



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ – ΓΕΩΦΡΑΓΜΑΤΑ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ**

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΧΑΡΑΤΣΑΡΗ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ

A.M.: 3019028

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ - ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Λάρισα, 2024



Ενυπόγραφη δήλωση μη λογοκλοπής

Η παρακάτω υπογράφουσα δηλώνω ότι η παρούσα εργασία είναι δική μου, δεν έχει συγγραφεί από άλλο πρόσωπο με ή χωρίς αμοιβή, δεν έχει αντιγραφεί από δημοσιευμένη ή αδημοσίευτη εργασία άλλου και δεν έχει προηγουμένως υποβληθεί για βαθμολόγηση στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας ή αλλού. Βεβαιώνω ότι είμαι εν γνώσει των κανόνων περί λογοκλοπής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και ότι στο πλαίσιο αυτό έχουν τηρηθεί όλοι οι κανόνες κατά την ακαδημαϊκή δεοντολογία, σχετικά με αναφορές, βιβλιογραφία, κ.λπ., τόσο από έντυπες όσο και από ηλεκτρονικές πηγές. Σε περίπτωση λογοκλοπής αποδέχομαι όλες ανεξαιρέτως τις ποινές που προβλέπουν οι εκάστοτε Κανονισμοί του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Ημερομηνία: 12/09/2024

Ονοματεπώνυμο: Χαρατσάρη Νικολέττα

Υπογραφή:

ΧΑΡΑΤΣΑΡΗ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ



Χαρατσάρη Νικολέττα
ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ – ΓΕΩΦΡΑΓΜΑΤΑ:ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ
ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ



Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

.....
.....
.....



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση και ανάλυση των φραγμάτων, και ειδικότερα των εύκαμπτων φραγμάτων.

Συγκεκριμένα, στο 1ο κεφάλαιο γίνεται μια γενική αναφορά στα φράγματα (γενικές έννοιες, τύποι φραγμάτων).

Μετέπειτα, στο 2ο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα εύκαμπτα φράγματα-γεωφράγματα, και συγκεκριμένα στους τύπους τους καθώς επίσης και από τα τμήματα τα οποία αποτελείται το χωμάτινο φράγμα.

Το 3ο κεφάλαιο απεικονίζει την μέθοδο κατασκευής ενός εύκαμπτου φράγματος, όπως επίσης και τα υλικά με τα οποία μπορεί να κατασκευαστεί.

Το 4ο κεφάλαιο δίνει έμφαση στα φράγματα που υπάρχουν τόσο στην Ελλάδα όσο και Παγκοσμίως καθώς γίνεται και ανάλυση στις αιτίες αστοχίες των Φραγμάτων.

Στο 5ο κεφάλαιο, γίνεται παρουσίαση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τα εύκαμπτα φράγματα τόσο κατά την διάρκεια κατασκευής τους όσο και στην φάση λειτουργίας τους.

Λέξεις – κλειδιά: Γεωφράγματα, Ταμιευτήρας, Ανάχωμα, Διάφραγμα, Διάβρωση



SUMMARY

The purpose of this paper is to investigate and analyse the dams, and in particular the flexible dams.

Specifically, in chapter 1 a general reference to dams is made (general concepts, types of dams).

Then, in Chapter 2, flexible earth dams are presented, specifically in their types and also in the sections that make up the earth dam.

Chapter 3 illustrates the method of construction of a flexible dam, as well as the materials with which it can be constructed.

Chapter 4 emphasizes on the dams that exist both in Greece and Worldwide as well as an analysis on the causes of dam failures.

In Chapter 5, a presentation is made on the environmental impacts caused by flexible dams both during their construction and during their operation phase.

Keywords: Geoblocks, Reservoir, Mound, Barrier, Liquefaction, Erosion



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα της παρούσας πτυχιακής εργασίας, κ. Χριστοδούλου Δημήτριο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τον πολύτιμο και ωφέλιμο χρόνο που μου αφιέρωσε. Η περάτωση της εργασίας χωρίς την βοήθεια του δεν θα ήταν εφικτή. Τέλος, ευχαριστώ το σύνολο των διδασκόντων/ουσών του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την μεταλαμπάδευση των γνώσεων τους που συνετέλεσαν θετικά στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	12
ΦΡΑΓΜΑΤΑ - ΓΕΝΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.....	12
1.1 Γενικές έννοιες	12
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	13
1.3 Τύποι φραγμάτων	14
1.4 Παράγοντες κατασκευής φράγματος	16
1.5 Γεωφράγματα.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	19
ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ-ΓΕΩΦΡΑΓΜΑΤΑ.....	19
2.1 Τύποι εύκαμπτων γεωφραγμάτων.....	19
2.2 Τμήματα χωμάτινων φραγμάτων	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	24
ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ	24
3.1 Εισαγωγή.....	24
3.2 Μέθοδοι κατασκευής εύκαμπτου φράγματος	24
3.3 Υλικά κατασκευής	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	30
ΓΕΩΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ.....	30
4.1 Γεωφράγματα στην Ελλάδα	30



4.2 Γεωφράγματα σε Διεθνές Επίπεδο	35
4.3 Αστοχίες Γεωφραγμάτων	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	40
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	40
5.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις φραγμάτων	40
5.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την κατασκευή εύκαμπτων φραγμάτων .	41
5.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη λειτουργία εύκαμπτων φραγμάτων ...	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	45
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	45
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Μηχανικές ιδιότητες του υλικού Moraine που χρησιμοποιείται στα εύκαμπτα φράγματα (πηγή: researchgate.net)	30
Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά φράγματος Μαραθώνα (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).....	32
Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά φράγματος Λούρου (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).....	33
Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά φράγματος Λάδωνα (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).....	35



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Φράγμα Αρχαίας Αλυζίας (πηγή: Agrinioculture.gr).....	14
Εικόνα 2. Διάκριση φραγμάτων ανάλογα με το υλικό τους και τον τρόπο κατασκευής τους (πηγή: eclass.upatras.gr).....	16
Εικόνα 3. Διάκριση φραγμάτων (πηγή: Πυθαρούλη, 2007).....	16
Εικόνα 4. Γεωφράγματα (πηγή: eclass.upatras.gr).....	19
Εικόνα 5. Εύκαμπτο φράγμα αναχώματος (πηγή: cdn.britannica.com).....	21
Εικόνα 6. Εύκαμπτο φράγμα πλήρωσης βράχων (πηγή: sciencedirect.com).....	22
Εικόνα 7. Τύποι εύκαμπτων φραγμάτων πλήρωσης βράχων (πηγή: eclass.upatras.gr).....	23
Εικόνα 8. Τμήματα χωμάτων φραγμάτων (πηγή: eclass.upatras.gr).....	24
Εικόνα 9. Κοινά σχέδια, τεχνικές και παραδοχές που χρησιμοποιούνται σε σύστημα υδραυλικής πλήρωσης (πηγή: Morgan, 1951, researchgate.net).....	27
Εικόνα 10. Φράγμα Μαραθώνα (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).....	31
Εικόνα 11. Τομή Φράγματος Μαραθώνα (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).....	32
Εικόνα 12. Φράγμα Λούρου (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).....	33
Εικόνα 13. Τυπική Διατομή Φράγματος Λούρου (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).....	34
Εικόνα 14. Φράγμα Λάδωνα (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).....	34
Εικόνα 15. Τυπική διατομή Φράγματος Λάδωνα (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).....	35
Εικόνα 16. Φράγμα Tarbela (πηγή: eclass.upatras.gr).....	36
Εικόνα 17. Φράγμα Tarbela (πηγή: eclass.upatras.gr).....	36
Εικόνα 18. Φράγμα Tarbela (πηγή: eclass.upatras.gr).....	36
Εικόνα 19. Φράγμα Nurek (πηγή: eclass.upatras.gr).....	37
Εικόνα 20. Φράγμα Mica (πηγή: eclass.upatras.gr).....	37
Εικόνα 21. Λόγοι αστοχίας φραγμάτων (πηγή: eclass.upatras.gr).....	39
Εικόνα 22. Αστοχία Φράγματος Malpasset-Γαλλία (1959) (πηγή: eclass.upatras.gr).	39
Εικόνα 23. Αστοχία Φράγματος Malpasset-Γαλλία (1959) (πηγή: eclass.upatras.gr).	40



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Φράγμα, δομή χτισμένη κατά μήκος ενός ρέματος, ενός ποταμού ή μιας εκβολής για τη συγκράτηση του νερού. Τα φράγματα κατασκευάζονται για να παρέχουν νερό για ανθρώπινη κατανάλωση, για άρδευση άγονων και ημίξηρων εδαφών ή για χρήση σε βιομηχανικές διεργασίες. Χρησιμοποιούνται για την αύξηση της ποσότητας νερού που διατίθεται για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, για τη μείωση της μέγιστης απόρριψης πλημμυρικών υδάτων που δημιουργούνται από μεγάλες καταιγίδες ή έντονη τήξη χιονιού ή για την αύξηση του βάθους του νερού σε ένα ποτάμι προκειμένου να βελτιωθεί η ναυσιπλοΐα και να επιτραπεί στις φορτηγίδες και τα πλοία να ταξιδεύουν πιο εύκολα. Τα φράγματα μπορούν επίσης να παρέχουν μια λίμνη για ψυχαγωγικές δραστηριότητες όπως κολύμπι, βαρκάδα και ψάρεμα. Πολλά φράγματα κατασκευάζονται για περισσότερους από έναν σκοπούς. Για παράδειγμα, το νερό σε έναν μόνο ταμιευτήρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ψάρεμα, για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και για την υποστήριξη ενός συστήματος άρδευσης. Οι δομές ελέγχου των υδάτων αυτού του τύπου ονομάζονται συχνά φράγματα πολλαπλών χρήσεων.

Τα βοηθητικά έργα που μπορούν να βοηθήσουν στη σωστή λειτουργία ενός φράγματος περιλαμβάνουν υπερχειλιστές, κινητές πύλες και βαλβίδες που ελέγχουν την απελευθέρωση πλεονάζοντος νερού κατάντη από το φράγμα. Τα φράγματα μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν δομές εισαγωγής που παρέχουν νερό σε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή σε κανάλια, σήραγγες ή αγωγούς που έχουν σχεδιαστεί για να μεταφέρουν το νερό που αποθηκεύεται από το φράγμα σε μακρινά μέρη. Άλλα βοηθητικά έργα είναι συστήματα εκκένωσης ή έκπλυσης λάσπης που συσσωρεύεται στον ταμιευτήρα, κλειδαριές που επιτρέπουν τη διέλευση πλοίων μέσα ή γύρω από το χώρο του φράγματος και σκάλες ψαριών (βαθμονομημένα σκαλοπάτια) και άλλες συσκευές για να βοηθήσουν τα ψάρια που επιδιώκουν να κολυμπήσουν πέρα ή γύρω από ένα φράγμα.

Ένα φράγμα μπορεί να είναι μια κεντρική δομή σε ένα σχέδιο πολλαπλών χρήσεων που έχει σχεδιαστεί για τη διατήρηση των υδάτινων πόρων σε περιφερειακή βάση. Τα φράγματα πολλαπλών χρήσεων μπορούν να έχουν ιδιαίτερη σημασία στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου ένα μόνο φράγμα μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη που σχετίζονται με την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, τη γεωργική ανάπτυξη και τη βιομηχανική ανάπτυξη. Ωστόσο, τα φράγματα έχουν γίνει επίκεντρο περιβαλλοντικής ανησυχίας λόγω των επιπτώσεών τους στα μεταναστευτικά ψάρια και τα παρόχθια οικοσυστήματα. Επιπλέον, οι μεγάλοι ταμιευτήρες μπορούν να παρέχουν μεγάλες ποσότητες νερού σε τεράστιες εκτάσεις γης που φιλοξενούν πολλούς ανθρώπους και αυτό έχει ενθαρρύνει την αντίθεση στα έργα φραγμάτων από ομάδες που αμφισβητούν εάν τα οφέλη των προτεινόμενων έργων αξίζουν το κόστος.

Σε ό,τι αφορά στον τομέα της μηχανικής, τα φράγματα εμπίπτουν σε διάφορες διακριτές κατηγορίες που ορίζονται από τον δομικό τύπο και από το δομικό υλικό. Η απόφαση για το είδος του φράγματος που θα κατασκευαστεί εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες θεμελίωσης στην κοιλάδα, τα διαθέσιμα υλικά κατασκευής, την προσβασιμότητα του χώρου



στα δίκτυα μεταφοράς και τις εμπειρίες των μηχανικών, των χρηματοδοτών και των υποστηρικτών που είναι υπεύθυνοι για το έργο. Στη σύγχρονη κατασκευή φραγμάτων, η επιλογή των υλικών είναι συνήθως μεταξύ σκυροδέματος, επιχωμάτωσης και επίχωσης βράχων. Αν και στο παρελθόν ένας αριθμός φραγμάτων κατασκευάστηκαν από κοινή τοιχοποιία, αυτή η πρακτική είναι πλέον σε μεγάλο βαθμό παρωχημένη και έχει αντικατασταθεί από σκυρόδεμα.

Το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για την κατασκευή τεράστιων φραγμάτων βαρύτητας, λεπτών τοξωτών φραγμάτων και φραγμάτων στήριξης. Η ανάπτυξη σκυροδέματος συμπιεσμένου με κυλίνδρους επέτρεψε την τοποθέτηση σκυροδέματος υψηλής ποιότητας με τον τύπο εξοπλισμού που αναπτύχθηκε αρχικά για τη μετακίνηση, τη διανομή και την ενοποίηση της υγειονομικής ταφής. Τα φράγματα χώματος και επίχωσης βράχων, συνήθως, ομαδοποιούνται ως φράγματα αναχωμάτων επειδή αποτελούν τεράστιους λόφους χώματος και βράχου που συναρμολογούνται σε επιβλητικά τεχνητά αναχώματα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΦΡΑΓΜΑΤΑ - ΓΕΝΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

1.1 Γενικές έννοιες

Ο σκοπός ενός φράγματος είναι η δημιουργία μίας λίμνης με την κατασκευή ενός εγκάρσια τοποθετημένου τεχνικού έργου στην κοίτη ενός φυσικού ποταμού. Η λίμνη προορίζεται για την αποθήκευση νερού που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις:

- Παραγωγής ενέργειας
- Άρδευσης καλλιεργειών
- Πρόσβασης των πόλεων και των βιομηχανικών περιοχών στο νερό
- Διακοπής πλημμυρών ποταμών
- Τρόπου διαμόρφωσης των πλωτών καναλιών κ.λπ.

Ο άνθρωπος επινόησε την κατασκευή φραγμάτων στις κοίτες των ποταμών με σκοπό τη χρήση και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Ένα φράγμα είναι μια τεχνική κατασκευή που είναι χτισμένη στην κοίτη ενός φυσικού ποταμού, κάθετη στη ροή του, με σκοπό να σταματήσει τη φυσική ροή του νερού και να το αποθηκεύσει για μεταγενέστερη χρήση ή να ικανοποιήσει τις ανθρώπινες απαιτήσεις. Μια δεξαμενή είναι η χερσαία περιοχή που δημιουργείται ανάντη του φράγματος, όπου συλλέγεται το νερό.

