



Γεωτεχνική Μηχανική των Φραγμάτων

1η έκδοση
2018

Δρ Κωνσταντίνος Σαχπάζης
Καθηγητής

Πολιτικός/Γεωτεχνικός Μηχανικός

& Διπλωματούχος Γεωλόγος

ΠΕΔΕ 904/1994 (Κ.Π.Σ. 66/4/1984) ΕΓΓΕ

ΣΕΙΣΜΟΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

1. ΓΕΝΙΚΑ – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΕΡΙ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

1.1. Εισαγωγή περί φραγμάτων

1.1.1 Ιστορικό φραγμάτων

Τα φράγματα χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για να ελέγχουν τις πλημμύρες και να παρέχουν νερό για άρδευση και για ύδρευση. Η πρώτη αναφορά και καταγραφή φράγματος έγινε από τον Έλληνα ιστορικό Ηρόδοτο. Το πρώτο φράγμα κατασκευάστηκε εγκαρσίως του ποταμού Νείλου στην Αίγυπτο το 2.900 π.Χ. περίπου για να προστατεύσει την πόλη της Μέμφιδος από τις πλημμύρες. Τα φράγματα ήταν πολύ δημοφιλή έργα κατά την Ρωμαϊκή εποχή, και δύο από τα φράγματά τους είναι ακόμα σε χρήση μέχρι και σήμερα, δηλαδή σχεδόν 2.000 χρόνια αργότερα.

Οι καταγραφές για κατασκευή φραγμάτων χάθηκαν κυριολεκτικά κυρίως μετά από τους Ρωμαϊκούς χρόνους μέχρι και τον 18^ο αιώνα.

Σήμερα υπάρχουν περίπου 50.000 σημαντικά φράγματα στις Η.Π.Α. και συνεχίζουν να κατασκευάζονται σε όλο τον κόσμο με αυξανόμενους ρυθμούς. Στην πραγματικότητα, κάθε ημέρα κατασκευάζεται παγκοσμίως και ένα νέο φράγμα που το ύψος του υπερβαίνει τα 16 μέτρα, μαζί και με πολλά μικρότερα που δεν προσμετρώνται.



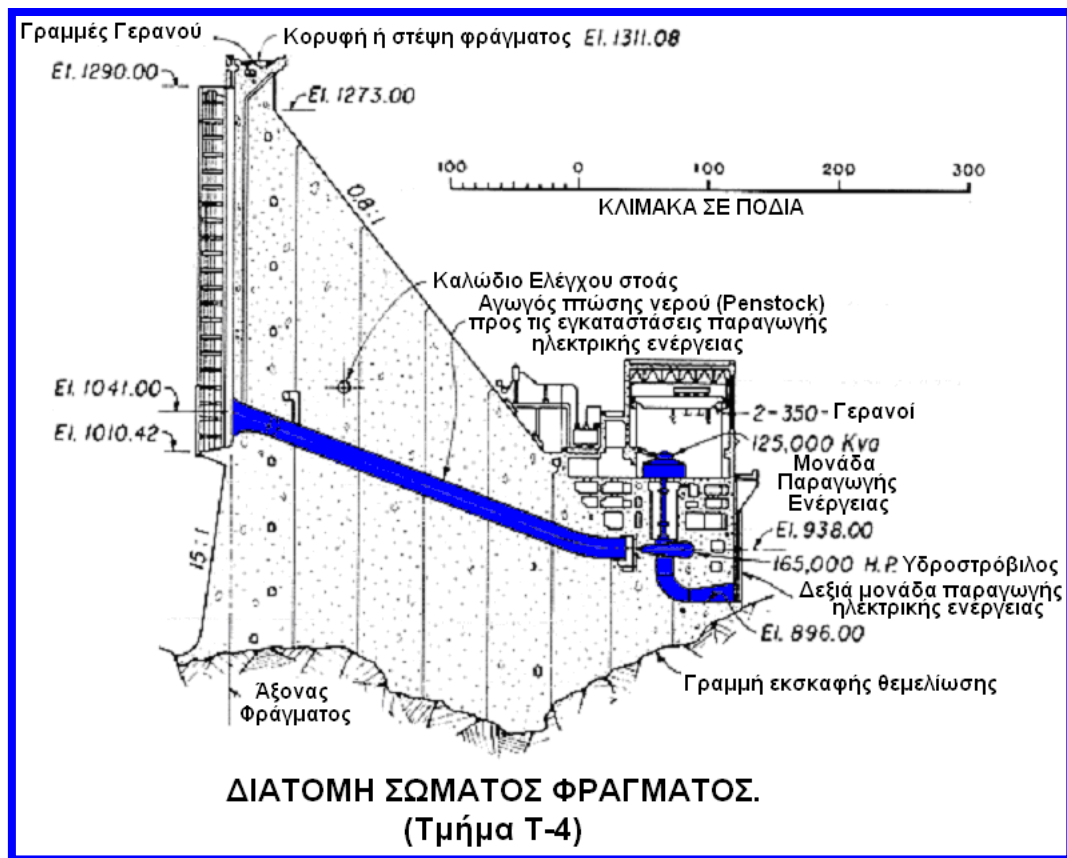
Εικ. 1.1: Αποψη Τυπικού Φράγματος.

1.1.2 Σχεδιασμός - Δομή - Προβλήματα

Τα φράγματα συνήθως ταξινομούνται σύμφωνα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους, καθώς και τον βασικό σχεδιασμό και λειτουργία τους. Τα χωμάτινα φράγματα έχουν ένα κεντρικό αργιλικό στεγανό πυρήνα, και ένα εξωτερικό σώμα αποτελούμενο από ισχυρό και συμπυκνωμένο έδαφος για να αντιστηρίξει και να διατηρεί στην θέση του τον μαλακό και ασταθή γενικά αργιλικό πυρήνα.

Όσο διάστημα κατασκευάζονται τα χωμάτινα φράγματα, ο ποταμός θα πρέπει να εκτρέπεται από την πορεία του μέσω μίας σήραγγας εκτροπής ή ενός προσωρινού

προφράγματος εκτροπής. Τα χωμάτινα φράγματα είναι μη υπερχειλιζόμενα φράγματα, και έτσι θα πρέπει να έχουν κάποιον υπερχειλιστή (spillway) που θα προστατεύει το φράγμα από το να συμβεί κάποια σοβαρή ζημία λόγω της υπερχειλιζόμενης πλημμύρας.



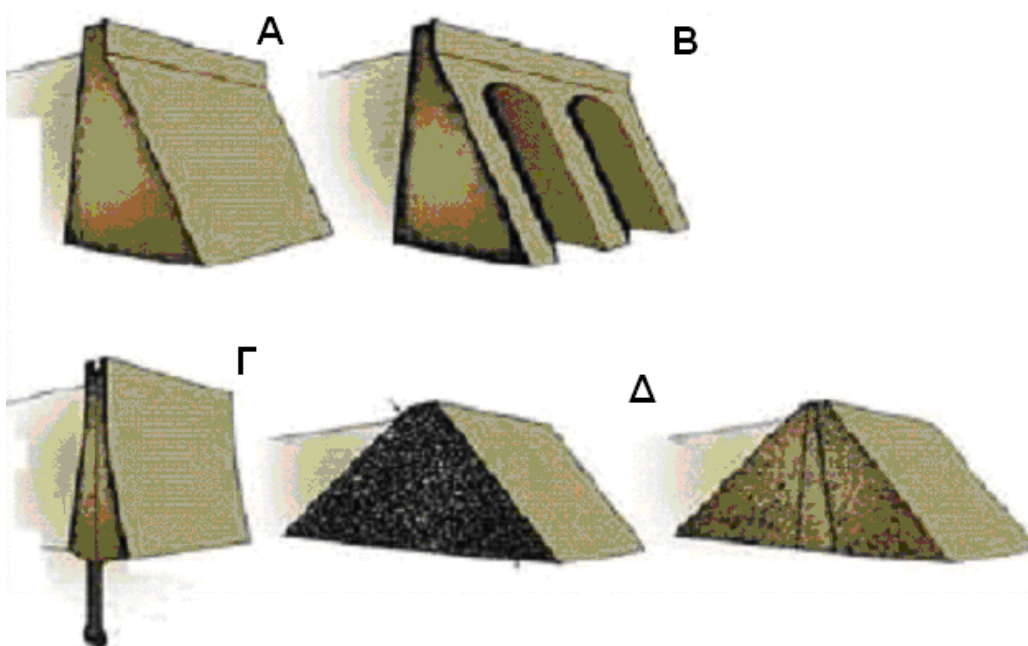
Εικ. 1.2: Χαρακτηριστική διατομή σώματος φράγματος.

