματα σχετικά με την ασφάλεια είναι πολύ περίπλοκα και εξ' ου και η ανάγκη της αποδεδειγμένης εμπειρίας στο αντικείμενο από τις ομάδες που συμμετέχουν τόσο στη μελέτη, όσο και στην κατασκευή για τη μείωση και την ελαχιστοποίηση των κινδύνων.

Η εργασία αυτή είχε ως στόχο την κάλυψη των περισσότερων πτυχών του σχεδιασμού, της κατασκευής και της λειτουργίας μιας υδροηλεκτρικής μονάδας λαμβάνοντας υπόψη όλα τα στοιχεία και τις παραμέτρους που επηρεάζουν τα παραπάνω. Γενικότερα, βιβλιογραφικά έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα λειτουργίας, τα οποία περιλαμβάνουν βελτιστοποιημένες τεχνικές σε σχέση με παλιότερα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Jansen, R. B. USBR, "U.S. Bureau of Reclamation. Dams and public safety: A water resources technical publication. Denver: USBR,," 1983.
- [2] Harford T., "bbc," 3 2020. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/news/business-51459930>. [Accessed 2 2 2022].
- [3] Mays L. W. , "Hydraulic Design Handbook," *New York: McGraw-Hill Handbooks*, 1999.
- [4] García-Asensio, José & Ayuga, Francisco, " Irrigation engineering in Spain and how it has changed the country's landscape," *European Countryside*, Vols. 9. 10.1515/euco-2017-0013. , 2017.
- [5] Gomide, F. L. S. , "Water storage for sustainable development and poverty eradication," *Curitiba, Brazil*, 2012.
- [6] "ejatlas.org," [Online]. Available: <https://ejatlas.org/conflict/balbina-hydroelectric-dam-amazonas-brazil>. [Accessed 10 2 2022].
- [7] "www.thingstodopost.org," [Online]. Available: <https://www.thingstodopost.org/top-10-other-outdoor-activities-in-state-of-para-brazil-881347>. [Accessed 10 2 2022].
- [8] "www.resilienceshift.org," [Online]. Available: <https://www.resilienceshift.org/case-study/itaipu-dam/>. [Accessed 10 2 2022].
- [9] "en.wikipedia.org," [Online]. Available:

https://en.wikipedia.org/wiki/Sobradinho_Dam. [Accessed 10 2 2022].

- [10] "www.pinterest.fr," [Online]. Available: <https://www.pinterest.fr/pin/389772542740544971/visual-search/?imageSignature=81126b2239ab1dbe737c83a9f2569fca>. [Accessed 10 2 2022].
- [11] "www.novaparticipacoes.com," [Online]. Available: <http://www.novaparticipacoes.com/en/projetos/hpp-from-50-mw-to-200-mw/>. [Accessed 10 2 2022].
- [12] "travelnevada.com," [Online]. Available: <https://travelnevada.com/historical-interests/hoover-dam/>. [Accessed 10 2 2022].
- [13] European environmental agency, "www.eea.europa.eu," [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/european-catchments-and-rivers-network>. [Accessed 1 4 2022].
- [14] "www.dreamstime.com," [Online]. Available: <https://www.dreamstime.com/weather-station-stockholm-archipelago-operated-swedish-meteorological-institute-smhi-svenska-h%C3%B6garna-outer-sweden-europe-image104319886>. [Accessed 20 2 2022].
- [15] WATER MONITORING STANDARDISATION TECHNICAL COMMITTEE , "National Industry Guidelines for hydrometric monitoring," *Australian Government*, 2019.
- [16] Power, G., "Siltation is threat to whole world's storage dams," *World Water*, 1988.
- [17] Mays, L. W. , "Hydraulic Design Handbook," *New York: McGraw-Hill Handbooks*, 1999.
- [18] Marsal, R. J. & Nu ez, D. R. , "Earth and Rockfill Dams," *Martins, R. Kinematics of the free jet in the context of hydraulic structures. LNEC. Memory n. 424. , 1977.*
- [19] "walo.com," [Online]. Available: <https://walo.com/services/reservoir-dam-face-lining/>. [Accessed 26 2 2021].
- [20] "en.wikipedia.org," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Krasnoyarsk_Dam. [Accessed 26 2 2021].

- [21] "en.m.wikipedia.org," [Online]. Available: https://en.m.wikipedia.org/wiki/File%3AEB_Campbell_Dam_Spillway.jpg. [Accessed 26 2 2021].
- [22] Heller, V., Hager, W.H., Minor, H.-E., "Skisprung – Allgemeine Bemessungsansätze," *Wasser Energie Luft*, pp. 183-187, 2004.
- [23] Heller V., "Deflector ski jump hydraulics," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 134, no. 5, pp. 562-571, 2008.
- [24] "electronic-sirens.com," [Online]. Available: <http://www.electronic-sirens.com/accidents-at-hydroelectric-power-stations/>. [Accessed 30 3 2022].
- [25] Pinto, N. L. S., "Designing aerators for high velocity flow," *WP&DC*, 1989.
- [26] "tunneltalk," [Online]. Available: <https://www.tunneltalk.com/Columbia-08Oct2020-Collapse-of-the-Ituango-hydropower-project-collapse-in-review.php>. [Accessed 10 4 2022].
- [27] "tunneltalk," [Online]. Available: <https://www.tunneltalk.com/TunnelTECH-Mar2020-Hydro-waterway-collapses-causes-and-recommendations.php>. [Accessed 10 4 2022].
- [28] Barton, N. R., et al., "Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support," *Rock Mechanics*, vol. 4, no. 189, 1974.
- [29] "graconllc.com," [Online]. Available: <https://graconllc.com/types-of-dam-gates/>. [Accessed 16 4 2022].
- [30] "www.nencini.com," [Online]. Available: <http://www.nencini.com/prodotti/fixed-cone-valves/>. [Accessed 16 4 2022].
- [31] "energyeducation.ca," [Online]. Available: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Hydraulic_head. [Accessed 3 2 2022].