Η αποτελεσματική λειτουργία ενός φράγματος υποβοηθείται από μια σειρά βοηθητικών έργων που περιλαμβάνει. Υπάρχουν δύο κατηγορίες τέτοιων έργων: (α) τα έργα κορυφής και (β) τα έργα βάσης.

Τα έργα κορυφής περιλαμβάνουν:

- Την προσωρινή σήραγγα εκτροπής, η οποία κατασκευάστηκε αρχικά για την εκτροπή του ποταμού κατά την κατασκευή του φράγματος.
- Λόγω της αδυναμίας της προσωρινής σήραγγας εκτροπής να αποστραγγίσει τη μέγιστη ροή του ποταμού, το φράγμα κατασκευάστηκε πριν από το κύριο φράγμα και μετά την προσωρινή σήραγγα εκτροπής για να συγκρατήσει το νερό κατά την κατασκευή του κύριου φράγματος κατά τη διάρκεια μιας περιόδου πλημμυρών.
- Η κατασκευή του φράγματος και της προσωρινής σήραγγας εκτροπής έρχεται πριν από την κατασκευή του φράγματος.
- Την δεξαμενή αποθήκευσης.
- Τον υπερχειλιστή που προστατεύει το φράγμα από υπερχειλίση που σχετίζεται με πλημμύρες.
- Τα δίκτυα άρδευσης, ύδρευσης και υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η σήραγγα υδροληψίας μεταφέρει νερό από τον ταμιευτήρα στην υδροηλεκτρική εγκατάσταση.



Μερικά από τα βασικά έργα είναι:

- Ο υδροηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που κατασκευάστηκε στο τέλος της σήραγγας.
- Για να μειωθούν οι δυσμενείς περίοδοι λειτουργίας του έργου, το σύστημα επισκευής ρυθμίζει την ποσότητα νερού που εξέρχεται από την υδροηλεκτρική εγκατάσταση.
- Έργα που σχετίζονται με την ύδρευση.
- Εγγειοβελτιωτικά έργα, συμπεριλαμβανομένων αρδευτικών συστημάτων και έργων υποδομής πολιτικού μηχανικού (όπως αγροτικοί δρόμοι και αποστραγγιστικά δίκτυα).

1.2 Ιστορική αναδρομή

Μια ιστορική ανάλυση των φραγμάτων επιβεβαιώνει ότι ήταν επιτυχημένα στην άρδευση πεδιάδων, στην πρόληψη πλημμυρών περιοχών και στην παραγωγή άφθονων ποσοτήτων ενέργειας. Επειδή έχουν βελτιώσει πολλές πτυχές της ανθρώπινης ζωής, τα φράγματα εξυπηρετούν σημαντικούς σκοπούς καθώς και στόχους (Καλλέργης, 1986).

Η κατασκευή φραγμάτων είναι απαραίτητη για την ανθρώπινη επιβίωση. Είναι οι πρώτες τεχνικές δημιουργίες που δοκίμασε ποτέ ο άνθρωπος και χρονολογούνται από την παλαιολιθική εποχή. Τα φράγματα στους ποταμούς Τίγρη και Ιορδάνη είναι από τα παλαιότερα. Το φράγμα του ποταμού Νείλου χτίστηκε στην Αίγυπτο γύρω στο 4000 π.Χ. και παρέμεινε για 4.500 χρόνια.

Το πόσιμο νερό συλλεγόταν από το παλαιότερο γνωστό φράγμα, το οποίο χρονολογείται από την τέταρτη χιλιετία π.Χ. και βρισκόταν στη σημερινή Yawa της Ιορδανίας. Το Saddle-Kafara, ένα φράγμα κοντά στο Wadigarawi της Αιγύπτου, χτίστηκε κατά την εποχή 2600-2500 π.Χ. με σκοπό τη συλλογή πόσιμου νερού. Λόγω της εκμετάλλευσης και συντήρησής του από μεταγενέστερους πληθυσμούς, το γεωφράγμα στον ποταμό Ορόντη στη σημερινή Συρία, το οποίο χτίστηκε περίπου το 1300 π.Χ. και χρησιμοποιήθηκε για την αποθήκευση πόσιμου νερού και άρδευσης, έχει επιβιώσει.

Το φράγμα Puentes, που κατασκευάστηκε στην Ισπανία το 1753 και κατεδαφίστηκε το 1891, θεωρήθηκε σημαντικό τα τελευταία χρόνια.

Στο παρελθόν, οι πρωταρχικοί στόχοι της κατασκευής φραγμάτων ήταν η προστασία από τις πλημμύρες, η αποθήκευση νερού για μεταγενέστερη χρήση (κυρίως για γεωργικούς σκοπούς) και, φυσικά, η διατήρηση της ενυδάτωσης των ανθρώπων. Μεταξύ αυτών είναι το φράγμα “Jawa”, το οποίο είναι το παλαιότερο και σημαντικότερο φράγμα στον κόσμο. Βρίσκεται στην Ιαπωνία και χρονολογείται από το 3000 π.Χ.

Το φράγμα στον ποταμό Ορόντη στη Συρία (1300 π.Χ.) είναι μια άλλη απεικόνιση μιας δομής που έχει αντέξει στη δοκιμασία του χρόνου. Η κατασκευή του είχε ως στόχο τη

συγκέντρωση νερού για την ύδρευση του τοπικού πληθυσμού καθώς και για χρήση σε χωράφια. Ωστόσο, καθώς η κατασκευή φραγμάτων έχει προχωρήσει, έχουν προστεθεί νέοι στόχοι. Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας για χρήση σε ιχθυοκαλλιέργειες καθώς και σε χώρους αναψυχής είναι ένας από αυτούς τους στόχους.

Το πρώτο φράγμα στην Ελλάδα χτίστηκε στην αρχαία Αλυζία, στις ακτές της δυτικής Αιτωλοακαρνανίας, μεταξύ του 1^{ου} και του 5^{ου} αιώνα π.Χ. (Μουτάφης, 2006). Οι ιστορικοί χρονολογούν αυτό το φράγμα περίπου στον πρώτο αιώνα π.Χ. Είναι ένα από τα πιο προηγμένα αρχαία φράγματα στον ελληνικό χώρο και μας διδάσκει για μια από τις πιο σταθερές κατασκευές επειδή εξακολουθεί να είναι προσβάσιμο για προβολή και επισκέψεις.



Εικόνα 1: Φράγμα Αρχαίας Αλυζίας (πηγή: Agrinioculture.gr).

Το νερό άρχισε να θεωρείται ως ένα κρίσιμο συστατικό στη μηχανική ταυτόχρονα με την κατασκευή του αρχαίου φράγματος της Αλυζίας στην Ελλάδα, κατά τη διάρκεια της ακμής της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας. Κατά συνέπεια, εμφανίστηκαν τροχοί νερού, ικανοί να κινούν τους μύλους μέσω ιμάντων για να παρέχουν παραγωγή αλεύρου. Σε όλη την Ευρώπη, οι μύλοι λειτουργούσαν για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Οι μηχανικοί ήταν σε θέση να μετατρέψουν την κινητική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια τον δέκατο όγδοο αιώνα αναπτύσσοντας τροχούς νερού σε υδροστρόβιλους. Αργότερα, κατασκευάστηκαν φράγματα για δύο σκοπούς: (α) ως βασικοί ταμιευτήρες, ή (β) ως μέσο παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με τον ποταμό και τις απαιτήσεις της περιοχής. Οι Έλληνες μηχανικοί φραγμάτων άρχισαν να κατασκευάζουν αυτά τα φράγματα συστηματικά το 1950.

1.3 Τύποι φραγμάτων

Τα φράγματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής με βάση τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται, το σχήμα τους και τον τρόπο με τον οποίο αποκτούν τη στεγανότητα και τη σταθερότητά τους:

Α. Έυκαμπτα φράγματα (Embankment Dams)

- Φράγματα από χώμα, είτε στερεά είτε με πυρήνα

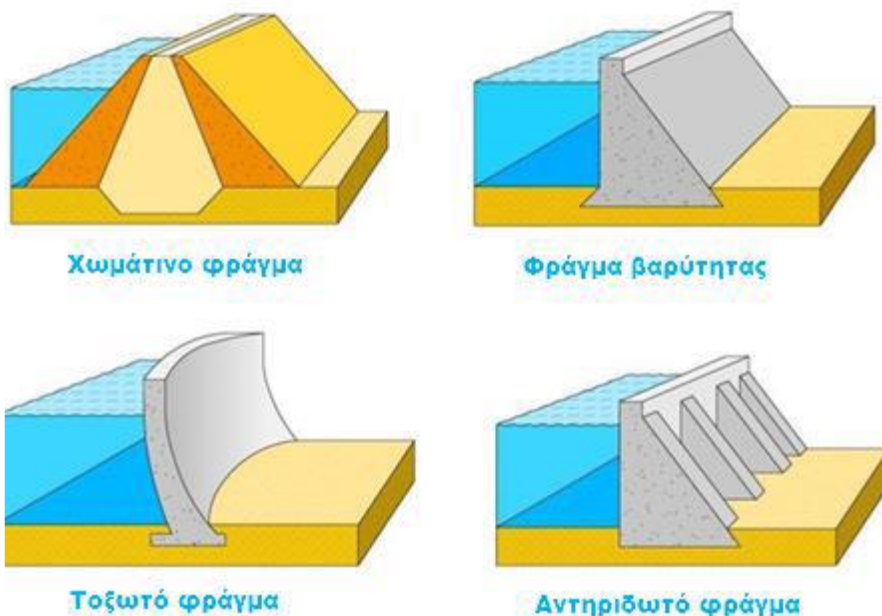
- Φράγματα γεμάτα πυρήνα
- Χυτή πέτρα με ανάντη ασφαλική μεμβράνη, όπως πήλινη ή τσιμεντένια πλάκα LAPS (σκυρόδεμα) κ.λπ.

B. Άκαμπτα φράγματα (Rigid Dams)

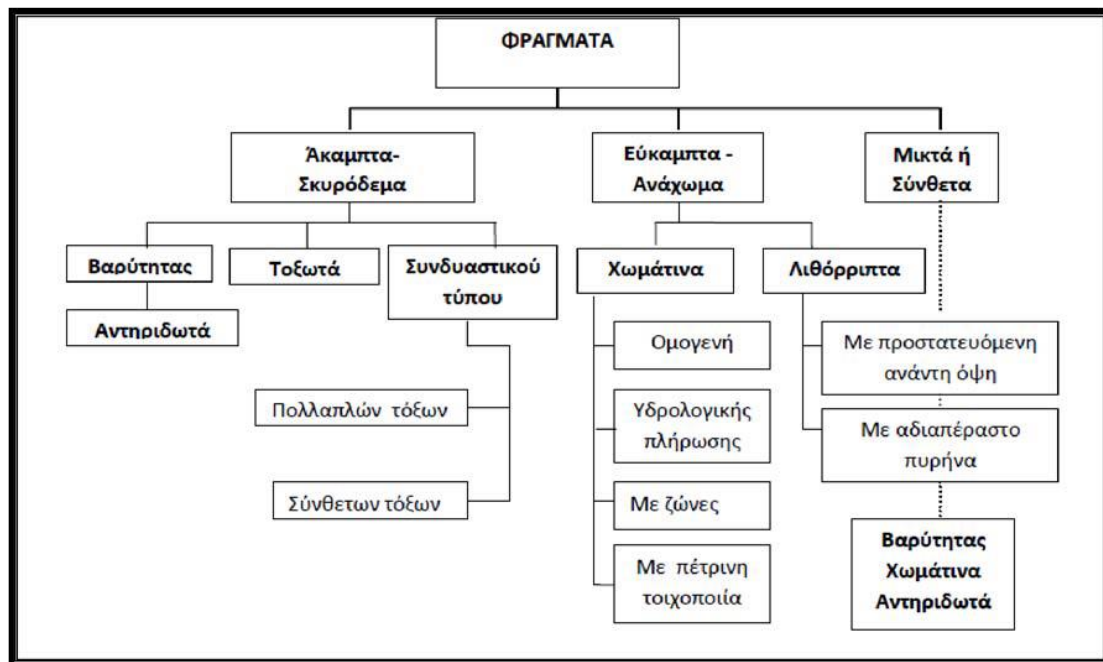
- Βαρύτητα σκυροδέματος
- Με άξονα έλασης βαρύτητας συμμετρικό κυλιόμενο σκληρό ανάχωμα με φράγματα από σκυρόδεμα
- Φράγματα γεμάτα με σκληρό ή ΑΚΣΕ
- Φράγματα με καμάρες
- Φράγματα στήριξης κλπ.
- Γ. Σύμμικτα ή μεικτά φράγματα
- Τοξωτά
- Αντηριδωτά

C. Μικτά ή σύνθετα φράγματα

- Φράγματα με βαρύτητα
- Αντηριδωτά
- Χωμάτινα



Εικόνα 2: Διάκριση φραγμάτων ανάλογα με το υλικό τους και τον τρόπο κατασκευής τους (πηγή: eclass.upatras.gr).



Εικόνα 3: Λιάκριση φραγμάτων (πηγή: Πυθαρούλη, 2007)

Επιπλέον, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν, με βάση τη λειτουργία που εκπληρώνουν, σε:

- Φράγματα που συγκεντρώνουν νερό σε δεξαμενές στην επιφάνεια.
- Φράγματα εκτροπής, είτε προσωρινά είτε μόνιμα, όπου ανακατευθύνουν τη ροή του νερού για ξηρή εργασία ή διευθέτηση.
- Φράγματα συγκράτησης ορμής για τεχνητό εμπλουτισμό ή για μείωση της διάβρωσης.
- Φράγματα ρύθμισης για την πρόβλεψη και τη διαχείριση των πλημμυρών.

1.4 Παράγοντες κατασκευής φράγματος

Οι πρωταρχικοί καθοριστικοί παράγοντες της απόφασης ενός κράτους να κατασκευάσει ένα φράγμα είναι τα γεωγραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά του.

- Πολιτική διαχείρισης υδατικών πόρων.
- Ενεργειακές απαιτήσεις και πολιτική για την παραγωγή ενέργειας.
- Το μέγεθος του κτιρίου.
- Απαιτήσεις νερού, μεγέθη πληθυσμού και χαρακτηριστικά.
- βιομηχανική ανάπτυξη της χώρας.
- Η προσβασιμότητα των κατάλληλων χώρων για την οικοδόμηση.