Τα φράγματα βαρύτητας από σκυρόδεμα συγκρατούν το νερό πίσω τους χρησιμοποιώντας μόνο και μόνο το μεγάλο βάρος τους. Η πλευρά που αντικρίζει το νερό του ταμιευτήρια είναι κατακόρυφη ενώ η αντίθετη πλευρά του κλίνει βαθμιαία προς τα κάτω. Δεδομένου ότι η μεγαλύτερη υδροστατική πίεση αναπτύσσεται κοντά στη βάση του φράγματος, το φράγμα είναι παχύτερο στην βάση του, ενώ επειδή δεν υπάρχει και τόσο μεγάλη πίεση κοντά στη κορυφή ή στέψη του δεν είναι και τόσο παχύ στα ανώτερα τμήματά του.

Τα τοξωτά ή αψιδωτά φράγματα από σκυρόδεμα χρησιμοποιούν τον τοξωτό ή αψιδωτό σχεδιασμό τους για να συγκρατήσουν την υδροστατική πίεση του νερού πίσω τους. Κατασκευάζονται συνήθως μέσα στα στενά και τα απότομα φαράγγια όπου αναπτύσσονται πολύ καλές συνθήκες βραχομάζας για την θεμελίωση της βάσης τους και των αντερεισμάτων τους. Η πλευρά που αντικρίζει το νερό του ταμιευτήρια είναι κυρτή και σχηματίζει αψίδα ή τόξο. Όταν το νερό πιέζει ενάντια σε ένα τοξωτό φράγμα, και το φράγμα αυτό με την σειρά του μεταφέρει τις υδροστατικές πιέσεις ωθώντας τα πρηνή του φαράγγιού ή της χαράδρας επί των οποίων εδράζεται. Τα τοξωτά ή αψιδωτά φράγματα μπορούν να κατασκευαστούν πολύ λεπτά επειδή μπορούν να συγκρατήσουν τις υψηλές αναπτυσσόμενες δυνάμεις με τον αψιδωτό ή τοξωτό σχεδιασμό τους.

Εάν το νερό βρει κάποιο τρόπο να διαρρεύσει μέσω ενός φράγματος, η υψηλή πίεσή του δεν θα το αφήσει να σταματήσει. Το άνοιγμα διαρροής γρήγορα θα πάρει μεγαλύτερες διαστάσεις που θα απαιτήσει πολύ δαπανηρές εργασίες για να επισκευαστεί, εάν φυσικά δεν οδηγήσει σε ταχύτατη κατάρρευση του φράγματος. Επίσης, όταν σταματούν να ρέουν οι ποταμοί με την κατασκευή ενός φράγματος, η άγρια φύση και η βλάστηση μπορεί να εξαφανιστεί και να πεθάνει. Οι περιοχές ανάντη ενός φράγματος

διατηρούνται μετά την κατασκευή και λειτουργία ενός φράγματος γενικά πλημμυρισμένες, προκαλώντας έτσι κατά κανόνα μεγάλη ζημιά στο περιβάλλον.



Εικ. 1.3: Απλοποιημένα σκίτσα διαφόρων τύπων φραγμάτων.

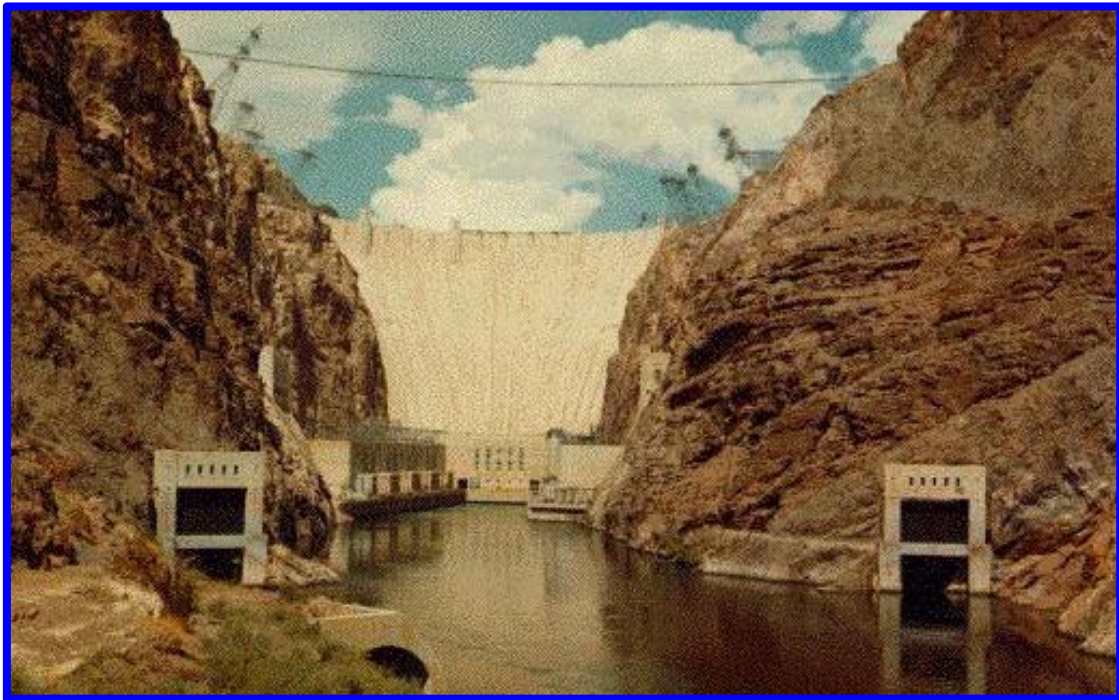
- (Α) Συμπαγή Βαρύτητας. Η πίεση του νερού αντισταθμίζεται από το ίδιο βάρος του φράγματος. (Β) Αντηριδωτά Βαρύτητας. Οι αντηρίδες στηρίζουν το φράγμα και αντισταθμίζουν την πίεση του νερού στον ταμιευτήρα. Τα αντηριδωτά φράγματα απαιτούν πολύ λιγότερο σκυρόδεμα για την κατασκευή τους από ότι τα συμπαγή φράγματα βαρύτητας.
- (Γ) Δεπτά Προεντεταμένα. Ειδικού τύπου φράγματα που αγκυρώνονται στην βραχομάζα θεμελιώσής τους με κατακόρυφους τένοντες ή ράβδους χάλυβα ή ειδικά συρματόσχοινα, τα οποία στην συνέχεια προεντείνονται. (Δ) Διθόριπτα και Χωμάτινα. Κατασκευάζονται από βραχώδη ή γαιώδη εδαφικά υλικά, όπως δηλώνει και το όνομά τους, με μια αδιαπέρατη επιφάνεια ή πυρήνα από σκυρόδεμα, από άργιλο ή από χαλύβδινα ελάσματα, κλπ.

1.1.3 Πώς λειτουργούν τα φράγματα

Τα φράγματα σχεδιάζονται έτσι ώστε να εκτελούν πολλές και διαφορετικές λειτουργίες. Ένα φράγμα μπορεί να κατασκευαστεί είτε ως ένα φράγμα αποθήκευσης νερού ή εκτροπής νερού είτε και συγκράτησης πλημμυρικού νερού (φράγματα διευθέτησης πλημμυρών). Τα φράγματα αποθήκευσης νερού κατασκευάζονται για να παγιδέψουν το νερό για αργότερη χρήση του, όπως είναι μια τεχνητή δεξαμενή (ταμιευτήρας). Τα φράγματα εκτροπής νερού σταματούν συνήθως τη φυσική ροή ενός ποταμού έτσι ώστε το νερό να μπορεί να διοχετευθεί μακριά σε μια διαφορετική θέση. Τα φράγματα εκτροπής χρησιμοποιούνται συνήθως για την άρδευση μίας περιοχής. Τα φράγματα συγκράτησης κατασκευάζονται συνήθως είτε για να σταματήσουν είτε για να επιβραδύνουν την ποσότητα του νερού σε έναν ποταμό ώστε να αποφευχθούν οι υψηλές πλημμυρικές παροχές αιχμής ενός ποταμού σε ένα περιστατικό έντονης βροχόπτωσης. Αυτό γίνεται συνήθως για να προστατευθεί μια περιοχή από τις πλημμύρες.

Όλα τα φράγματα ταξινομούνται σε φράγματα με υπερχειλίση ή χωρίς υπερχειλίση. Τα φράγματα υπερχειλίσης πρέπει να έχουν μία πολύ ισχυρή κορυφή ή στέψη, γιατί διαφορετικά η ροή του νερού θα αρχίσει γρήγορα να τα διαβρώνει και μπορεί τελικά να τα καταρρεύσει. Τα μη υπερχειλιζόμενα φράγματα δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στον κίνδυνο της υπερχειλίσης του νερού, και έτσι εξοπλίζονται με κατάλληλες δομές ελεγχόμενης υπερχειλίσης νερού που είναι γνωστές ως υπερχειλιστές (spillways). Οι δομές των υπερχειλιστών μπορεί να είναι κάποια σήραγγα η οποία παίρνει

και εκτονώνει μακριά το υπερβολικό πλημμυρικό νερό, ή μπορούν να είναι ένα τμήμα ενός φράγματος που κατασκευάζεται ειδικά για να υπερχειλίζει το πλεόνασμα του νερού.



Εικ. 1.4: Χαρακτηριστική κατάντη όψη σώματος αψιδωτού φράγματος.

Τα φράγματα είμαι σημαντικές κατασκευές επειδή βοηθούν την ανθρωπότητα να έχει επαρκές νερό κατάλληλης και ελεγχόμενης ποιότητας για πόση, να παρέχει νερό για την βιομηχανία, νερό για την άρδευση, νερό για την αλιεία και την αναψυχή, νερό για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, νερό για την ενδοποτάμια ναυσιπλοΐα, και για άλλες ανάγκες και σκοπούς. Τα φράγματα εξυπηρετούν επίσης τους ανθρώπους με την μείωση ή και την παρεμπόδιση των πλημμυρών. Τα φράγματα είναι σημαντικά έργα επειδή παρέχουν νερό για άρδευση και συνεπώς για την ανάπτυξη των περιοχών και την εξάλειψη της πείνας ιδιαίτερα στις υποανάπτυκτες χώρες.



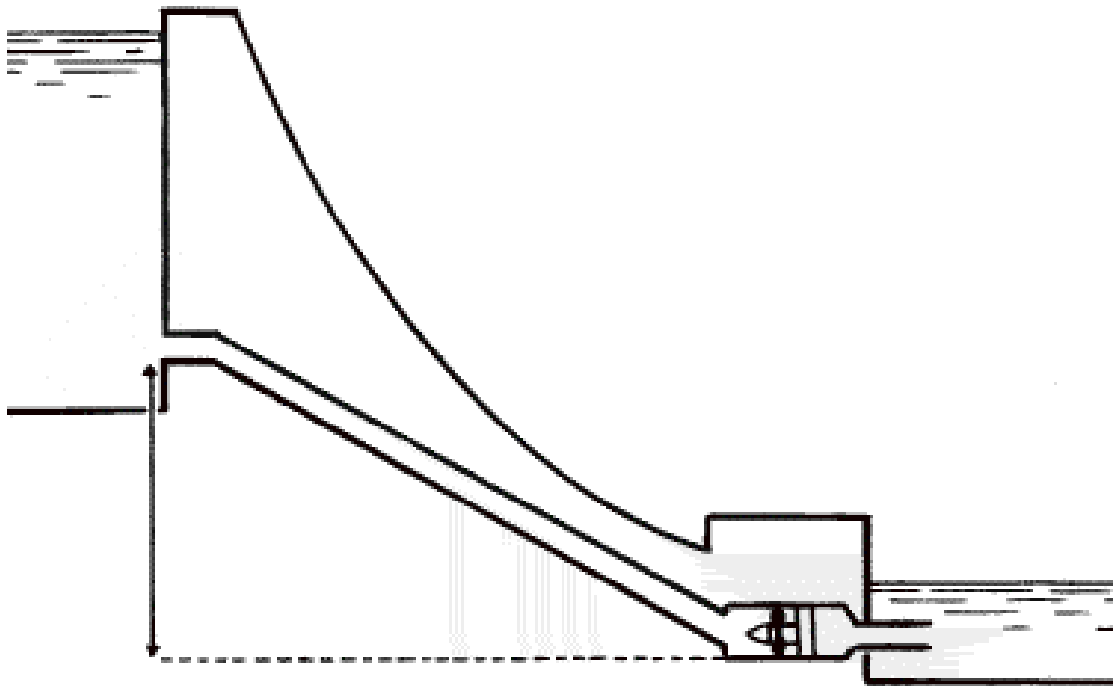
Εικ. 1.5: Το φράγμα ιστιοπλοΐας Claytor.

1.1.4 Υδροηλεκτρικά φράγματα

Πώς λειτουργούν. Τα υδροηλεκτρικά φράγματα είναι πολύ υψηλής τεχνολογίας έργα αλλά και απλές μηχανές συγχρόνως. Ένα φράγμα συγκρατεί πίσω του το νερό, δημιουργώντας μια δεξαμενή δυναμικής ενέργειας. Στο ανώτερο τμήμα του φράγματος, ανοίγει μια πύλη νερού (θυροφράκτης) για να το αφήσει να ξεχυθεί με ορμή μέσω μιας σήραγγας που οδηγεί στους στροβίλους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (turbines). Το νερό γυρίζει τους στροβίλους που περιστρέφουν στη συνέχεια τις γεννήτριες για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια φέρεται μέσω των καλωδίων οπουδήποτε απαιτείται.



Εικ. 1.6: Το φράγμα GRAND COULEE. Σκοποί: Υδροηλεκτρική ενέργεια, Άρδευση & Έλεγχος πλημμυρών.



Εικ. 1.7: Απλοποιημένη τυπική διατομή φράγματος υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Ιστορία: Η υδροηλεκτρική δύναμη βρίσκεται στο προσκήνιο για ένα πολύ μακροχρόνιο διάστημα έως σήμερα. Ο Αντίπατρος, ένας Έλληνας ποιητής, ανέφερε την χρήση ορμητικά ρέοντος νερού για παραγωγή ενέργειας στις γραφές του κατά τον 4ο αιώνα Π.Χ.. Οι Ρωμαίοι χρησιμοποίησαν τον υδρόμυλο για παραγωγή ενέργειας. Στις 30 Σεπτεμβρίου του 1882, στο Appleton του Wisconsin, κάποιο ορμητικά ρέον νερό παρήγαγε για πρώτη φορά ηλεκτρική ενέργεια. Από αυτήν την υποτυπώδη αρχική συμβολή στη σύγχρονη επιστήμη, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ανήλθε στο αστρονομικό μέγεθος των 2.044 δισεκατομμυρίων kilowatt παγκοσμίως. Το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό συγκρότημα στον κόσμο βρίσκεται στον ποταμό του Παναμά, μεταξύ της Παραγουάης και της Βραζιλίας. Ονομάζεται φράγμα Itaipu, και οι 18 στρόβιλοι (turbines) παράγουν 12.600 megawatts ηλεκτρικής ενέργειας ! Αυτή η ενέργεια είναι αρκετή για να φωτίσει συγχρόνως 120 εκατομμύρια λαμπτήρες 100 Watt, που θεωρείται πολλή ενέργεια.

Θέματα σχεδιασμού και προβλήματα: Οι κύριοι λόγοι που τα υδροηλεκτρικά φράγματα δεν εμφανίζονται σε όλες τις περιοχές είναι ότι είναι πολύ δαπανηρά και απαιτούν μεγάλους όγκους συγκράτησης νερού σε σχετικά κοντινά σημεία κατοικημένων περιοχών. Σύμφωνα με στοιχεία της Παγκόσμιας Τράπεζας, οι «αναπτυσσόμενες χώρες θα πρέπει να εξασφαλίσουν κονδύλια της τάξης των 150 δισεκατομμυρίων Ευρώ (€) μέχρι το έτος 2010 για υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις που αυτήν την περίοδο βρίσκονται στο στάδιο του προγραμματισμού....». Απαιτούνται μεγάλοι όγκοι συγκράτησης νερού για αυτά τα είδη φραγμάτων επειδή μόνο τα φράγματα μεγάλης κλίμακας μπορούν να αποπληρώσουν και να αποσβέσουν την πολύ υψηλή επενδυόμενη δαπάνη κατασκευής τους πιο γρήγορα από τα μικρότερα φράγματα.