Κατά το στάδιο της προκαταρκτικής μελέτης, χρησιμοποιούνται τα μορφολογικά και τεχνικογεωλογικά κριτήρια για τον προσδιορισμό του εργοταξίου ενός φράγματος. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μορφή της κοιλάδας (το εγκάρσιο τμήμα αφορά στο πλάτος και συχνά τον τύπο του φράγματος, ενώ το διάμηκες τμήμα αφορά την περιοχή της λεκάνης πλημμύρας του φράγματος και το ύψος του). Τα φράγματα τεράστιου ύψους με μικροσκοπικές δεξαμενές κατασκευάζονται συνήθως σε κοιλάδες με απότομες πλαγιές. Ωστόσο, το νερό έχει τεράστια δυναμική ενέργεια, καθιστώντας το ιδανική τοποθεσία για υδροηλεκτρικά φράγματα. Αντίθετα, η χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι υψηλότερη σε κοιλάδες με ομαλότερη κλίση. Η επιλογή του φράγματος υποβοηθείται από το εγκάρσιο τμήμα μιας κοιλάδας. Δεδομένου ότι οι κλίσεις είναι σπάνια συμμετρικές, το φράγμα κατασκευάζεται στο στενότερο τμήμα της κοιλάδας και ο λόγος μήκους προς ύψος (l/m) αξιολογείται για να καθοριστεί η καλύτερη επιλογή όσον αφορά τη χωρητικότητα και το κόστος κατασκευής.

Άλλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν από την κατασκευή ενός φράγματος, εκτός από τις τεχνικές-γεωλογικές συνθήκες, είναι:

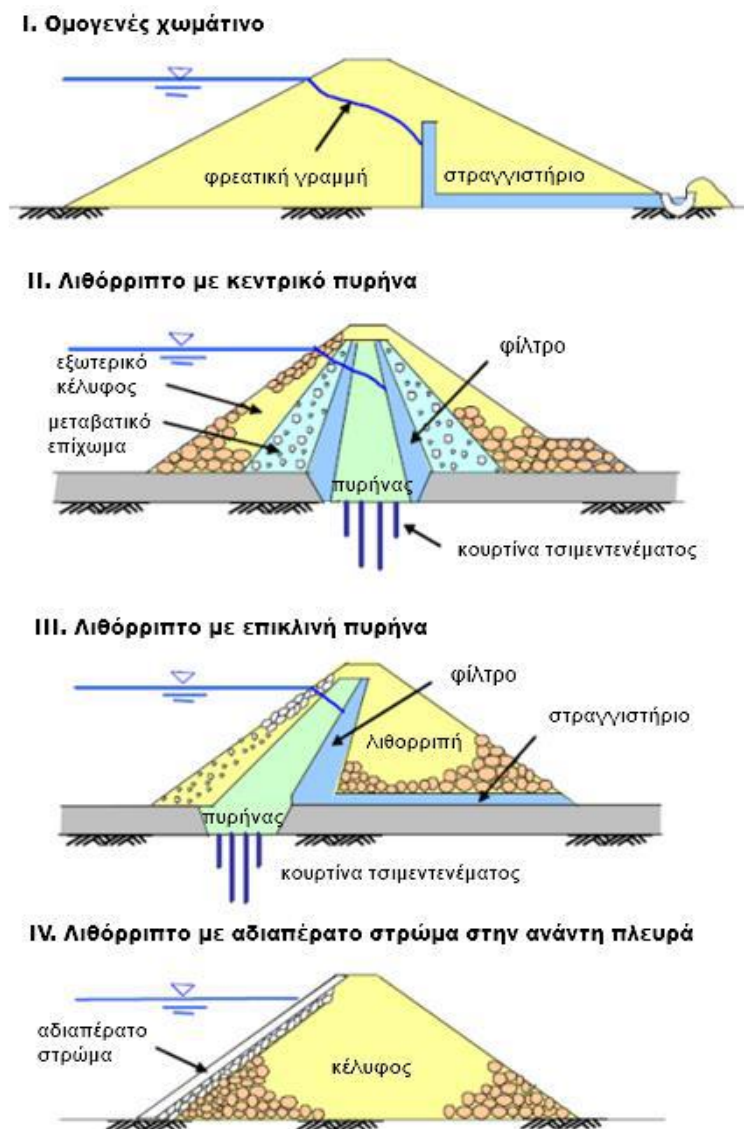
- Η γεωγραφία της περιοχής για να εξακριβωθεί η προβλεπόμενη χωρητικότητα και η θέση κατασκευής του άξονα φραγμάτων.
- Το υδρολογικό καθεστώς της λεκάνης απορροής.
- Πιθανοί περιβαλλοντικοί περιορισμοί.
- Η στεγανότητα του ταμιευτήρα και του φράγματος.
- Τα πρηνή και τη σταθερότητα της θεμελίωσης.
- Η σεισμική δραστηριότητα της περιοχής.
- Την ταχύτητα με την οποία εναποτίθενται τα ιζήματα (καθίζηση).
- Η κατάλληλη τοποθεσία για την κατασκευή του υπερχειλιστή και άλλων συναφών έργων.
- Οι χώροι των δανειοθαλάμων για τα υλικά που απαιτούνται για την κατασκευή του φράγματος, οι οποίοι πρέπει να βρίσκονται κοντά στο έργο.
- Η αντοχή των λεκανών απορροής και των έργων και η παραμορφωσιμότητα των σχηματισμών θεμελίωσης τους.

1.5 Γεωφράγματα

Τα γεωφράγματα παρουσιάζονται τα εξής χαρακτηριστικά:

- Η διατομή τους είναι τραπεζοειδής.

- Αποτελούνται από ένα αδιαπέρατο στρώμα (σκυρόδεμα ή ασφαλτική μεμβράνη) στην ανάντη πλευρά και ένα διαπερατό κύριο σώμα (έδαφος ή μπλοκ βράχου) στο κέντρο.
- Είναι χρήσιμα επειδή παρουσιάζουν ιξωδοπλαστική συμπεριφορά, η οποία τους επιτρέπει να αντέχουν σε μεγάλες παραμορφώσεις του πυθμένα θεμελίωσης χωρίς να θρυμματίζουν τη βασική δομή του φράγματος.
- Το γεγονός ότι υπερπηδούν, τα θέτει σε μειονεκτική θέση.
- Χρειάζονται προστασία ενάντια στους κυματισμούς του νερού, την καθίζηση του εδάφους, τις ολισθήσεις πρανών και την κυκλοφορία των οχημάτων.



Εικόνα 4: Γεωφράγματα (πηγή: eclass.upatras.gr).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ-ΓΕΩΦΡΑΓΜΑΤΑ

2.1 Τύποι εύκαμπτων γεωφραγμάτων

Υπάρχουν δύο τύποι εύκαμπτων γεωφραγμάτων: το φράγμα γεμάτο βράχο και το φράγμα γεμάτο χώμα, τα οποία αποτελούνται από συμπιεσμένη γη και αναφέρονται επίσης ως χωμάτινα φράγματα ή φράγματα εδάφους. Μια διατομή εύκαμπτου φράγματος αναχώματος έχει λοφώδη ή τραπεζική μορφή. Τα περισσότερα έχουν έναν αδιαπέραστο πυρήνα κατασκευασμένο από κάποιο είδος ουσίας στο κέντρο για να αποτρέψουν τη διαρροή νερού. Ο πηλός, το σκυρόδεμα ή το ασφατικό σκυρόδεμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον πυρήνα. Οι ευρείες κοιλάδες είναι κατάλληλες για αυτό το είδος φράγματος. Τόσο τα μαλακότερα εδάφη όσο και τα σκληρά πετρώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή τους. Τα εκρηκτικά χρησιμοποιούνται για την ανατίναξη της πλήρωσης βράχων, σπάζοντας το βράχο, για ένα φράγμα. Για να επιτευχθεί το κατάλληλο εύρος μεγεθών για χρήση σε ένα φράγμα αναχώματος, τα θραύσματα πετρωμάτων μπορεί επίσης να χρειαστεί να συνθλίβονται σε μικρότερες ποιότητες.

2.1.1 Εύκαμπτο φράγμα αναχώματος

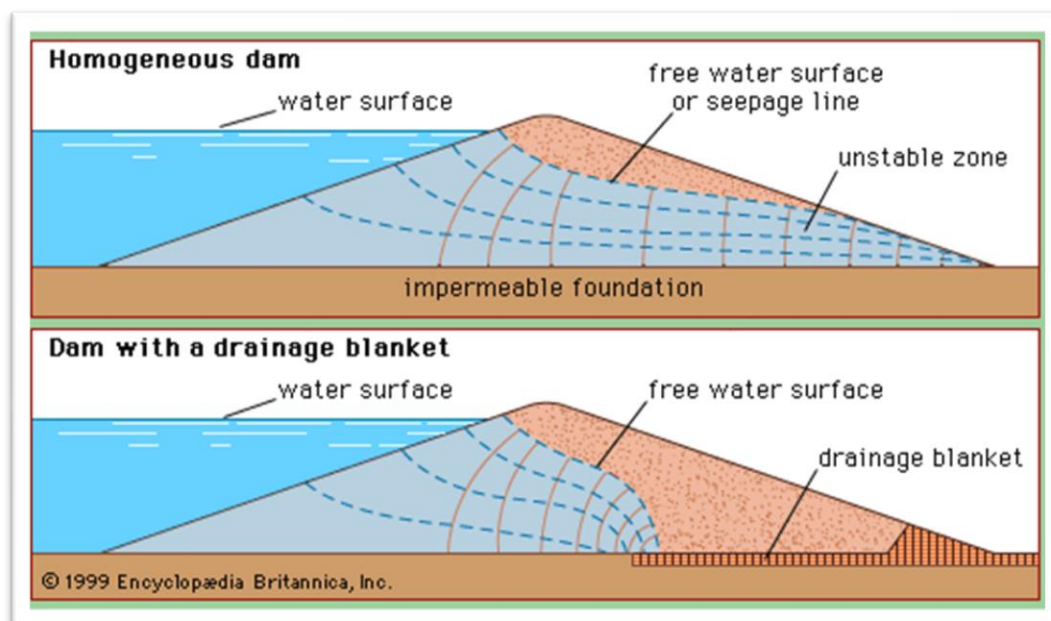
Απλά αναχώματα καλά συμπιεσμένης γης χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εύκαμπτων φραγμάτων αναχώματος, επίσης γνωστών ως πήλινα φράγματα, φράγματα κυλιόμενης γης ή φράγματα γης. Αν και μπορεί να υπάρχει ένα στρώμα αποστράγγισης για τη συλλογή νερού διαρροής, ένα ομοιογενές φράγμα κυλιόμενης γης είναι κατασκευασμένο εξ ολοκλήρου από έναν τύπο υλικού. Διαφορετικά τμήματα ή ζώνες διαφορετικών υλικών αποτελούν ένα φράγμα ζώνης γης. Αυτά είναι συνήθως ένα κέλυφος από τοπικά άφθονο υλικό που περιβάλλεται από έναν αδιάβροχο πυρήνα αργίλου. Οι ζώνες φίλτρων και αποστράγγισης χρησιμοποιούνται σε σύγχρονα αναχώματα ζώνης για τη συλλογή και απόρριψη νερού διαρροής και τη διατήρηση της ακεραιότητας της ζώνης κατάντη κελύφους. Ένα υδραυλικό γέμισμα χρησιμοποιήθηκε σε μια απαρχαιωμένη τεχνική κατασκευής φραγμάτων ζώνης για τη δημιουργία ενός στεγανού πυρήνα. Παρόμοια με ένα φράγμα πλήρωσης βράχων, τα φράγματα κυλιόμενης γης μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν αδιάβροχη πρόσοψη ή πυρήνα. Προκειμένου να διατηρηθεί μια στεγανή περιοχή μόνιμου πάγου μέσα στο φράγμα, ένα ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί περιοδικά μέσω σωλήνων μέσα στο φράγμα παγωμένου πυρήνα, ένα προσωρινό φράγμα γης που χρησιμοποιείται περιστασιακά σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.

Σε σύγκριση με το σκυρόδεμα, τα εδάφη και τα θραύσματα πετρωμάτων στερούνται αντοχής, είναι πολύ πιο διαπερατά και έχουν λιγότερη αντίσταση στη φθορά και τη διαταραχή από το ρέον νερό. Αυτά τα μειονεκτήματα αντισταθμίζονται από ένα πολύ χαμηλότερο κόστος και από την ικανότητα της χωματερής να προσαρμόζεται στην παραμόρφωση που προκαλείται από τις κινήσεις στη θεμελίωση του φράγματος. Φυσικά,

αυτό προϋποθέτει ότι υπάρχει αρκετό χρησιμοποιήσιμο χώμα ή βραχοκάλυψη κοντά στην περιοχή του φράγματος. Εάν μια κατάλληλη περιοχή "δανεισμού" μπορεί να βρεθεί κοντά στο εργοτάξιο, η υγειονομική ταφή μπορεί μερικές φορές να είναι αρκετά οικονομικά αποδοτική.

Τα εύκαμπτα φράγματα αναχώματος μπορούν να κατασκευαστούν σε δυσμενείς τοποθεσίες, συμπεριλαμβανομένων ανοικτών πετρωμάτων ή ασθενέστερων, δυνητικά τοπικά διαπερατών αργίλων, λόγω του μεγάλου πλάτους θεμελίωσής τους. Ωστόσο, τα ύδατα διαρροής πρέπει είτε να ελέγχονται είτε να αποστραγγίζονται απαλά, καθώς διαφορετικά θα μπορούσαν να διαβρώσουν τα κατάντη τμήματα του φράγματος και, στις χειρότερες συνθήκες, να οδηγήσουν στην κατάρρευσή του.

Υπάρχουν ορισμένα αντίμετρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ενδεχομένως σε συνδυασμό: το θεμέλιο μπορεί να ενέματα ή μια τάφρος αποκοπής να ανασκαφεί και να γεμίσει με ένα αδιαπέραστο υλικό. μπορούν να ανασκαφούν μεμονωμένα φρεάτια αποστράγγισης ή στοές. το κατάντη τμήμα του φράγματος μπορεί να έχει μια κουβέρτα αποστράγγισης χτισμένη στη βάση του. η ανάντη πλευρά του φράγματος μπορεί να έχει μια αδιαπέραστη κουβέρτα. ή το κατάντη δάκτυλο του φράγματος μπορεί να έχει πρόσθετη ελεύθερη αποστράγγιση πλήρωσης.



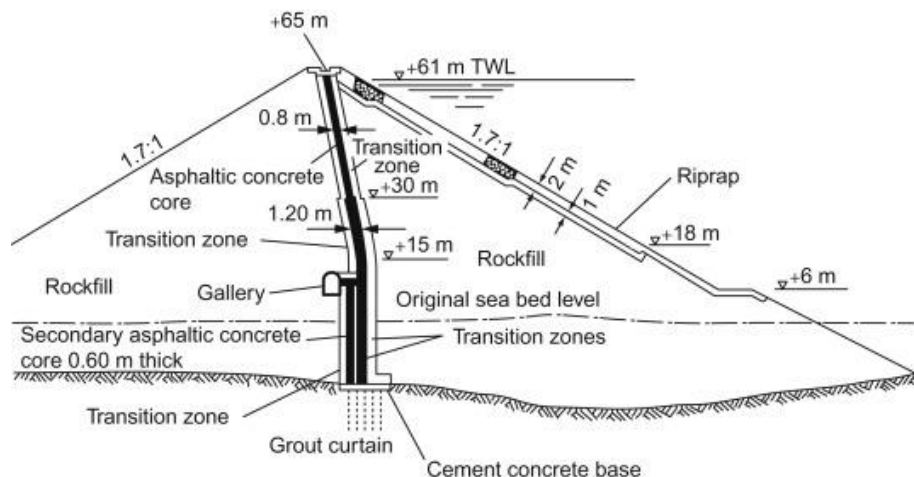
Εικόνα 5: Εύκαμπτο φράγμα αναχώματος (πηγή: cdn.britannica.com).