Ένα άλλο πρόβλημα που προκύπτει είναι η επίδραση των φραγμάτων στα οικοσυστήματα των ποταμών. Πολλοί ποταμοί, πριν από την κατασκευή φραγμάτων, απέθεταν με τις πλημμύρες τους ιλύ και άμμο και δημιουργούσαν στα κατάντη τους αποθέσεις τύπου δέλτα και σχετικά οικοσυστήματα. Τα φράγματα όμως βάζουν τέλος σε αυτές τις πλημμύρες και επιτρέπουν στη βλάστηση να αναπτυχθεί και να φράξει την κατάντη ζώνη του ποταμού. Το γεγονός αυτό εξαφανίζει πολλά διαφορετικά είδη ψαριών που ζουν σε αυτές τις περιοχές. Επίσης, εάν αναμιχθούν χημικές ουσίες ή πετρέλαια με το νερό μέσω των υδροστροβίλων, μπορεί να πεθάνουν τα ζώα που ζουν στις κατάντη περιοχές. Ένα

άλλο πρόβλημα υπάρχει και κατά τον προγραμματισμό των μεγάλων φραγμάτων. Τα μεγάλα φράγματα απαιτούν μεγάλες περιοχές απαλλοτρίωσης. Πολλοί άνθρωποι θα πρέπει να εκκενωθούν και να εγκαταλείψουν αυτές τις περιοχές απαλλοτρίωσης εντός μιας περιόδου μόνο μερικών εβδομάδων, δημιουργώντας έτσι κοινωνικά προβλήματα.

1.1.5. Τα σημαντικότερα φράγματα στην Ευρώπη.

Στην συνέχεια αναφέρονται επιγραμματικά και πινακοποιημένα (πίνακας 1.1) τα σημαντικότερα φράγματα, με ύψος πάνω από 60 m, που βρίσκονται υπό κατασκευή στην Ευρώπη, σύμφωνα με στοιχεία του 1999.

Πίνακας 1.1: Τα σημαντικότερα φράγματα στην Ευρώπη.

ΧΩΡΑ	ΟΝΟΜΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	ΟΝΟΜΑ ΠΟΤΑΜΟΥ	ΥΨΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ (m)
Βοσνία-Ερζεγοβίνη	Konic		87
Ελλάδα	Ιλαρίωνος Ευήνου	Αλιάκμονας Εύηνος	130 124
Ιταλία	Castagnara / Metramo Menta Monte Nieddu Archichiario	Metramo Menta	99 90 87 62
Φ.Υ.Ρ.Ο.Μ.	Kozjak, Lisice	Treska Topolka	126 66
Πορτογαλία	Alqueva	Guadiana	96
Ρουμανία	Gura Apelor Poiana - Marului Rastolita Vaja Runcu Poiana Rusca Ciresu Cornereva	Raul Mare Bistra Marului Rastolita Bistrita Mara Paraul Rece Basca Mare Belareca	168 125 105 93 90 75 63 62
Ισπανία	Rules Itoiz Llosa del Cavall La Aguzadera Enciso Rialb Val Casasola Giribaile Montearagon Iruena Cigudosa Puentes II	Gudalfeo Irati Cardoner Aguzadera Cidacos Segre Val Campanillas Guadalimar Flumen Agueda Alhama Luchena	130 128 122,3 104,5 103,5 99 94 89 89 78 89 65,5 62
Γιουγκοσλαβική Συνομοσπονδία	Prvonek Rovni Selova	Banistica Jablanica Toplica	90 75 70

1.2 Ευθύνες του γεωλόγου και του μηχανικού (Μελετητή και Κατασκευαστή).

Οι ευθύνες του μηχανικού ή της ομάδας μάλλον των εμπλεκόμενων μηχανικών (υδραυλικού, γεωτεχνικού, γεωλόγου, στατικού, μηχανικού γεωτεχνολογίας, κλπ.) στην μελέτη, κατασκευή και συντήρηση ενός φράγματος, είναι πρωτίστως στα θέματα της ασφάλειας του έργου. Η ομάδα των αρμόδιων μηχανικών πρέπει να ενεργήσουν με την απαιτούμενη ακεραιότητα και υπευθυνότητα και να δώσει την οφειλόμενη προσοχή στο σκοπό του έργου και κυριότερα στα τελικά αποτελέσματα και στις επιπτώσεις που μπορεί να έχει το έργο στα ανθρώπινα όντα.

Συγχρόνως οι διαφόρων ειδικοτήτων μηχανικοί είναι αρμόδιοι και υπεύθυνοι στην κοινωνία μας για το τελικό κόστος της κατασκευής. Επειδή δε, υπάρχει πάντα ένα όριο στη χρηματοδότηση ενός έργου, δεν θα πρέπει για κανένα απολύτως λόγο οποιαδήποτε περικοπή λόγω κόστους στο έργο να θυσιάζεται κατά της ασφάλειάς του.

Οι διαφόρων ειδικοτήτων μηχανικοί φέρνουν επίσης και μια νομική ευθύνη, και θα πρέπει να είναι πάντα υπεύθυνοι τόσο για το τι κάνουν όσο και για το τι λένε.

1.2.1. Συνέπειες μίας αστοχίας.

Οι αστοχίες στα έργα των φραγμάτων συμβαίνουν συνήθως με μία τρομερή ταχύτητα και συνήθως χωρίς την παραμικρή προειδοποίηση, με τη δυνατότητα να προκληθούν καταστροφές ακόμα και στην κλίμακα του εθνικού επιπέδου.

Όταν το φράγμα Oros (Oros Dam) στη Βραζιλία αστόχησε τον Μάρτιο του 1960, κάπου 30 με 50 άνθρωποι χάθηκαν και 100.000 άνθρωποι απομακρύνθηκαν, περίπου 730 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού απελευθερώθηκαν μέσα στις επόμενες 34 ώρες με μια μέγιστη πλημμυρική παροχή (ροή) αιχμής της τάξεως των 9.600 κυβικών μέτρων ανά δευτερόλεπτο!

Επιπλέον στην συνέχεια, για χάρη λακωνικότητας (1 φωτογραφία = 1.000 λέξεις), απεικονίζονται φωτογραφικά τα διάφορα στάδια της τρομερής και ιστορικής καταστροφής που συνέβη στην πόλη του Longarone παραπλεύρως του ορεινού όγκου Τος, όταν το ανάντη αυτής φράγμα Vajont, αστόχησε ξαφνικά κατά την διάρκεια της νύχτας τον Οκτώβριο του 1963.



Εικ. 1.8: Το φράγμα Vajont κατά την διάρκεια πλήρωσης της λεκάνης κατάκλισής του (ταμιευτήρα). Στο μέσον της απόστασης, στο κέντρο της φωτογραφίας, βρίσκεται το ύψωμα Τος με το ασταθές πρηνές όπου διακρίνεται η λευκή «ρωγή εφελκυσμού» στο μέτωπο του ορεινού όγκου ακριβώς επάνω από την επιφάνεια του νερού.



Εικ. 1.9: Κατά την διάρκεια της πλήρωσης με νερό της λεκάνης κατάκλισης (ταμιευτήρα) του φράγματος Vajont, ο πόδας (βάση) του μετώπου του πρανούς του ορεινού όγκου Τος βυθίστηκε και αυτό προκάλεσε την κατολίσθηση. Το «βουνό» με τα υλικά κατολίσθησης διακρίνονται στο κεντρικό τμήμα της φωτογραφίας. Η εξαιρετικά γρήγορη κάθοδος των υλικών της κατολίσθησης εκτόπισε το νερό στον ταμιευτήρα προκαλώντας ένα τεράστιο κύμα ύψους 100 m που πήδηξε τον τοξωτό τοίχο από σκυρόδεμα του φράγματος και παροχετεύτηκε προς τα καπάντη. Ο τοξωτός τοίχος του φράγματος από σκυρόδεμα, όπως φαίνεται μπροστά στην φωτογραφία, έμεινε σχεδόν άθικτος.



Εικ. 1.10: Αποψη της πόλης του Longarone, που τοποθετείται καπάντη του φράγματος Vajont, πριν από την αστοχία του ορεινού όγκου Τος τον Οκτώβριο του 1963.



Εικ. 1.11: Άποψη των «ερείπων» της πόλης του Longarone, αμέσως μετά από την πλημμύρα που προκλήθηκε από υπερπήδηση του νερού από τον τοξωτό τοίχο του φράγματος από σκυρόδεμα σαν αποτέλεσμα της αστοχίας και της ταχύτατης καθόδου των υλικών κατολίστησης του ορεινού όγκου Τος. Περισσότεροι από 2.000 άνθρωποι έχασαν την ζωή τους από την πλημμύρα.

1.2.2. Στατιστική προσέγγιση - Ταξινόμηση του κινδύνου σύμφωνα με τον Gruner.

45%	Υδραυλικές Συνθήκες
30%	Τύπος δομής και κατασκευής
7%	Γεωλογικές – Γεωτεχνικές Συνθήκες
6%	Περιβάλλον
6%	Άλλες Συνέπειες

Πίνακας 1.2: Βασισμένος σε στοιχεία μίας έκθεσης της Διεθνούς Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων του 1965.

	Αριθμός περιστατικών						Σύνολο
	Τοξωτά	Αντηριδωτά	Βαρύτητας	Χωμάτινα	Λιθόριπτα	Άλλα	
Έρευνα πεδίου	9	5	6	49	2	1	72
Υλικά	1	-	2	8	-	-	11
Διάταξη	-	1	4	17	3	-	25
Σχεδιασμός	4	6	13	48	3	2	76
Κατασκευή	1	1	2	32	5	-	41
Λειτουργία	-	-	-	5	1	-	6
Επίβλεψη	1	1	-	3	-	-	5
Σύνολα	16	14	27	162	14	3	236

1.3. Σχεδιασμός

1.3.1. Υδάτινοι πόροι - Εθνικές και Διεθνείς Διαστάσεις

Το νερό είναι πιθανώς για την ανθρωπότητα το πιο ζωτικής σημασίας προϊόν, η βέλτιστη και ορθολογική χρήση του οποίου θα είναι πρωταρχικής σπουδαιότητας στον επεκταμένο πολιτισμό μας. Ο χωροχρονικός σχεδιασμός και προγραμματισμός του επομένως είναι ουσιαστικότερος σε μια ευρεία γεωγραφικά κλίμακα, πέρα από τα στενά όρια ενός έθνους, καθώς και κατά τη διάρκεια μιας πολύ μακριάς χρονικής περιόδου. Το μέγιστο εμπόδιο είναι συνήθως το απρόσιτο ή η μη διαθεσιμότητα της χρηματοδότησης για τις απαραίτητες εμπειριστατωμένες έρευνες.

Θα ήταν επιθυμητό από την άποψη της εφαρμοσμένης μηχανικής και της τεχνολογίας να ξενικά η ανάπτυξη και αξιοποίηση των υδάτινων πόρων πρώτα από την υψηλή ζώνη μίας υδρολογικής λεκάνης ενός ποταμού και σταδιακά κατόπιν να προοδεύει προς τα κατάντη τμήματα. Αυτό θα βελτιώνει την ποιότητα καθώς και θα διευκόλυνε βαθμιαία τον αυξανόμενο έλεγχο της παροχής του ποταμού και θα χαμήλωνε ταυτόχρονα και το κόστος των κατάντη έργων αξιοποίησης. Εντούτοις υπάρχει συνήθως λιγότερο υδρολογικό – υδραυλικό δυναμικό στα ανάντη της υδρολογικής λεκάνης, δυσκολότερη πρόσβαση και ως εκ τούτου υψηλότερες δαπάνες κατασκευής, με συνέπεια ο τελικός λόγος (αναλογία) οφέλους / κόστους να γίνεται γενικά χαμηλότερος.

Παραδείγματος χάριν το φράγμα Hoover, που χρησιμοποιείται για να αποτρέψει ή και να διευθετήσει τις πλημμύρες, να παραγάγει ηλεκτρική ενέργεια και να παρέχει άρδευση, έχει δύο ισχυρότατους υπερχειλιστές, οι οποίοι λόγω των ακόλουθων της κατασκευής του φράγματος αυτού αναπτύξεων και αξιοποιήσεων των υδατικών πόρων της ίδιας υδρολογικής λεκάνης προς τα ανάντη του φράγματος αυτού πιθανώς δεν θα χρησιμοποιηθούν ποτέ, οδηγώντας σε υπερβολικές δαπάνες. Τέτοια φαινόμενα είναι αναπόφευκτα όταν και όπου αναπτύσσεται μόνο ένα μέρος ενός συστήματος ποταμών μιας υδρολογικής λεκάνης, δηλ. όταν η οικονομία απαιτεί να αξιοποιούνται πρώτα οι «καλύτερες» θέσεις κατασκευής φραγμάτων, οδηγώντας σε αυτό που λέμε κατά κάποιον τρόπο ως «ληστρική εκμετάλλευση».

Σε μια μεγαλύτερη κλίμακα, οι σημαντικότεροι ποταμοί του κόσμου διαμορφώνουν συχνά τα διεθνή σύνορα μεταξύ παρακείμενων χωρών ή πηγάζουν σε μια χώρα και απορρέουν μέσω διάφορων άλλων. Επομένως θα μπορούσαν παραδείγματος χάριν να υπάρξουν διεθνείς συμφωνίες ή συμβάσεις μεταξύ των χωρών από την άποψη του σεβασμού της χρήσης ενός ποταμού. Για την ικανοποιητική λοιπόν κατανομή των δαπανών θα πρέπει πρώτα να εξελιχθεί και να γίνει αποδεκτό ένα βασικό ορθολογικό πρόγραμμα με σκοπό την πλήρη ανάπτυξη μιας υδρολογικής λεκάνης και των ποταμών της.

1.3.2. Χρησιμότητα του Ταμιευτήρα

1.3.2.1. Ταμιευτήρες μοναδικού σκοπού

Όταν ο σκοπός κατασκευής του είναι κυρίως για τη βιομηχανία, όπως π.χ. για την εκμετάλλευση μεταλλείων όπου η ζωή του φράγματος εξαρτάται από τα αποθέματα των ορυχείων, ή για την παροχή υδρευτικού νερού μιας πόλης ή για σκοπούς αναψυχής και χαλάρωσης-ομορφιάς, κλπ.

1.3.2.2. Ταμιευτήρες πολλαπλού σκοπού.

Όταν ο σκοπός κατασκευής του είναι κυρίως για πολλούς σκοπούς ταυτόχρονα, όπως αναφέρονται ενδεικτικά παρακάτω.

1. Παροχή νερού (απαιτεί έναν υψηλό ταμιευτήρα),

2. Άρδευση,
3. Κατακράτηση ιλύος,
4. Μεταφορά,
5. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,
6. Αναψυχή και χαλάρωση-ομορφιά (απαιτεί μία σταθερής στάθμης επιφάνεια στον ταμιευτήρα),
7. Διευθέτηση πλημμυρών (απαιτεί έναν χαμηλό ταμιευτήρα).

1.3.3. Διάρκεια ζωής ενός φράγματος

Πολλά φράγματα παγκοσμίων υπάρχουν που είναι άνω των 1000 ετών. Τα φράγματα βαρύτητας και τα λιθόριπτα θα πρέπει να έχουν τις προϋποθέσεις για μεγάλη δομική διάρκεια ζωής, ενώ τα λεπτά τοξωτά φράγματα, τα φράγματα πολλαπλών θόλων ή τόξων, ή τα αντηριδωτά φράγματα έχουν πιο περιορισμένη διάρκεια ζωής, ειδικά εάν αυτά αποταμιεύουν όξινο ή επιθετικό για τα αλκάλια του σκυροδέματος νερό.

Είναι σύνηθες το γεγονός της χρηματοδότησης της οικοδόμησης ενός φράγματος σε μία ανταποδοτική βάση επιστροφής του κόστους του (της απόσβεσης της επένδυσής του) σε χρονικό διάστημα πάνω από 50 με 60 χρόνια. Μετά από αυτή την χρονική περίοδο το μόνο κόστος θα είναι αυτό της συντήρησής του. Η διάρκεια ζωής ενός φράγματος μπορεί επίσης να προβλεφθεί και από την ποσότητα της ιλύος και λάσπης που εισέρχεται στον ταμιευτήρα από τον ποταμό (εισερχόμενη στον ταμιευτήρα στερεοπαροχή), δεδομένου ότι ο ταμιευτήρας χάνει την χωρητικότητά του. Είναι δυνατό να αυξηθεί το ύψος και η χωρητικότητα ενός φράγματος με προσθήκη και ενίσχυσή του, αλλά και με ιδιαίτερα υψηλά έξοδα.

Στην συνέχεια δίδονται τα αποτελέσματα από κάποια παραδείγματα υπολογισμού της διάρκειας ζωής κάποιων ταμιευτήρων - φραγμάτων στα Λευκά Όρη (Snowy Mountains Project) λόγω πρόσχωσής τους από ιλύ και λάσπη, δηλαδή λόγω εισερχόμενης στον ταμιευτήρα στερεοπαροχής (πίνακας 1.3).