2.1.2 Εύκαμπτα φράγματα πλήρωσης βράχων

Τα αναχώματα συμπαγούς, ελεύθερα αποστραγγιζόμενης κοκκώδους γης που διαθέτουν αδιαπέραστη ζώνη είναι γνωστά ως εύκαμπτα φράγματα πλήρωσης βράχων. Ο όρος "πλήρωση βράχου" αναφέρεται στη γη που χρησιμοποιείται συχνά, η οποία έχει υψηλό ποσοστό μεγάλων σωματιδίων. Η αδιαπέραστη ζώνη θα μπορούσε να αποτελείται από ξύλο,

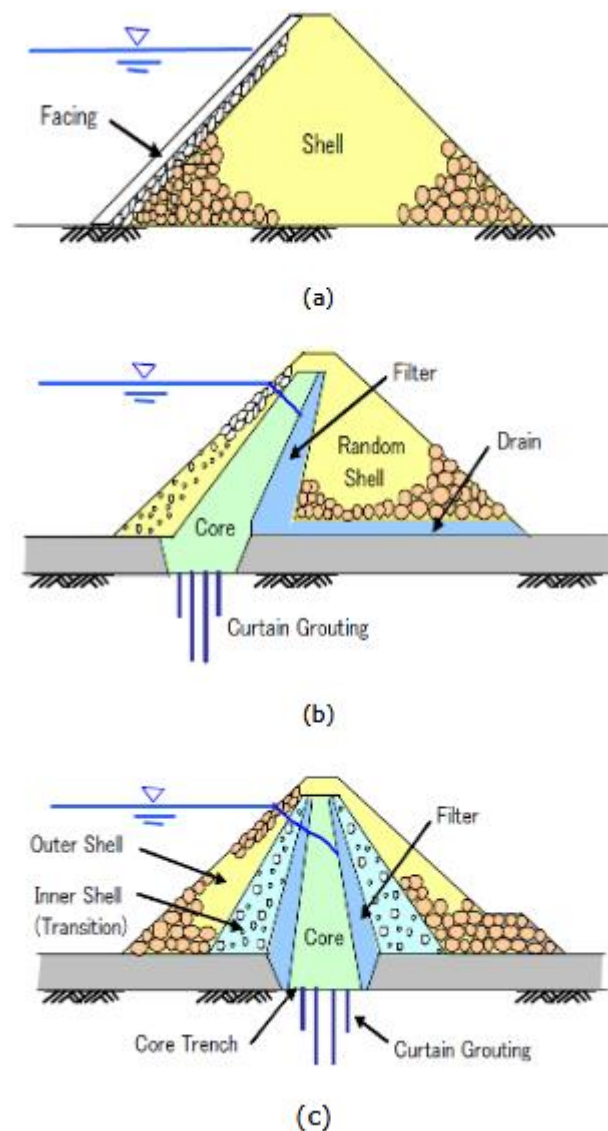
πασσάλους χαλύβδινων φύλλων, σκυρόδεμα, τοιχοποιία, πλαστική μεμβράνη ή άλλο υλικό και να βρίσκεται στην ανάντη όψη. Η αδιαπέραστη ζώνη είναι συχνά γνωστή ως "πυρήνας" εάν βρίσκεται μέσα στο ανάχωμα. Όταν ο πυρήνας χρησιμοποιείται ως αδιαπέραστο υλικό, το φράγμα ονομάζεται "σύνθετο" φράγμα. Το φίλτρο χρησιμοποιείται για να διαχωρίσει τον πυρήνα, προκειμένου να σταματήσει τις δυνάμεις διαρροής από το να προκαλέσουν εσωτερική διάβρωση αργίλου στο γέμισμα του βράχου.

Προκειμένου να σταματήσει η μετανάστευση των λεπτόκοκκων σωματιδίων εδάφους, τα φίλτρα είναι ειδικά διαβαθμισμένο έδαφος. Όταν τα κατάλληλα δομικά υλικά βρίσκονται κοντά, η μεταφορά μειώνεται, γεγονός που μειώνει το κόστος κατασκευής. Τα φράγματα πλήρωσης βράχων δεν καταστρέφονται εύκολα από τη σεισμική δραστηριότητα. Από την άλλη, η κακή συμπίεση και η άμμος στο ανάχωμα που προκαλείται από ανεπαρκή ποιοτικό έλεγχο κατά τη διάρκεια της κατασκευής μπορεί να προκαλέσει υδροποίηση της πλήρωσης των βράχων κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Με την πρόληψη του κορεσμού των ευάλωτων υλικών και με την εξασφάλιση κατάλληλης συμπίεσης κατά τη διάρκεια της κατασκευής, το δυναμικό υδροποίησης μπορεί να μειωθεί. Το φράγμα Fierza στην Αλβανία και το φράγμα New Melones στην Καλιφόρνια είναι δύο παραδείγματα φραγμάτων πλήρωσης βράχων.



Εικόνα 6: Εύκαμπτο φράγμα πλήρωσης βράχων (πηγή: sciencedirect.com).

Ανάλογα με το πώς σχηματίζονται τα τμήματα των φραγμάτων, τα φράγματα πλήρωσης βράχων μπορούν να χωριστούν σε μερικά είδη. Αυτά περιλαμβάνουν φράγματα πλήρωσης βράχων ζωνών με εσωτερικό πυρήνα και φράγματα πλήρωσης βράχων με μεμβράνη, τα οποία σχεδόν πάντα έχουν οπλισμένο σκυρόδεμα που καταλαμβάνει την επιφάνεια του ανάντη πρανούς. Ο εσωτερικός πυρήνας μπορεί να είναι ο κεντρικός πυρήνας όπως φαίνεται στο σχήμα 1, ή μπορεί να έχει κλίση κοντά και σε μέρος της ανάντη κλίσης. Επιπλέον, ένα σημαντικό τμήμα του φράγματος μπορεί να αποτελείται από τον κεντρικό πυρήνα πλήρωσης, ενώ ο κεκλιμένος πυρήνας της γης καταλαμβάνει σημαντικά μικρότερο όγκο συνολικά.



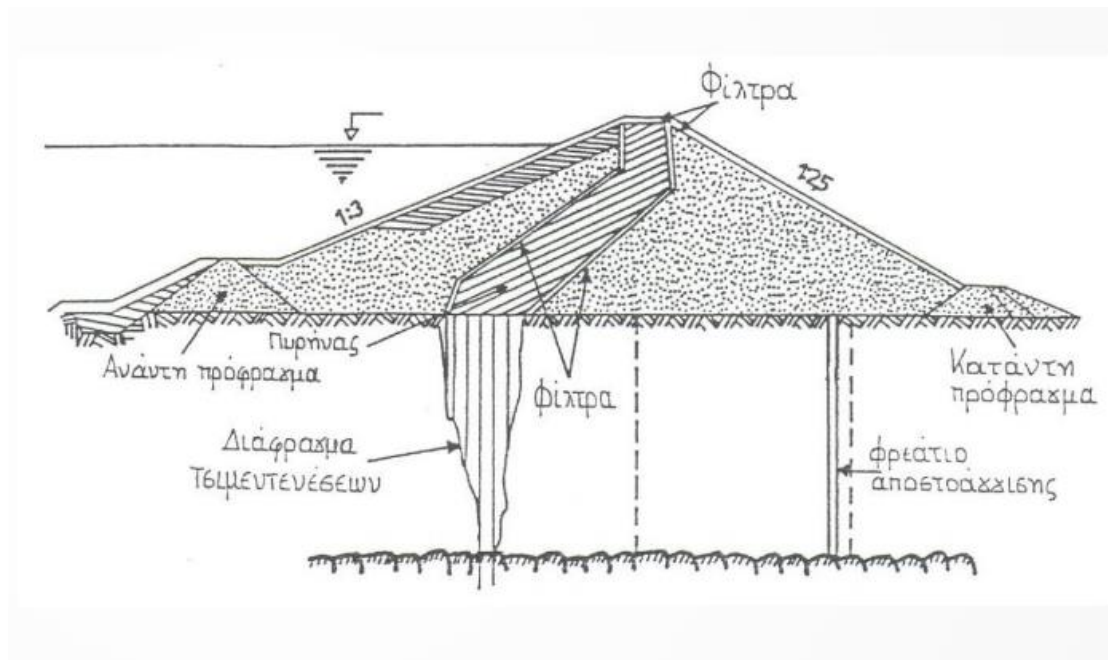
Εικόνα 7: Τύποι εύκαμπτων φραγμάτων πλήρωσης βράχων: α) φράγμα πλήρωσης με πρόσοψη, β) φράγμα πλήρωσης με κεκλιμένο πυρήνα, γ) φράγμα πλήρωσης με κεντρικό πυρήνα (πηγή: eclass.upatras.gr).

2.2 Τμήματα χωμάτινων φραγμάτων

Τα τμήματα χωμάτινων φραγμάτων στα εύκαμπτα φράγματα είναι τα κάτωθι:

- Η στέψη φράγματος (Το ανώτερο υψομετρικά τμήμα του αναχώματος, η κορυφή του (ονομαστική στέψη) χωρίς την υπερύψωση).
- Ο πυρήνας φράγματος (Βασική λειτουργία του πυρήνα είναι να περιορίζει τη δίοδο νερού από τον ταμιευτήρα προς τα κατόντη).
- Το διάφραγμα (Κατασκευάζεται κάτω από τον πυρήνα και μέχρι ενός ορισμένου σημείου βάθος και προορίζεται για την ανακοπή της υπόγειας ροής του νερού και την αποφυγή κινδύνων καταστροφής του φράγματος).

- Τα φίλτρα στραγγιστηρίου.
- Το φρεάτιο αποστράγγισης.
- Το ανάντη πρόφραγμα (Βοηθητική κατασκευή).
- Το κατάντη πρόφραγμα (Βοηθητική κατασκευή).



Εικόνα 8: Τμήματα χωμάτινων φραγμάτων (πηγή: eclass.upatras.gr).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Κατά τον σχεδιασμό φραγμάτων αναχωμάτων, η ανάλυση ευστάθειας των πρανών διεξάγεται συνήθως για τις ακόλουθες τέσσερις τυπικές καταστάσεις:

Η ανάλυση ευστάθειας των πρανών πραγματοποιείται συνήθως για τα ακόλουθα τέσσερα κοινά σενάρια κατά το σχεδιασμό φραγμάτων επιχωμάτων:

- 1) Μόλις ολοκληρωθεί η κατασκευή, πραγματοποιείται ανάλυση των ανάντη και κατόντη πρανών.
- 2) Γίνεται εξέταση της ανάντη κλίσης κατά την αρχική πλήρωση του ταμιευτήρα, με τη στάθμη του νερού περίπου στο ήμισυ της μέγιστης στάθμης της.
- 3) Γίνεται εξέταση του ανάντη πρανούς κατά την άντληση του νερού του ταμιευτήρα
- 4) Πραγματοποιείται εξέταση των ανάντη και κατόντη πρανών κατά τη διάρκεια σεισμού που συμβαίνει στην πλήρη και ενδιάμεση στάθμη του ταμιευτήρα.

Σε γενικές γραμμές, δύο είδη αναλύσεων σταθερότητας πραγματοποιούνται με βάση τις περιστάσεις. Διατίθενται δύο είδη αναλύσεων ακραίων καταστάσεων: η ολοκληρωμένη ανάλυση ακραίων καταστάσεων, η οποία είναι επωφελής στις περιπτώσεις 1) και 2) και η αποτελεσματική ανάλυση ακραίων καταστάσεων, η οποία ενδείκνυται στις περιπτώσεις 3) και 4), όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

3.2 Μέθοδοι κατασκευής εύκαμπτου φράγματος

Υπάρχουν δύο τρόποι κατασκευής εύκαμπτων φραγμάτων:

1. Μέθοδος υδραυλικής πλήρωσης
2. Μέθοδος πλήρωσης τυλίγματος

3.2.1 Μέθοδος υδραυλικής πλήρωσης

Αυτή η τεχνική κατασκευής χρησιμοποιεί νερό για να μετακινήσει και να σκάψει εδάφη προκειμένου να χτίσει το σώμα του φράγματος. Κατά μήκος των εξωτερικών συνόρων του αναχώματος υπάρχουν σωλήνες γνωστοί ως αγωγοί. Αυτοί οι αγωγοί είναι γεμάτοι με ένα μείγμα συστατικών γης και νερού. Κατά μήκος των καπναγωγών, η λάσπη απελευθερώνεται μέσω των εξόδων σε κατάλληλα χρονικά διαστήματα. Καθώς κινείται στο κέντρο του ταμιευτήρα, η λάσπη τείνει να ηρεμήσει. Λίγο μετά την εκκένωση, τα λεπτότερα σωματίδια μεταφέρονται στο κέντρο και εγκαθίστανται εκεί, σχηματίζοντας ένα ζωνοποιημένο



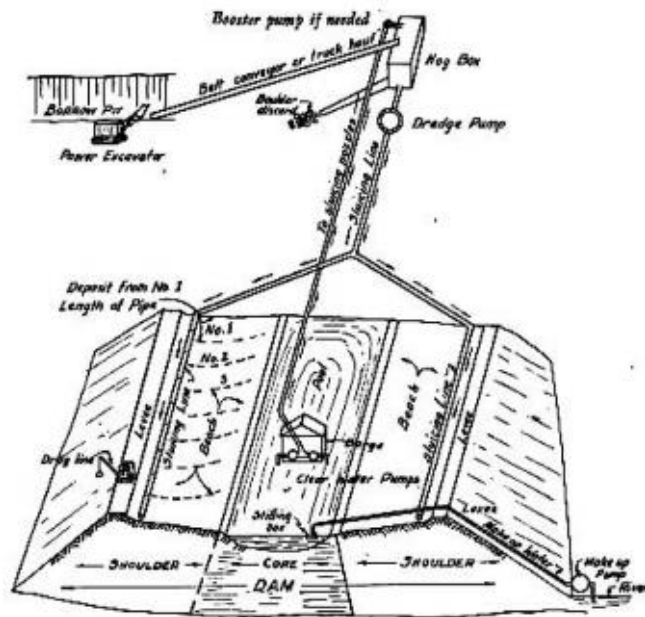
ανάχωμα με σχετικά αδιαπέραστο πυρήνα. Τα πιο χονδροειδή σωματίδια εναποτίθενται προς την εξωτερική άκρη.

Υψηλές πιέσεις πόρων σχηματίζονται στα υλικά του πυρήνα επειδή το γέμισμα είναι κορεσμένο όταν τοποθετείται και η σταθερότητα του φράγματος πρέπει να επιθεωρείται για αυτές τις πιέσεις. Η αργή αποστράγγιση από τον πυρήνα αυτού του είδους επιχώματος το καθιστά επιρρεπές σε καθίζηση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ως αποτέλεσμα, η μέθοδος υδραυλικής πλήρωσης χρησιμοποιείται σπάνια αυτές τις μέρες, ενώ η μέθοδος έλασης χρησιμοποιείται ευρέως και με συνέπεια για την κατασκευή χωμάτων φραγμάτων.

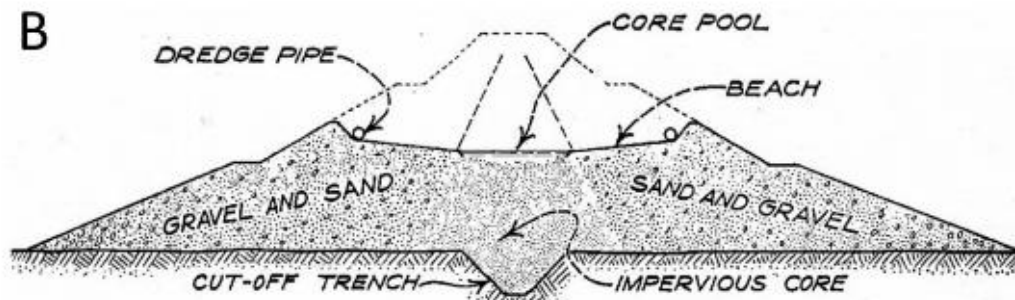
Τα παρακάτω αποτελούν μερικά από τα τυπικά προβλήματα με υδραυλική πλήρωση:

- Για να εναποθέσουνε πρώτα λεπτόκοκκα αρχικά υλικά, τοποθετούνταν λάκκοι που συχνά επικεντρώνονται σε ξεπερασμένα υλικά που εκτίθενται στα ανώτερα μέρη οποιουδήποτε κολοβώματος κατά την έναρξη της κατασκευής. Χονδρόκοκκα αρχικά υλικά εισάγονταν καθώς οι λάκκοι δανεισμού βυθίζονταν όλο και πιο μακριά στα στηρίγματα, παράγοντας λιγότερα λεπτόκοκκα υλικά.
- Λιγότερα λεπτόκοκκα υλικά ήταν διαθέσιμα για την κατασκευή του πυρήνα χαμηλής διαπερατότητας του φράγματος καθώς τα αρχικά υλικά γίνονταν πιο χονδροειδή.
- Τα κελύφη του φράγματος δεν αποστραγγίζονταν τόσο καλά και θα είχαν λιγότερη αντοχή σε διάτμηση και φέρουσα ικανότητα εάν τα αρχικά υλικά επρόκειτο να γίνουν λεπτόκοκκα.
- Κατά την κατασκευή ενός φράγματος, όπως το φράγμα Gatun το 1908-1912, το φράγμα Belle Fourche το 1909, το φράγμα Lafayette το 1928, το φράγμα Saluda το 1930 και το φράγμα Alexander το 1930, η ταχεία πλήρωση του αναχώματος μπορεί να προκαλέσει τοπικές αστοχίες και ολισθήσεις.
- Η πλήρωση που τοποθετείται πολύ γρήγορα θα μπορούσε να προκαλέσει υδροποίηση των υλικών θεμελίωσης (Fort Peck Dam, 1938) ή στατική αποτυχία των ανάντη κελυφών (Calaveras Dam, 1918).
- Η σεισμική δόνηση μπορεί να προκαλέσει τη διάλυση μη τσιμεντοποιημένης άμμου και χαλικιών στα θεμέλια του φράγματος ή συνεκτικών υλικών πλήρωσης, όπως συνέβη στο φράγμα του Σέφιλντ το 1925, στο φράγμα Chatsworth το 1930, στο φράγμα Lower San Fernando το 1971 και στη δεξαμενή Garvey το 1985-1987.
- Το τραπεζοειδές τμήμα στην κορυφή των υδραυλικών φραγμάτων πλήρωσης έπρεπε να «συμπληρωθεί» με επιχωματώσεις έλασης ή συμπίεσης, παράγοντας σύνθετα τμήματα με διαφορετικές σχετικές πυκνότητες και διαπερατότητες.

A



B



Εικόνα 9: Κοινά σχέδια, τεχνικές και παραδοχές που χρησιμοποιούνται σε σύστημα υδραυλικής πλήρωσης. (A) Τυπική τεχνική τοποθέτησης υδραυλικής πλήρωσης που δείχνει πώς το υλικό διαχωρίζεται και αποστέλλεται τόσο στην ανάντη όσο και στην κατάντη περιοχή. Από εκεί, τα ιζήματα απορρίπτονται από τα αντίθετα αναχώματα σε «παραλίες» για να σχηματίσουν τους ώμους (δηλαδή, κοχύλια). Τα λεπτόκοκκα υλικά σιγά-σιγά εγκαθίστανται σε μια κεντρική πισίνα για να σχηματίσουν την κεντρική πισίνα. Ο πήλινος πυρήνας του αναχώματος χρησιμεύει ως βασικό στοιχείο κάθε χωμάτινου φράγματος (Plummer and Dore, 1940). B) Καθώς το υλικό απορρίπτεται μακριά από το ανάντη και κατάντη ανάχωμα, τα χονδρόκοκκα υλικά καθιζάνουν πρώτα με τα λεπτόκοκκα υλικά να συγκεντρώνονται και να καθιζάνουν στην περιοχή του πυρήνα. Η υπόθεση είναι ότι η χονδροειδής, καλά στραγγιζόμενη άμμος και χαλίκι θα σχηματίσουν τα κελύφη (πηγή: Morgan, 1951, researchgate.net).

3.2.2 Μέθοδος πλήρωσης τυλίγματος

Χρησιμοποιώντας κυλίνδρους για τη συμπίκνωση των κατάλληλων συστατικών του εδάφους σε λεπτές στρώσεις (15 έως 30 cm) είναι ο τρόπος κατασκευής του αναχώματος. Οι λάκκοι Burrow τροφοδοτούν το έδαφος, το οποίο στη συνέχεια μετακινείται στη θέση και στρώνεται με μπουλντόζες κ.λπ. Τα στρώματα συμπίεζονται σταθερά από κυλίνδρους με προκαθορισμένα βάρη. Για μέτρια αναχώματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κανονικοί οδοστρωτήρες. Οι ηλεκτροκίνητοι κύλινδροι πρέπει να προορίζονται αποκλειστικά για



φράγματα. Είναι απαραίτητο να ρυθμιστεί κατάλληλα η περιεκτικότητα σε υγρασία της πλήρωσης του εδάφους. Σε μια περιεκτικότητα σε υγρασία που είναι αρκετά κοντά στην ιδανική περιεκτικότητα σε υγρασία, μπορεί να επιτευχθεί η καλύτερη συμπίκνωση.

3.3 Υλικά κατασκευής

3.3.1 Υλικά εδάφους (Λεπτόκοκκα υλικά εδάφους)

Σε φράγματα επιχωμάτων ζωνών με αδιαπέραστα τμήματα πυρήνα και ομοιογενή φράγματα, χρησιμοποιούνται συχνά λεπτόκοκκα εδάφη.

Σύμφωνα με το Ενοποιημένο Σύστημα Ταξινόμησης Εδάφους (USCS), τα υλικά που περιέχουν τουλάχιστον 50% κατά βάρος σωματίδια λεπτότερα από 0,074 mm ή τα ανοίγματα ενός κόσκινου Νο 200 των ΗΠΑ, ταξινομούνται ως λεπτόκοκκα εδάφη. Οι άργιλοι και οι ιλύς είναι δύο διαφορετικές ταξινομήσεις για λεπτόκοκκα, ανόργανα εδάφη.

Η μηχανική συμπεριφορά των αργίλων και των ιλύων συνήθως διαφέρει όσον αφορά τη διαπερατότητα, τη δύναμη και τη συμπιεστότητα. Το κλάσμα μεγέθους 2 micron (0,002 mm) χρησιμοποιείται για τον σχεδόν αυθαίρετο διαχωρισμό αργίλου και λάσπης, με τα σωματίδια αργίλου να ορίζονται ως μικρότερα από 2 μικρά και τα μεγέθη ιλύος να είναι μεταξύ 2 μικρών και το μέγεθος οθόνης Νο 200. Βασικά, εκτός από το μέγεθος των σωματιδίων, οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του λεπτόκοκκου εδάφους περιλαμβάνουν τη μορφή μικροσκοπικών σωματιδίων, την ορυκτολογία και την κρυσταλλική χημεία του αργίλου, το είδος της αλληλεπίδρασης μεταξύ σωματιδίων, το ύφασμα του εδάφους και τη χημεία του νερού πόρων του εδάφους.

Για μηχανικούς λόγους, αυτές οι φυσικοχημικές ιδιότητες μικροκλίμακας δεν προσδιορίζονται συστηματικά. Αντ' αυτού, οι γεωτεχνικοί μηχανικοί εντοπίζουν τόσο λεπτόκοκκα όσο και χονδρόκοκκα εδάφη και προβλέπουν την πιθανή συμπεριφορά του εδάφους χρησιμοποιώντας ιδιότητες δεικτών, ιδιαίτερα την ευελιξία και τη διαβάθμιση του εδάφους (κατανομή μεγέθους σωματιδίων). Οι ποιότητες των δεικτών ποσοτικοποιούνται με απλές, ομοιόμορφες εργαστηριακές διαδικασίες.

3.3.2 Χονδρόκοκκα εδάφη (Άμμος και χαλίκι)

Μέσα σε φράγματα επιχωμάτων, χονδρόκοκκα εδάφη χρησιμοποιούνται σε ειδικές ζώνες φιλτραρίσματος και αποστράγγισης, καθώς και σε δομικές ζώνες πλήρωσης ή κελύφη. Στις κεντρικές ζώνες, χρησιμοποιούνται επίσης χονδρόκοκκα εδάφη, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η συγκέντρωση λεπτών υπερβαίνει το 20%.

Σύμφωνα με το USCS, τα υλικά με περισσότερο από 50% επί ξηρού βάρους σωματιδίων που διατηρούνται στο κόσκινο των ΗΠΑ Standard No. 200, ή 0,074 mm, ταξινομούνται ως χονδρόκοκκα εδάφη. Η άμμος και τα χαλίκια είναι παραδείγματα χονδρόκοκκων εδαφών και διαχωρίζονται με βάση σε μεγάλο βαθμό το μέγεθος. Τα εδάφη που είναι πιο χονδροειδή από το κόσκινο Νο 200 και λεπτότερα από το κόσκινο Νο 4 (4,76 mm) ταξινομούνται ως



άμμος. Τα χαλίκια είναι λεπτότερα από 3 ίντσες (76,2 mm) και πιο χοντρά από το κόσκινο Νο 4. Αυτή η κατανομή μεγέθους δεν μεταφράζεται απαραίτητα σε μια αξιοσημείωτη αλλαγή στη μηχανική συμπεριφορά, παρόλο που τα χαλίκια έχουν συνήθως υψηλότερες αντοχές διάτμησης και είναι πιο διαπερατά από την άμμο.

Η καθαρή άμμος και τα χαλίκια είναι διαπερατά, απλά συμπαγή και ελάχιστα επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις της περιεκτικότητας σε υγρασία. Περιλαμβάνουν λιγότερο από περίπου 5% σωματίδια κατά ξηρό βάρος. Η διαβάθμιση, το μέγεθος και η μορφή των κόκκων του εδάφους, η σχετική πυκνότητα και η ανθεκτικότητα του χονδρόκοκκου εδάφους επηρεάζουν τα βασικά χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος στη μηχανική φραγμάτων: διαπερατότητα, αντοχή σε διάτμηση και συμπιεστότητα. Δεδομένου ότι αυτά τα εδάφη είναι σχεδόν ασυμπίεστα όταν συμπιέζονται σε μια πυκνή κατάσταση, η συμπιεστότητα είναι συνήθως λιγότερο πρόβλημα.

3.3.3 Διαβαθμισμένα εδάφη

Μια μεγάλη ποικιλία μεγεθών σωματιδίων μπορεί να βρεθεί σε φυσικές αποθέσεις εδάφους και η μηχανική συμπεριφορά τους βρίσκεται στη μέση μεταξύ λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων εδαφών. Σε σύγκριση με τα λεπτόκοκκα εδάφη, τα ευρέως διαβαθμισμένα εδάφη έχουν συνήθως χαμηλότερη υδραυλική αγωγιμότητα, υψηλότερη αντοχή σε διάτμηση και χαμηλότερη συμπιεστότητα. Η ευρέως διαβαθμισμένη κατανομή μεγέθους σωματιδίων συνδέεται με αυτά τα χαρακτηριστικά μηχανικής.

Η κύρια πρόκληση στη χρήση ευρέως διαβαθμισμένων εδαφών είναι η πιθανότητα σημαντικής διακύμανσης στην ομοιογένεια ενός δεδομένου κοιτάσματος. Λόγω της «μόλυνσης» από πλευρικά συντρίμια που πέφτουν από τα πλευρικά τοιχώματα της κοιλάδας και της διαλογής σωματιδίων από διάφορες φάσεις τήξης στο παρελθόν των παγετώνων, οι μωραΐνες που δημιουργούνται από τους παγετώνες ειδικότερα μπορεί να είναι αρκετά διαφορετικές.

Οι γεωτεχνικές έρευνες και χαρακτηρισμοί των τοποθεσιών μωραΐνης μπορεί να είναι ιδιαίτερα δύσκολες και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Μπορεί να είναι εξαιρετικά δύσκολο να ληφθούν ή να αναπαραχθούν κατάλληλα εργαστηριακά δείγματα για δοκιμές διαβάθμισης, διαπερατότητας, αντοχής και συμπιεστότητας. Οι γεωτρήσεις δεν είναι τόσο αποτελεσματικές όσο οι βαθιές ερευνητικές τάφροι για τον έλεγχο της ομοιογένειας ή τη λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων μεγάλου μεγέθους.



Πίνακας 1: Μηχανικές ιδιότητες του υλικού Moraine που χρησιμοποιείται στα εύκαμπτα φράγματα (πηγή: researchgate.net).

PROPERTY	MIN. VALUE	MAX. VALUE	TYPICAL VALUE
Passing No. 200 (%) (United States)	20	71	
Passing No. 200 (%) (Scandinavia)	14	55	
Passing No. 200 (%) (Russia)	5	22	
PI (%) (Western/Central Canada)	3	27	
PI (%) (Other Areas)			NP
Optimum Water Content (%)	5	16	7-10
Shear Strength, ϕ (deg.) (Western/Central Canada)	23	37	
Shear Strength, ϕ (deg.) (Eastern Canada/Scandinavia)	35	45	
Hydraulic Conductivity (m/s)	10^{-11}	10^{-6}	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΓΕΩΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

4.1 Γεωφράγματα στην Ελλάδα

Στον Ελλαδικό Χώρο, σύμφωνα με την Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων, λειτουργούν 135 Μεγάλα Φράγματα

(Πηγή: http://www.eeft.gr/Fragmata_Elladas_201311.pdf)

Παρακάτω, γίνεται ενδεικτική παρουσίαση ορισμένων φραγμάτων στην Ελλάδα.