Πίνακας 1.3:

Όνομα Ταμιευτήρα	Εκτιμώμενα έτη ζωής λόγω πρόσχωσής του με ιλύ-λάσπη.
Eucumbene	10.000
Tantangara	10.000
Λίμνη Tumut	4.000
Tooma	4.000

Ακολουθώντας δίδεται ένα παράδειγμα όπου παρουσιάζεται η αναλυτική διαδικασία και η μεθοδολογία υπολογισμού της στερεοπαροχής διάφορων υδρολογικών λεκανών με σκοπό την εκτίμηση της διάρκειας ζωής ενός ταμιευτήρα λόγω πλήρωσής του από την πρόσχωση που θα υποστεί από την εισερχόμενη από τα ποτάμια ή τα ρέματα των υδρολογικών λεκανών αργιλοίλυ και λάσπη (στερεοπαροχή).

1.3.4. Παράδειγμα Υπολογισμού Στερεοπαροχής των Υδρολογικών Λεκανών Μάνδρας και Ελευσίνας (Σαρανταπόταμου)

Ο ακριβής υπολογισμός της διαχρονικής στερεοπαροχής, που ορίζεται σαν την ποσότητα των φερτών υλικών ανά μονάδα χρόνου, θα απαιτούσε μακροχρόνιες παρατηρήσεις και στοιχεία συστηματικών υπαίθριων μετρήσεων. Δυστυχώς, στοιχεία τέτοιου είδους δεν υφίστανται συνήθως σε μία εξεταζόμενη περιοχή λεκανών απορροής

ενός μελετώμενου φράγματος. Συνεπώς, στην ενότητα αυτή θα περιορισθούμε στον εκτιμητικό υπολογισμό (Ντετερμινιστική μέθοδος) της αναμενόμενης στερεοπαροχής φερτών υλικών των εξεταζόμενων λεκανών της Μάνδρας και Ελευσίνας ως παράδειγμα, χρησιμοποιώντας και εφαρμόζοντας έμμεσες - συγκριτικές μεθόδους που βασίζονται αρχικά στην ανάλυση όλων εκείνων των δεδομένων και παραγόντων που επιδρούν καθοριστικά στη διαμόρφωση της στερεοπαροχής ενός υδατορέματος μιας λεκάνης απορροής, και στη συνέχεια, σε μαθηματικές εξισώσεις προσομοίωσης (μοντέλα) που συσχετίζουν τους διάφορους αυτούς παράγοντες, και τελικά καταλήγουν με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού (R^2), στον κατ' εκτίμηση υπολογισμό της αναμενόμενης στερεοπαροχής των εξεταζόμενων αυτών λεκανών απορροής.

Οι παράγοντες που καθοριστικά επηρεάζουν την στερεοπαροχή μιας λεκάνης είναι:

- α) Οι υδρολογικοί παράμετροι
- β) Οι κλιματικοί παράμετροι,
- γ) Οι τοπογραφικοί παράμετροι, και
- δ) Οι γεωλογικοί παράμετροι.

Οι Δ. Κουτσογιάννης - Κ. Τάρλα (1987) μετά από εργασία τους στην ύπαιθρο, εκτελώντας μετρήσεις και παρατηρήσεις επί των παραπάνω αναφερόμενων παραμέτρων σε διάφορες υδρολογικές λεκάνες στην Ελλάδα, κατέληξαν με οπισθανάλυση και στατιστικές επεξεργασίες και μεθοδολογίες, σε ένα μαθηματικό προσομοίωμα (μοντέλο) που συσχετίζει όλες τις μεταβλητές και παραμέτρους, και που τελικά προσδιορίζει την αναμενόμενη στερεοπαροχή μιας λεκάνης.

Η τελική μαθηματική αυτή σχέση που προσδιορίζει την αναμενόμενη στερεοπαροχή (G) είναι η ακόλουθη:

$$G = C_2 \times \gamma \times e^{(n \times p)}$$

$$\text{ή } G/\gamma = C_2 \times e^{(n \times p)},$$

εάν $G_1 = G/\gamma$ (μέγεθος που ονομάζεται ειδική στερεοπαροχή).

$$\text{τότε: } G_1 = C_2 \times e^{(n \times p)} \quad (1)$$

Η εξίσωση (1) αποτελεί την μορφή της μαθηματικής έκφρασης της ειδικής στερεοπαροχής.

Οι σταθερές C_2 , ή της παραπάνω σχέσης, υπολογίσθηκαν, από τους ερευνητές, με απευθείας εκθετική παλινδρόμηση ανάμεσα στις μεταβλητές G_1 και p και τελικά προέκυψε:

$$G_1 = 15 \times e^{[(3 \times p)/1000]} \quad (2)$$

με συντελεστή συσχέτισης (R) ίσο με 0.986. Επιλύνοντας την παραπάνω σχέση (2) ως προς G και εκφράζοντας την βροχόπτωση (p) σε μέτρα (m), έχουμε την τελική έκφραση της στερεοπαροχής:

$$G = 15 \times \gamma \times e^{(3 \times p)} \quad (3)$$

όπου:

G = μέση ετήσια στερεοπαροχή σε (t/Km²),

p = μέσο ετήσιο ύψος βροχής σε (m), και

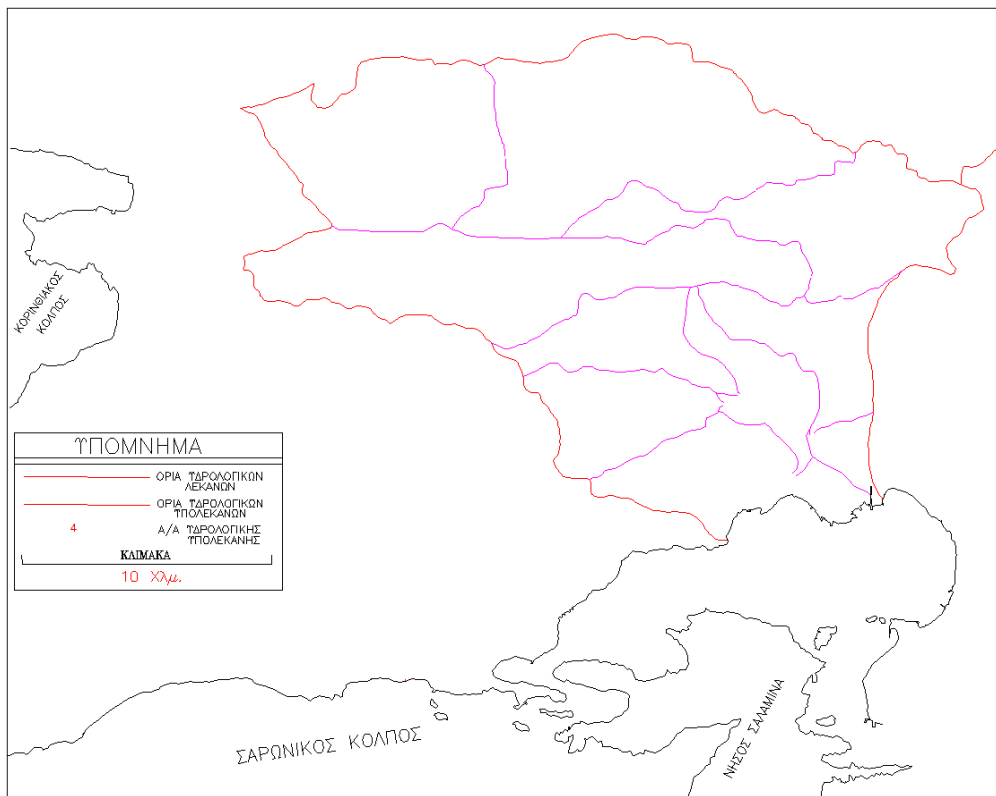
γ = γεωλογικός συντελεστής, που ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\gamma = K_1 \times p_1 + K_2 \times p_2 + K_3 \times p_3 \quad (4)$$