Α. ΦΡΑΓΜΑ ΜΑΡΑΘΩΝΑ (ΝΟΜΟΣ ΑΤΤΙΚΗΣ)

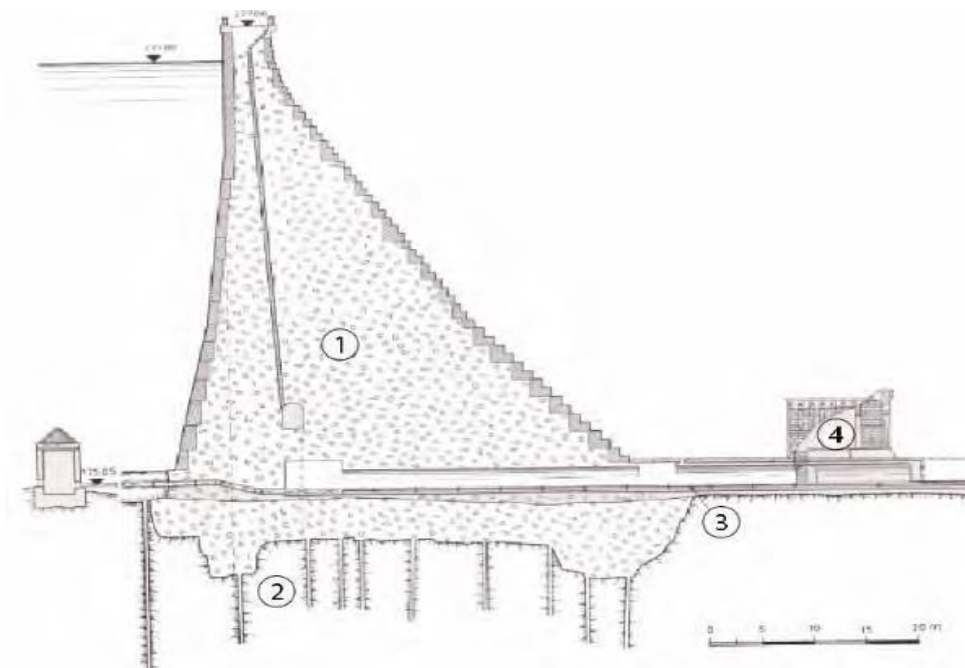


Εικόνα 10: Φράγμα Μαραθώνα (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά φράγματος Μαραθώνα (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).

Χαρακτηριστικά Φράγματος			Dam data
Κύριος του έργου	ΕΥΔΑΠ ΠΑΓΙΩΝ	EYDAP ASSETS	Dam owner
Τύπος φράγματος	Βαρύτητας Λιθοδέματος	Masonry Gravity	Dam type
Ύψος φράγματος	54 m		Dam height
Μήκος στέψης	285 m		Crest length
Όγκος φράγματος	179x10 ³ m ³		Dam volume
Χωρητικότητα ταμ.	41x10 ⁶ m ³		Reservoir capacity
Επιφάνεια ταμιευτήρα	2,45 km ²		Reservoir area
Εμβαδόν λεκάνης απορροής	118 km ²		Catchment area
Παροχή σχεδιασμού υπερχειλιστή	100 m ³ /sec		Spillway Capacity
Περάτωση	1929		Completion

Σκοπός		Purpose
Υδρευση.		Water Supply.



Εικόνα 11: Τομή Φράγματος Μαραθώνα. 1. Φράγμα. 2. Τσιμεντενέσεις. 3. Εκκενωτής Πυθμένα. 4. Αντίγραφο του Θησαυρού των Αθηναίων (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).

Β. ΦΡΑΓΜΑ ΛΟΥΡΟΥ (ΝΟΜΟΣ ΠΡΕΒΕΖΗΣ)

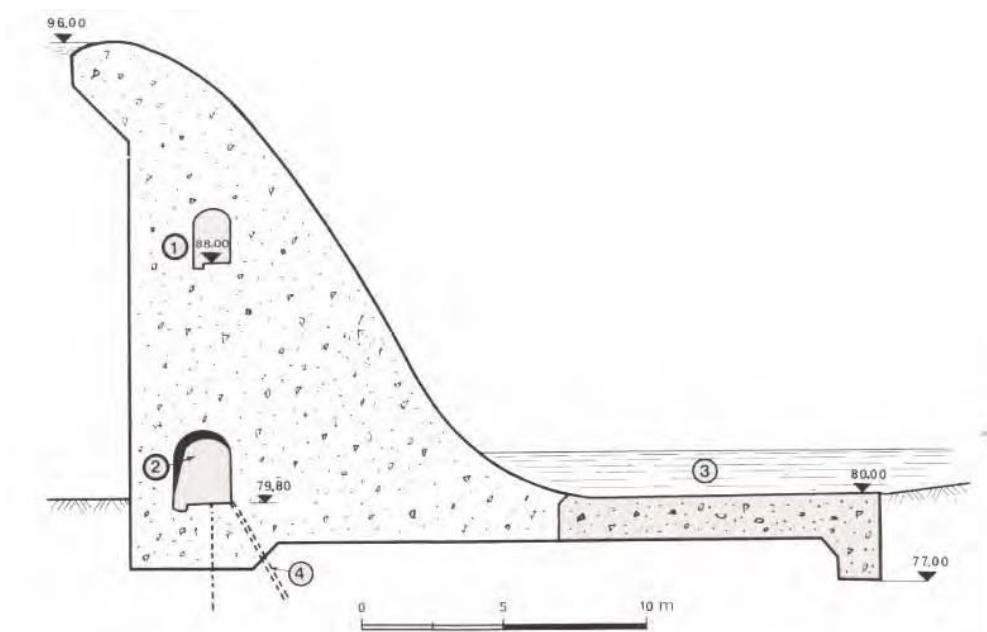


Εικόνα 12: Φράγμα Λούρου (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά φράγματος Λούρου (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).

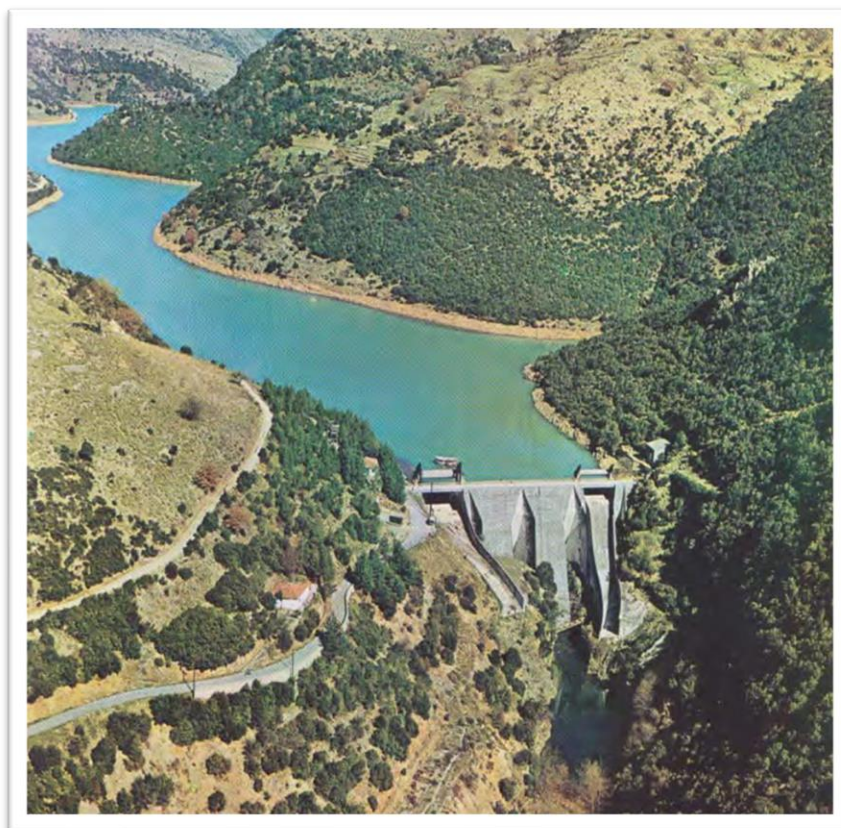
Χαρακτηριστικά Φράγματος			Dam data
Κύριος του έργου	ΔΕΗ	PPC	Dam owner
Τύπος φράγματος	Βαρύτητας σκυροδέματος	Concrete Gravity Dam	Dam type
Ύψος φράγματος	22 m		Dam height
Μήκος στέψης	97 m		Crest length
Όγκος φράγματος	12x10 ³ m ³		Dam volume
Χωρητικότητα ταμ.	1,076x10 ⁶ m ³		Reservoir capacity
Επιφάνεια ταμιευτήρα	0,37 km ²		Reservoir area
Εμβαδόν λεκάνης απορροής	(*) km ²		Catchment area
Παροχή σχεδιασμού υπερχειλιστή	1.400 m ³ /sec		Spillway Capacity
Περάτωση	1954		Completion

Σκοπός		Purpose
Υδροηλεκτρική Παραγωγή (ισχύς 10,3 MW).		Power Generation (capacity 10,3 MW).



Εικόνα 13: Τυπική Διατομή Φράγματος Λούρου. 1. Στοά Παρακολούθησης 2. Στοά Αποστράγγισης. 3. Κοιτόστρωση Σκυροδέματος. 4. Πιεζόμετρα (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).

Γ. ΦΡΑΓΜΑ ΛΑΔΩΝΑ (ΝΟΜΟΣ ΑΡΚΑΔΙΑΣ)

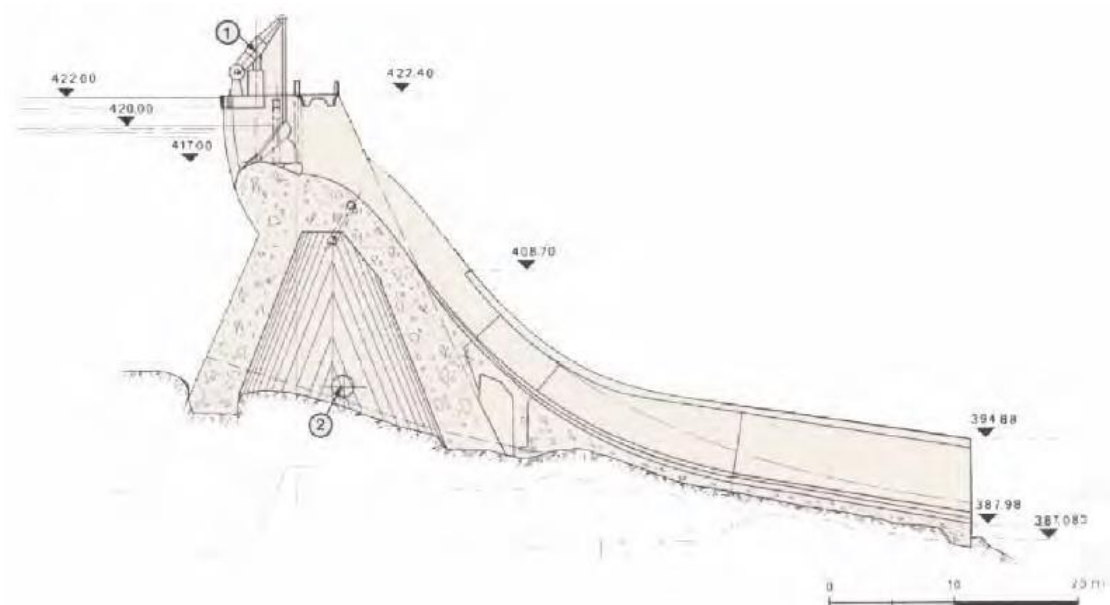


Εικόνα 14: Φράγμα Λάδωνα (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά φράγματος Λάδωνα (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).

Χαρακτηριστικά Φράγματος			Dam data
Κύριος του έργου	ΔΕΗ Α.Ε	PPC S.A	Dam owner
Τύπος φράγματος	Αντηριδωτό	Buttress	Dam type
Ύψος φράγματος	56 m		Dam height
Μήκος στέψης	102 m		Crest length
Όγκος φράγματος	34x10 ³ m ³		Dam volume
Χωρητικότητα ταμ.	57,6x10 ⁶ m ³		Reservoir capacity
Επιφάνεια ταμιευτήρα	4 km ²		Reservoir area
Εμβαδόν λεκάνης απορροής	(*) km ²		Catchment area
Παροχή σχεδιασμού υπερχειλιστή	760 m ³ /sec		Spillway Capacity
Περάτωση	1955		Completion

Σκοπός	Purpose
Υδροηλεκτρική Παραγωγή (ισχύς 70 MW).	Power Generation (capacity 70 MW).



Εικόνα 15: Τυπική διατομή Φράγματος Λάδωνα. 1. Θυρόφραγμα με αντίβαρο. 2. Άνοιγμα πρόσβασης (πηγή: Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων).

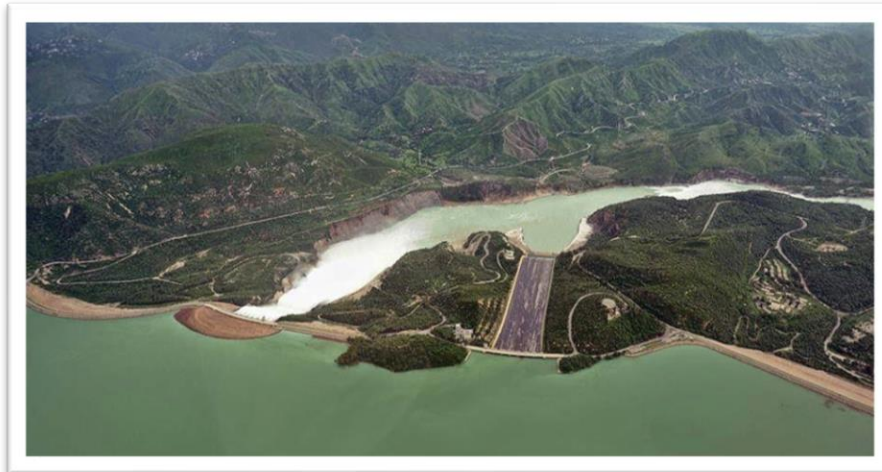
4.2 Γεωφράγματα σε Διεθνές Επίπεδο



Εικόνα 16: Φράγμα Tarbela (πηγή: eclass.upatras.gr).



Εικόνα 17: Φράγμα Tarbela (πηγή: eclass.upatras.gr).



Εικόνα 18: Φράγμα Tarbela (πηγή: eclass.upatras.gr).

ΓΕΩΦΡΑΓΜΑ TARBELA DAM (ΠΑΚΙΣΤΑΝ)



Εικόνα 19: Φράγμα Nurek (πηγή: eclass.upatras.gr).

ΓΕΩΦΡΑΓΜΑ NUREK DAM (ΠΑΚΙΣΤΑΝ)



Εικόνα 20: Φράγμα Mica (πηγή: eclass.upatras.gr).

ΓΕΩΦΡΑΓΜΑ MICA DAM (ΚΑΝΑΔΑΣ)



4.3 Αστοχίες Γεωφραγμάτων

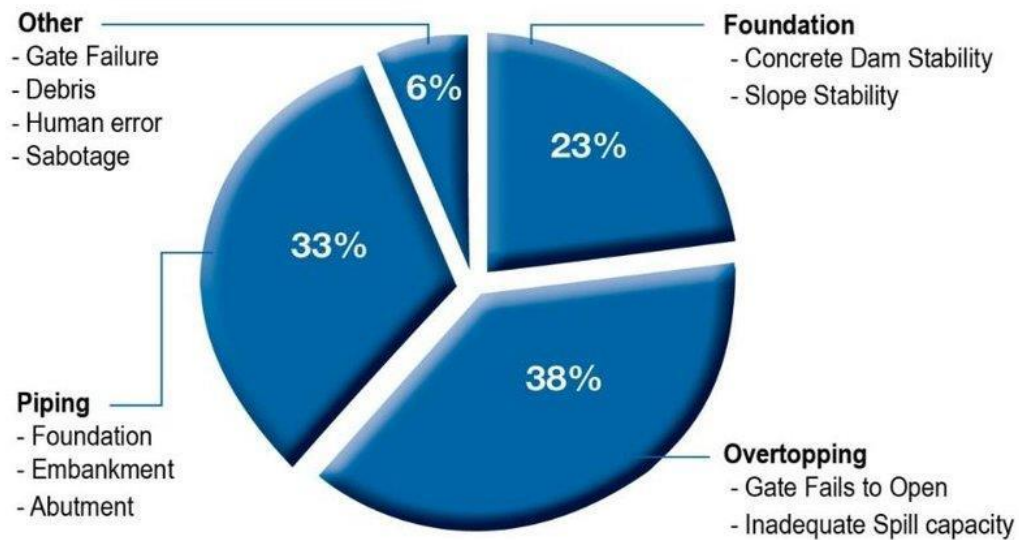
Μια ανεξέλεγκτη απόρριψη από τον ταμιευτήρα που προκαλείται από παραβίαση φράγματος αναχώματος θεωρείται αστοχία. Ένα περιστατικό μπορεί να είναι μια παρ' ολίγον αστοχία που σώθηκε από ένα συνδυασμό ελεγχόμενης μείωσης της δεξαμενής και αποκατάστασης, τις περισσότερες φορές ως αποτέλεσμα των έξυπνων παρατηρήσεων των επιθεωρητών για αυξημένη και ανεξέλεγκτη διαρροή.

Οι πιο συχνές αιτίες αστοχίας γεωφραγμάτων είναι:

- Διαρροή από το φράγμα αναχωμάτων που προκαλούνται από εσωτερική διάβρωση λεπτόκοκκων εδαφών. Διαρροή μέσω των στηριγμάτων ή των θεμελίων του φράγματος αναχώματος. Διαρροή μέσω αγωγών ενσωματωμένων στο ανάχωμα του φράγματος.
- Υπερχείλιση του φράγματος και επακόλουθο ρήγμα που προκλήθηκε από τη διάβρωση. Τόσο η ανεπαρκής χωρητικότητα του υπερχειλιστή όσο και η ελαττωματική λειτουργία της πύλης υπερχειλιστή έχουν οδηγήσει σε υπερχείλιση. Ο υψηλότερος ταμιευτήρας ενός έργου αντλησιο-ταμίευσης έχει επίσης υπερχειλίσει και έχει υποστεί παραβίαση ελλείπει υπερχειλιστή.
- Ασυμφωνία με το σχεδιασμό, σφάλματα στον αρχικό σχεδιασμό του φράγματος, όπως η εσφαλμένη εκτίμηση της πίεσης του νερού ή η ακατάλληλη επιλογή του τύπου φράγματος για τις τοπικές συνθήκες, μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχίες.

Οι αστοχίες έχουν, επίσης, προκύψει από τις ακόλουθες αιτίες, οι οποίες είναι πολύ λιγότερο συχνές:

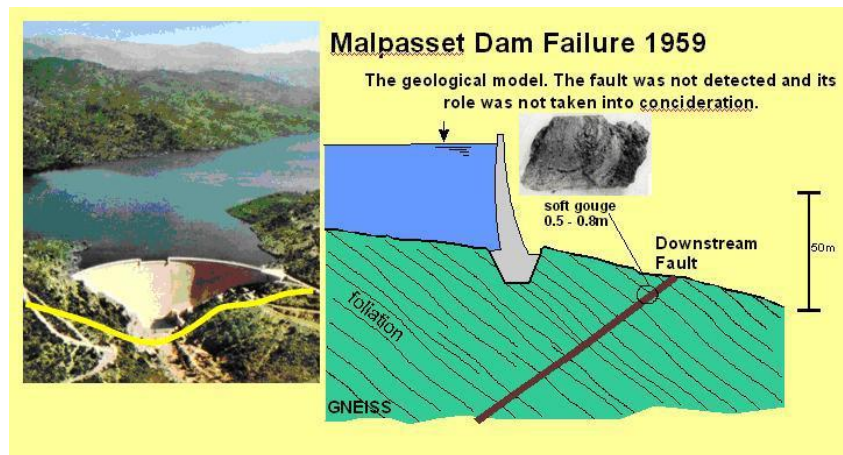
- Απώλεια αντοχής σε διάτμηση που προκαλείται από αυξημένες πιέσεις πόρων και, περιστασιακά, υδροποίηση χαλαρών, κορεσμένων κοκκωδών υλικών στο θεμέλιο ή το ανάχωμα κατά τη διάρκεια σεισμικής δραστηριότητας.
- Οι υψηλές πιέσεις πόρων στο κατάντη κέλυφος ως αποτέλεσμα της ανεπαρκούς αποστράγγισης προκαλούν αστάθεια και αποτυχία του κατάντη κελύφους.
- Κακή κατασκευή ή συντήρηση δηλαδή αστοχίες που μπορεί να συμβούν αν η κατασκευή του φράγματος δεν είναι σύμφωνη με τα πρότυπα ασφαλείας ή αν δεν έχει πραγματοποιηθεί η κατάλληλη συντήρηση. Σφάλματα στη σχεδίαση ή στη χρήση ακατάλληλων υλικών μπορεί επίσης να οδηγήσουν σε αποτυχία.
- Πλημμύρες και ανωμαλίες νερού παραδείγματος χάριν μερικές φορές οι απρόβλεπτες αλλαγές στο υδρολογικό περιβάλλον, όπως ξαφνικές μεγάλες πλημμύρες, μπορούν να προκαλέσουν υπερφόρτωση και καταστροφή του φράγματος.



Εικόνα 21: Λόγοι αστοχίας φραγμάτων (πηγή: eclass.upatras.gr).



Εικόνα 22: Αστοχία Φράγματος Malpasset - Γαλλία (1959) (πηγή: eclass.upatras.gr).



Εικόνα 23: Αστοχία Φράγματος Malpasset -Γαλλία (1959) (πηγή: eclass.upatras.gr).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

5.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις φραγμάτων

- **Επιπτώσεις στο κλίμα**

Από την κατασκευή φραγμάτων είναι πιθανών να υπάρξει αλλαγή του κλίματος μια περιοχής. Οι αλλαγές αυτές επηρεάζουν τόσο την πανίδα όσο και τη χλωρίδα που σχετίζονται άμεσα με τα ποσοστά της υγρασίας, της θερμοκρασίας ωστόσο παρατηρούνται αλλαγές και στην τοπογραφία μιας περιοχής επειδή έχουμε μεγάλη ποσότητα στάσιμων νερών. Λόγω της αυξημένης εξάτμισης που προκαλείται από τα μεγάλα ποσοστά υγρασίας φέρει ως αποτέλεσμα αλλαγές στον υδρολογικό κύκλο του ταμιευτήρα και εξαιτίας αυτού τις πρωινές ώρες εμφανίζεται πάνω σε αυτόν το φαινόμενο της ομίχλης. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι δεν μπορεί ένας ταμιευτήρας λόγω της πίεσης που δημιουργείται με το σύνολο των νερών να προκαλέσει συχνούς σεισμούς σε μια περιοχή. Ένα παράδειγμα αυτής της δραστηριότητας είναι η περίπτωση του φράγματος Boulder στις Η.Π.Α. τη δεκαετία του 1930, όπου σημειώθηκε σεισμός που αποδόθηκε στην ολοκλήρωση του ταμιευτήρα του και της αποθήκευσης νερού. (Φιλίντας και Πολύζος, 2008)

- **Επιπτώσεις στη χλωρίδα και πανίδα**

Η βιοποικιλότητα δέχεται επιρροές λόγω των φραγμάτων καθώς η αυξημένη στάθμη του ταμιευτήρα εμποδίζει την ανάπτυξη της υδάτινης βλάστησης. Η κατάσταση αυτή προκαλεί τροχοπέδη στην κολύμβηση των ψαριών κυρίως εκείνων που μετακινούνται προς τις πηγές των ποταμών γιατί έχουν ως σκοπό την αναπαραγωγή με αποτέλεσμα την εξαφάνιση κάποιων ειδών. Η εξαφάνιση αυτή μπορεί να προκαλέσει αρνητικά και προβλήματα στον τομέας της αλιείας προκαλώντας επιπτώσεις ακόμα και στον οικονομικό τομέα. Πλήττονται σημαντικά με την κατασκευή ενός ταμιευτήρα σε μεγάλο μέρος πουλιών και θηλαστικών καθώς εμποδίζεται η αναπαραγωγή τους από την έλλειψη δημιουργίας φωλιών. Επιπλέον ακόμα και η αναζήτηση τροφής δύναται δύσκολη. Μεταβολές προκαλούνται στην πανίδα επειδή αλλάζει ο σχηματισμός του ταμιευτήρα λόγω της θερμοκρασίας των υδάτων καθώς και του οξυγόνου και της περιεκτικότητας του αλατιού που βρίσκονται εκεί. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι παρατηρείτε ρίψη φυτοφαρμάκων και τοξικών ουσιών τα οποία ασκούν αρνητική επιρροή στα υδάτινα ζώα όπως και στην τροφική τους αλυσίδα.

- **Επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή**

Εκτός των πολλών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που αναλύθηκαν προηγουμένως, η κατασκευή των φραγμάτων επηρεάζει την ανθρώπινη ζωή σε εθνικό, κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο. Σε περιοχές τις οποίες κατασκευάζονται φράγματα συχνά παρατηρούμαι και αρνητικές επιπτώσεις πιο ειδικά κοινωνικές επιπτώσεις. Οι κάτοικοι μιας περιοχής όπου γίνεται αυτό το έργο πολλές φορές έρχονται αντιμέτωποι με την αναγκαστική τους μετακίνηση. Επιπρόσθετα επηρεάζονται αρνητικά και στον τομέα της ψυχολογίας.



Πλήττονται σημαντικά ιστορικοί και αρχαιολογικοί χώροι κάποιες φορές ενώ συχνό φαινόμενο είναι και η καταστροφή βασικών χώρων. Σε περίπτωση που προκληθεί αστοχία του φράγματος οι κάτοικοι θα έρθουν αντιμέτωποι με πλημμύρες αλλά ακόμα μπορεί να έρθουν αντιμέτωποι με τον κίνδυνο να χάσουν και την ίδια τους την ζωή. Ένας ακόμα τομέας που πλήττεται είναι ο οικονομικός γιατί λόγω του ταμιευτήρα παρατηρείτε μείωση του κυνηγητικού και αλιευτικού χαρακτήρα επειδή τα ζώα μεταναστεύουν σε άλλες περιοχές. Τέλος οι γεωργικές εκτάσεις μπορεί να μην είναι τόσο παραγωγικές λόγω της κατασκευής του ταμιευτήρα σε αυτές.

- **Επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα**

Οι ταμιευτήρες και τα φράγματα προκαλούν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις ακόμα και στην κλιματική αλλαγή. Σημαντικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και το μεθάνιο (CH_4) εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, συνεπώς οδηγούμαστε εκεί λόγω της κατασκευής αυτών των έργων (Φιλίντας και Πολύζος, 2008). Στα ιζήματα του ταμιευτήρα βρίσκεται δεσμευμένος άνθρακας που προκαλεί τις εκπομπές τις οποίες είναι υπεύθυνες για παράγοντες όπως το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο και την θερμοκρασία του νερού. Οι αρμόδιοι οφείλουν να λάβουν υπόψη την εκπομπή αερίων πριν και μετά την κατασκευή ενός φράγματος τόσο και για την κατασκευή υδροηλεκτρικών έργων. (Φιλίντας και Πολύζος, 2008).

5.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά την κατασκευή εύκαμπτων φραγμάτων

Η κατασκευή του φράγματος είναι γνωστό ότι μεταβάλλει την κανονική λειτουργία του ποταμού και κατά συνέπεια έχει σημαντικές μεταβολές στην τοπική υδρολογία και στα κατάντη ρέοντα νερά, όπως και στη μεταφορά των φερτών υλών. Η μεταβολή αυτή είναι δυνατόν να οδηγήσει σε διαβρώσεις στο έδαφος, προκαλώντας και σημαντικές αλλαγές στο οικοσύστημα που υπήρχε πριν την κατασκευή του φράγματος στην περιοχή. Επιπλέον, με τη δημιουργία ενός φράγματος γίνεται μία τεχνητή φραγή των ποταμών, η οποία αυξάνει τον χρόνο παραμονής και τη θερμοκρασία του νερού, αλλάζει τη θολερότητα και τη θερμική στρωματοποίηση. Ωστόσο, η μεταφορά του ιζήματος είναι περιορισμένη, επομένως δημιουργούνται προβλήματα στις κατάντη εκτάσεις τόσο στη χλωρίδα όσο και στη διάβρωση των εδαφών τους.

Η κατασκευή ενός εύκαμπτου φράγματος είναι ένα έργο πολύ μεγάλης κλίμακας, όπου κατά την φάση της κατασκευής του φέρει επίπτωση στο ανάγλυφο.

Επιγραμματικά έχουμε:

- Προσωρινή εκτροπή του ποταμού
- Επιπτώσεις αναγλύφου λόγω εκσκαφών.
- Επιπτώσεις λόγω υλικών κατασκευής ανάλογα με τον τύπο του φράγματος.



- Επιπτώσεις λόγω διάνοιξης δρόμων για διέλευση και μεταφορά υλικών.
- Έντονες οχλήσεις (θόρυβος-σκόνη)

5.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη λειτουργία εύκαμπτων φραγμάτων

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανθρώπινες απαιτήσεις, κατασκευάζονται φράγματα για να αποθηκεύουν και να ανακατευθύνουν το νερό, να μεταβάλλουν τη φυσική κατανομή και να συγχρονίζουν τις ροές των ποταμών. Ως «εμπόδια» στις διαμήκεις ανταλλαγές νερού στα ποτάμια, μεταβάλλουν ταυτόχρονα τις βασικές διαδικασίες των φυσικών οικοσυστημάτων. Ρυθμίζοντας τον τρόπο ροής κατάντη (ένταση, χρονισμός και συχνότητα), τροποποιούν τα θρεπτικά και υδατικά ιζήματα, καθώς και τη θερμοκρασία και τη χημεία του νερού. Τα χειρσαία ενδαιτήματα πλημμυρίζουν από τους ταμιευτήρες, οι οποίοι σκοτώνουν τη βλάστηση και οδηγούν τα ζώα να μεταναστεύσουν.