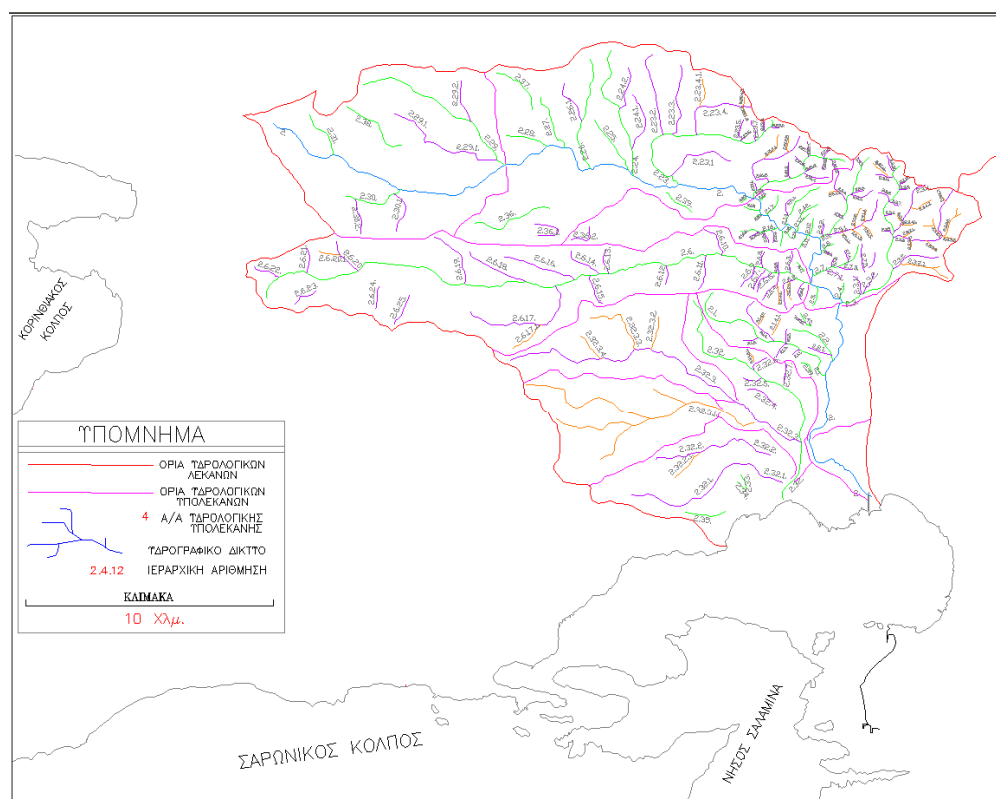
όπου:

K_1, K_2, K_3 : συντελεστές διαβρωσιμότητας, των τριών βασικών κατηγοριών πετρωμάτων.
 p_1, p_2, p_3 : οι αντίστοιχες αναλογίες της έκτασης στην οποία εμφανίζεται η κάθε κατηγορία πετρωμάτων, προς τη συνολική έκταση της λεκάνης, όπως προκύπτουν από την γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής της μελέτης.

Στα παρακάτω σχέδια (εικ. 1.12, εικ. 1.13) παρουσιάζονται οι εξεταζόμενες υδρολογικές λεκάνες και υπολεκάνες απορροής της εξεταζόμενης περιοχής, καθώς και το υδρογραφικό τους δίκτυο με την ιεραρχική του αρίθμηση.

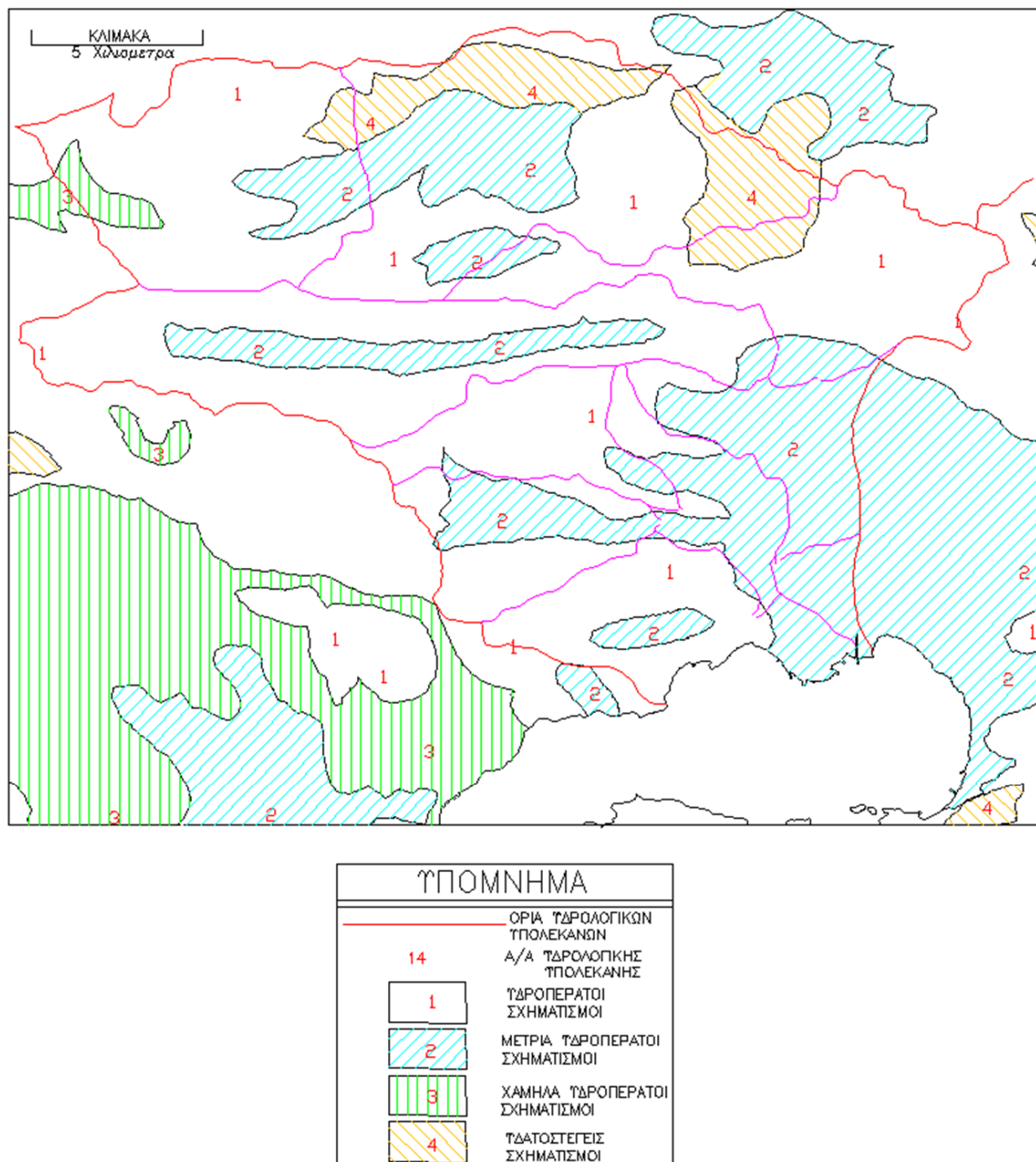


Εικ. 1.12: Οι Υδρολογικές υπολεκάνες του ποταμού Σαρανταπόταμου.