Η μεγάλης κλίμακας συσσώρευση νερού μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις σε σπάνια ενδαιτήματα άγριας ζωής και ακόμη και να εξαλείψει ολόκληρους πληθυσμούς απειλούμενων ειδών, καθώς πολλά είδη προτιμούν τον πυθμένα της κοιλάδας.

Ο σωστός σχεδιασμός ενός φράγματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον προσδιορισμό και την κατηγοριοποίηση των αναμενόμενων αλλαγών στο περιβάλλον μετά την κατασκευή του:

- Όταν λειτουργούν φράγματα, αλλάζει η διατροφή του κατάντη ποταμού, γεγονός που έχει βαθύ αντίκτυπο στην τοπική υδρολογία, στο νερό που κινείται κατάντη και στην κίνηση της λάσπης. Αυτή η αλλοίωση έχει τη δυνατότητα να προωθήσει τη διάβρωση του εδάφους και να διαταράξει το τοπικό περιβάλλον. Το τεχνητό φράγμα των ποταμών συνήθως οδηγεί σε αυξημένη πρωτογενή παραγωγή φυσικής τοποθεσίας, η οποία επηρεάζει την ισορροπία άνθρακα και θρεπτικών ουσιών. Μειώνει επίσης τη θολότητα, αυξάνει τη διάρκεια παραμονής και τη θερμοκρασία του νερού και ρυθμίζει τη θερμική διαστρωμάτωση. Τα ιζήματα μεταφέρονται συνεχώς μέσω της λεκάνης απορροής και σε όλο το ποτάμιο σύστημα.
- Η κατασκευή του ταμιευτήρα μπορεί να περιλαμβάνει περιοχές με τοπογραφική, γεωλογική και αισθητική σημασία, καθώς και ιστορική μνήμη και αρχαιολογικούς χώρους.
- Η αναπαραγωγή των ψαριών παρεμποδίζεται και η κατάντη πανίδα επηρεάζεται αρνητικά από τη συγκράτηση ενός υδατικού συστήματος μέσα σε μια δεξαμενή, τις διακυμάνσεις στη ροή του ποταμού που εμποδίζεται και την ποσότητα λάσπης που υπάρχει.
- Η δημιουργία του ταμιευτήρα μπορεί να μεταβάλει τη θερμοκρασία, την αλατότητα και το επίπεδο οξυγόνου του περιβάλλοντος νερού, γεγονός που μπορεί να μεταβάλει την τοπική πανίδα.



- Δημιουργούνται εμπόδια για τη διέλευση των ζώων και προκύπτουν ζητήματα με τα ποτάμια ψάρια που μεταναστεύουν «προς τα πάνω» κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής τους περιόδου, γεγονός που μειώνει τον πληθυσμό των ποταμίσιων ψαριών. Τα ψάρια μπορούν να υποστούν τραυματισμούς όταν ταξιδεύουν μέσα από τουρμπίνες και αντλίες μεγάλων φραγμάτων.
- Οι δομές της κοίτης του ρέματος αλλοιώνονται, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την τοπική άγρια ζωή, καθώς τα έλη και άλλες συσσωρεύσεις νερού στερούνται και γίνονται εργασίες εκσκαφής.
- Τα ευαίσθητα ζώα ενδέχεται να επηρεαστούν άμεσα από την απελευθέρωση επικίνδυνων ενώσεων (φυτοφάρμακα, βαρέα μέταλλα κ.λπ.) στο ποτάμιο οικοσύστημα και τη συγκέντρωσή τους στην τροφική αλυσίδα. Εάν το υδάτινο ρεύμα δεν είναι σε θέση να ανακάμψει από τη ρύπανση, όλοι οι οργανισμοί μέσα στο οικοσύστημα μπορεί να χαθούν.
- Λόγω της απώλειας της φύσης, το υδατικό καθεστώς της περιοχής του φράγματος μπορεί να αλλάξει, προκαλώντας απροσδόκητες πλημμύρες και επακόλουθη βλάβη στις φυσικές δομές και τη βλάστηση κατά μήκος των όχθων του ποταμού. Δεδομένης της αυξημένης επιφάνειας του νερού της περιοχής, πρέπει να προβλεφθεί αύξηση της εξάτμισης του νερού. Οι αλλαγές στη θερμοκρασία του αέρα, το ποσοστό υγρασίας, οι μεγάλης κλίμακας κινήσεις του αέρα και οι τοπογραφικές αλλαγές που προκαλούνται από μεγάλης κλίμακας στάσιμες μάζες νερού μπορούν να συνδεθούν με μικροκλιματικές αλλαγές.
- Σε ορισμένες περιπτώσεις, το στάσιμο νερό από τα φράγματα μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση ασθενειών όπως η χολέρα, ο τυφοειδής πυρετός, η ελονοσία και ο τύφος.

5.3.1 Επιπτώσεις των φραγμάτων στην ποιότητα του νερού

Οι ταμιευτήρες νερού επιφέρουν φυσικές, χημικές και βιολογικές αλλαγές στο αποθηκευμένο νερό και στα υποκείμενα εδάφη και πετρώματα, τα οποία επηρεάζουν την ποιότητα νερού. Η χημική σύσταση του νερού μέσα σε ένα ταμιευτήρα μπορεί να είναι σημαντικά διαφορετική από αυτήν των εισρεόμενων ποσοτήτων νερού. Το μέγεθος του ταμιευτήρα, η θέση του στο ποτάμιο σύστημα, η γεωγραφική θέση του όσον αφορά το υψόμετρο και το γεωγραφικό πλάτος και μήκος του, ο χρόνος διατήρησης αποθήκευσης του νερού και η/οι υδατική πηγή/ές, επηρεάζουν τον τρόπο που η κράτηση αποθήκευσης τροποποιεί την ποιότητα του νερού.

Σημαντικές βιολογικά-οδηγούμενες αλλαγές εμφανίζονται μέσα στους θερμικά στρωματοποιημένους ταμιευτήρες νερού. Στο επιφανειακό στρώμα, το φυτοπλαγκτόν (phytoplankton) πολλαπλασιάζεται συχνά και απελευθερώνει οξυγόνο, διατηρώντας με αυτόν τον τρόπο τις συγκεντρώσεις σε κοντινά επίπεδα κορεσμού για τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Αντίθετα, η έλλειψη μίξης φυτοπλαγκτόν και ηλιακής ακτινοβολίας για εν θερμώ σύνθεση με συνένωση με το οξυγόνο που χρησιμοποιείται στην αποσύνθεση της



υποβρύχιας βιομάζας, μπορούν να οδηγήσουν σε συνθήκες μη οξυγόνωσης ιστών, στο κατώτατο υδατικό στρώμα. Οι θρεπτικές ουσίες (δηλαδή ο φώσφορος και το άζωτο), απελευθερώνονται βιολογικά και εκπλύνονται από την πλημμυρισμένη βλάστηση και το έδαφος. Αν και η απαίτηση οξυγόνου και τα θρεπτικά επίπεδα μειώνονται γενικά με το πέρασμα του χρόνου, καθώς η οργανική ουσία μειώνεται, μερικοί ταμιευτήρες απαιτούν μια περίοδο περισσότερων από 20 έτη για να αναπτύξουν σταθερά σε ποιότητα υδατικά καθεστώτα.

Κυριότεροι αποδέκτες της ρύπανσης με νιτρικά είναι, συνήθως, τα αγροτικής χρήσης εδάφη και οι υδατικοί πόροι που επηρεάζονται από αυτά (επιφανειακοί και υπόγειοι). Το φαινόμενο της ρύπανσης των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων συνδέεται άμεσα με την υποβάθμιση του εδάφους, αφού τα υλικά της διάβρωσης που συσσωρεύονται σε αυτά μπορούν να υποβαθμίσουν την ποιότητά τους, και κατά ακολουθία να υποβαθμίσουν τη ποιότητα των νερών των ταμιευτήρων των φραγμάτων, που λειτουργούν ως αποδέκτες νιτρικών και διαφόρων άλλων ρυπογόνων ουσιών.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σχεδιασμός ενός φράγματος μπορεί να έχει οφέλη για τον άνθρωπο, για αυτό θα πρέπει να γίνονται εκτεταμένες και λεπτομερείς μελέτες ώστε να μην έχουν αρνητικές συνέπειες.

Οι τύποι φραγμάτων που επιλέγονται διαφέρουν ανάλογα με τις ανάγκες που εξυπηρετούν και τις εδαφικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Για τον σχεδιασμό ενός φράγματος θα πρέπει πρώτα να λαμβάνονται υπόψη οι τεκτονικές και γεωτεχνικές συνθήκες που υφίστανται στην περιοχή και η διερεύνηση της γύρω περιοχής σε ό,τι αφορά στην ύπαρξη και τον εντοπισμό ενεργών ρηγμάτων.

Θα πρέπει να δίνεται, επίσης, ιδιαίτερη έμφαση στις καθιζήσεις που δύνανται να προκύψουν λόγω των φορτίων και των πιέσεων που δέχεται η εδαφική στρώση ή λόγω μη καλής συμπίκνωσης του υλικού από το οποίο κατασκευάζεται. Το τελευταίο αφορά, κυρίως, χωμάτινα φράγματα.

Από την κατασκευή και λειτουργία των μεγάλων φραγμάτων προέρχονται περιβαλλοντικές μεταβολές με διαφορετική σημασία ή σπουδαιότητα. Ένα φράγμα επιδρά είτε θετικά είτε αρνητικά στα φυσικά οικοσυστήματα και στη βιοποικιλότητα της περιοχής και είναι δύσκολο να καθορίσουμε εκ των προτέρων το «κόστος» των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα προκύψει.

Οι περιβαλλοντικές αυτές μεταβολές, εξαρτώνται από:

- το είδος,
- το μέγεθος,
- τη θέση του φράγματος και του ταμιευτήρα,
- την τοπική υδρολογία,
- τον όγκο των φερτών υλικών,
- το κλίμα,
- τους γεωμορφολογικούς περιορισμούς, καθώς και
- την ευαισθησία και τις πιέσεις που δέχεται το υφιστάμενο οικοσύστημα ανάντη και κατόντη του φράγματος.

Παρόλο που οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις εκάστου φράγματος είναι «μοναδικές» και θα πρέπει να πραγματοποιείται εμπεριστατωμένη μελέτη και αξιολόγησή τους, σήμερα παραμένει ευρέως διαδεδομένη η οικολογική ανησυχία ότι τα μεγάλα φράγματα προκαλούν σημαντικές αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαταράσσοντας τις λειτουργίες των φυσικών οικοσυστημάτων.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Narita, K. (2000). Design and construction of embankment dams. Dept. of Civil Eng., Aichi Institute of Technology.
2. Alfonso, A., de Paoli, B., and Stefani, S. (1984), "Overlapping Piles Form Cutoff Wall at Thai Dam," International Water Power & Dam Construction, v. 36, n. 6, pp. 17-21.
3. Bliss, M., (1995), "The Use of Vertical Barrier Walls for Dike Modification", Remediation Management, v. 1, n.2., pp14-19.
4. Penman, A. D. M. (1986). On the embankment dam. Geotechnique, 36(3), 303-348.
5. Farrar, J. A. (2000). Bureau of Reclamation experience with instrumented rolled earth fill dams. In Performance Confirmation of Constructed Geotechnical Facilities (pp. 240-252).
6. Cato, K. D., & Rogers, J. D. (2018). Failure of the Alexander Dam Embankment and Reconstruction Using Drainage Mitigation On Kauai, Hawaii, 1930–1932. Environmental & Engineering Geoscience, 24(1), 89-109.
7. CASAGRANDE, A., 1934, Discussion of mechanics of hydraulic fill dams: Journal of the Boston Society of Civil Engineers, Vol. 21, No. 3, pp. 206–207.
8. Krikar, M., & Noori, G. (2013). Numerical analysis of earth dam seepage problems" (Doctoral dissertation, Master Thesis, University of Nottingham).
9. Bazarov, D., Umarov, S., Oymatov, R., Uljaev, F., Rayimov, K., & Raimova, I. (2021). Hydraulic parameters in the area of the main dam intake structure of the river. In E3S Web of Conferences (Vol. 264, p. 03002). EDP Sciences.
10. Al-Labban, S. N. Y. (2007) The Seepage Analysis of Earth Dams by Finite Elements. Unpublished M.Sc. Dissertation. Kufa: University of Kufa.
11. Yarde, A. J., Banyard, L. S. and Allsop, N. W. H. (1996). Reservoir dams: wave conditions, wave overtopping and slab protection. HR Wallingford Report SR 459.
12. Coleman, S. E., Andrews, D. P., and Webby, M. G. (2002) 'Overtopping Breaching of Noncohesive Homogeneous Embankments'. Journal of Hydraulic Engineering 128 (9), 829-838.
13. Day, S.R., and Ryan, C.R. (1992), "State of the Art in Bio-Polymer Drain Construction, Slurry Walls - Design, Construction, and Quality Control", ASTM STP 1129, D.B. Paul, R.R. Davidson, and N.J. Cavalli, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 333-343.
14. Embankment Instrumentation Manual, (1987), U.S. Government Printing Office, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver CO.



15. Gould, J.P., (1959), “Construction Pore Pressures Observed in Earth Fill Dams,ω”Technical Memorandum 650, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver CO, April.
16. Athani, S. S., Solanki, C. H., & Dodagoudar, G. R. (2015). Seepage and stability analyses of earth dam using finite element method. Aquatic Procedia, 4, 876-883.
17. Smith, N. (1971). A history of dams. Peter Davies. London
18. Sherard, J. L. and Dunnigan, L. P. (1989). Critical filters for impervious soils. Journal for Geotechnical Engineering, ASCE, 115(7), pp. 927–947.
19. Londe, P. and Lino, M. (1992). The faced symmetrical hardfill dam: a new concept for RCC, Water Power and Dam Construction. February.
20. Mattsson, H., Hellström, J. G. I., and Lundström, T. S. (2008) Internal Erosion in Embankment Dams: A Literature Survey of the Phenomenon and the Prospect to Model it Numerically no 14. Luleå: Luleå University of Technology.
21. Σιούτας, Γ. (2014). Διαχείριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των φραγμάτων στον κύκλο ζωής τους: Η περίπτωση του φράγματος Παναγιώτικου (Master's thesis).

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

22. <https://www.britannica.com/technology/spillway-engineering>
23. https://structville.com/2021/05/earth-dams-types-construction-and-failure.html#google_vignette
24. <https://britishdams.org/about-dams/dam-information/building-dams/>
25. <https://www.britannica.com/technology/dam-engineering>
26. http://www.eeft.gr/Fragmata_Elladas_201311.pdf
27. <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/2.7.pdf>