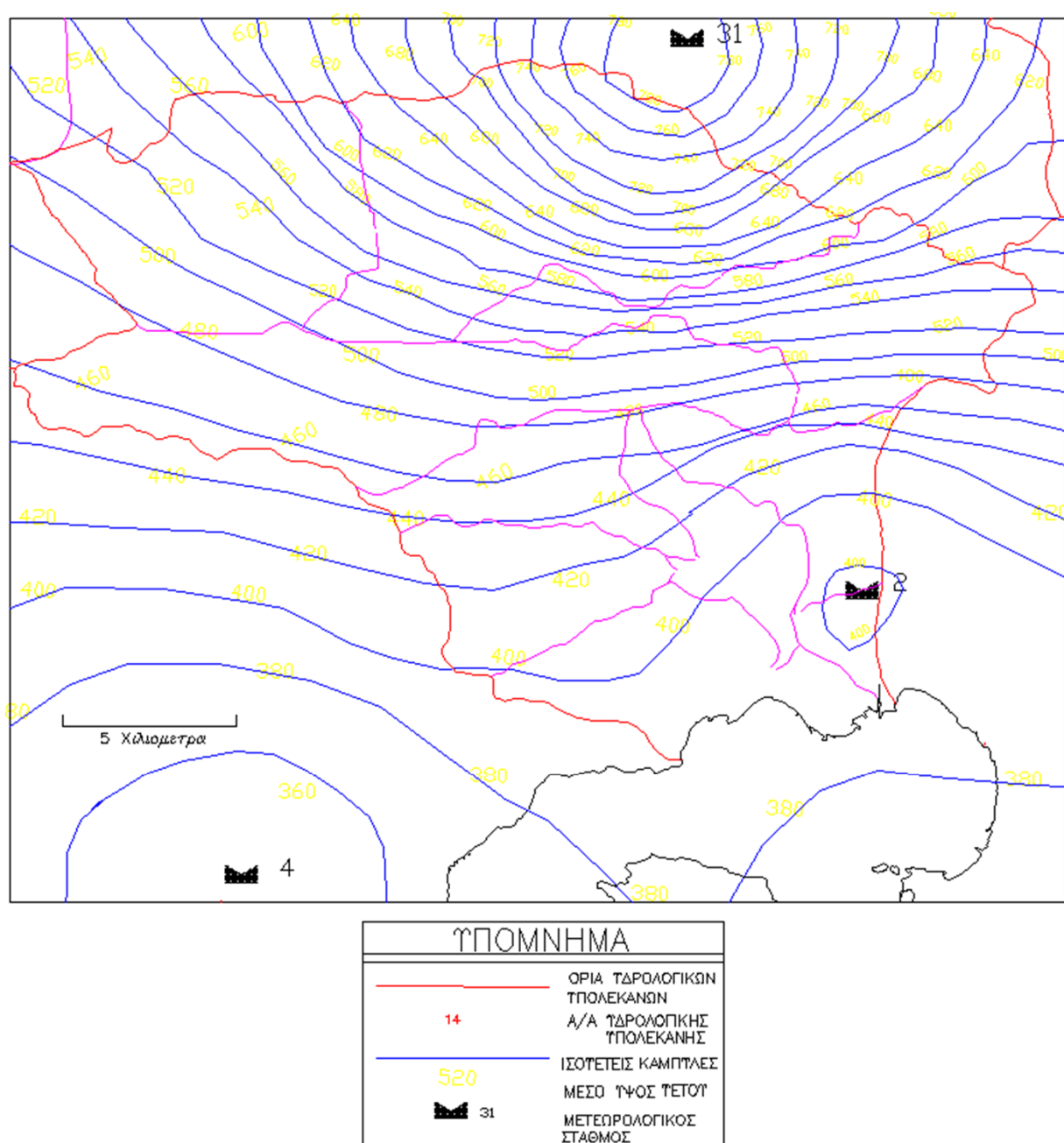
Εικ. 13: Το Υδρογραφικό Δίκτυο του ποταμού Σαρανταπόταμου με την ιεραρχική του αρίθμηση.

Στο παρακάτω σχέδιο (εικ. 1.14) παρουσιάζονται οι εξεταζόμενες υδρολογικές λεκάνες και υπολεκάνες απορροής της εξεταζόμενης περιοχής, μαζί με την υδρολιθολογική ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών της ευρύτερης λεκάνης Σαρανταπόταμου. Από την χαρτογράφηση αυτή προκύπτουν και στοιχεία σχετικά με την διαβρωσιμότητα των γεωλογικών σχηματισμών της εξεταζόμενης λεκάνης.



Εικ. 1.14: Η Υδρολιθολογική Ταξινόμηση των Γεωλογικών σχηματισμών στην λεκάνη του ποταμού Σαρανταπόταμου.

Στο παρακάτω σχέδιο (εικ. 1.15) παρουσιάζεται ο βροχομετρικός χάρτης της εξεταζόμενης ευρύτερης λεκάνης Σαρανταπόταμου από τον οποίο προκύπτει το μέσο ετήσιο ύψος βροχής της εξεταζόμενης λεκάνης.



Εικ. 1.15: Βροχομετρικός χάρτης του Σαρανταπόταμου. Μέση Ετήσια Βροχόπτωση. Από στοιχεία 33 Βροχομετρικών σταθμών της Αττικής.

Με βάση τις παραπάνω χαρτογραφήσεις και σχέδια ταξινομήθηκαν στις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής τα διάφορα πετρώματα του υποβάθρου στις τρεις βασικές κατηγορίες διαβρωσιμότητας και στον ακόλουθο πίνακα 1.4, παρουσιάζεται η έκταση της κάθε κατηγορίας ανά υπολεκάνη. Για την κάθε κατηγορία των πετρωμάτων αυτών ο συντελεστής διαβρωσιμότητας είναι: K_1 ίσος με 1, K_2 ίσος με 0.5 και K_3 ίσος με 0.1 αντίστοιχα.

Πίνακας 1.4: Η έκταση των τριών βασικών κατηγοριών διαβρωσιμότητας των πετρωμάτων και ο μέσος γεωλογικός συντελεστής των υπολεκάνων του Σαρανταπόταμου.

Υποθετική Εξεταζόμενη Λεκάνη	Υψηλής διαβρωσι- μότητας πετρώματα (K_1) σε m^2	Μέτριας διαβρωσιμότητας πετρώματα (K_2) σε m^2	Χαμηλής διαβρωσιμότητας πετρώματα (K_3) σε m^2	Μέσος Γεωλογικός συντελεστής υπολεκάνης (γ)
Σ1	9.772.282	8.652.541	32.472.477	0,341
Σ2	34.908.370	30.028.706	60.182.531	0,447
Σ3	15.434.812		48.610.053	0,317
Σ4	58.310.087	33.220.488	140.780.530	0,383
Σ5	78.455.136	33.220.488	141.180.530	0,432
Σ6	8.478.592		13.658.723	0,445
Σ7	1.564.221		18.750.331	0,169
Σ8	21.950.692		35.662.672	0,443

Επομένως, με βάση τη σχέση (4), υπολογίστηκε ο μέσος γεωλογικός συντελεστής της κάθε ερευνώμενης υπολεκάνης. Ο συντελεστής αυτός φαίνεται στον παραπάνω πίνακα.

Από τα στοιχεία της παρούσας έρευνας, ισχύουν τα παρακάτω:

- 1) Η έκταση της κάθε υπολεκάνης απορροής υπολογίστηκε με εμβαδομέτρηση του παραπάνω σχεδίου των ορίων των υπολεκάνων και παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα 1.5.
- 2) Η μέση ετήσια βροχόπτωση στις εξεταζόμενες υπολεκάνες προκύπτει από τον παραπάνω βροχομετρικό χάρτη από τον οποίο υπολογίζεται ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής της συνολικής εξεταζόμενης λεκάνης του Σαρανταπόταμου είναι ίση με 374,5 mm ή 0,3745 m. (Σταθμός Ελευσίνας, στοιχεία Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, έτη παρατήρησης: 1958 έως 1992).

Πίνακας 1.5: Έκταση των Υδρολογικών λεκανών απορροής Μάνδρας και Ελευσίνας

ΟΝΟΜΑ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ (m^2)
Σ1	50.897.300
Σ2	125.119.607
Σ3	64.044.865
Σ4	232.311.105
Σ5	252.856.154
Σ6	22.137.315
Σ7	20.314.552
Σ8	57.613.364

Εφαρμόζοντας την σχέση (3) καταλήγουμε στο υπολογισμό της μέσης ετήσιας στερεοπαροχής (φερτά υλικά ανά έτος), G , σε (t/Km^2) και πολλαπλασιάζοντας επί την έκταση της κάθε υπολεκάνης, σε τόνους. Η μέση ετήσια στερεοπαροχή της κάθε υπολεκάνης φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα 1.6. Στον ίδιο πίνακα δίδεται και το

αντίστοιχο της στερεοπαροχής σε όγκο, εκφραζόμενο σε κυβικά μέτρα ανά χρόνο. (Για τον υπολογισμό λαμβάνεται μέση σχετική πυκνότητα πετρωμάτων, $d = 2,5 \text{ gr/cm}^3$).

Πίνακας 1.6: Η μέση ετήσια στερεοπαροχή των εξεταζόμενων λεκανών.

Λεκάνη	Βάρος μέσης ετήσιας στερεο- παροχής λεκάνης σε (ton)	Όγκος μέσης ετήσιας στερεο- παροχής λεκάνης σε (m^3)
Σ1	800,2	320,1
Σ2	2580,8	1032,3
Σ3	936,3	374,5
Σ4	4105,9	1642,3
Σ5	5037,1	2014,8
Σ6	454,2	181,7
Σ7	158,7	63,5
Σ8	1177,2	470,9

Ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας 1.7, δείχνει όλα τα επιμέρους στοιχεία και παραμέτρους υπολογισμού της στερεοπαροχής όλων των ερευνώμενων υδρολογικών λεκανών Μάνδρας και Ελευσίνας.

Εάν υποθέσουμε ότι προτιθέμεθα να κατασκευάσουμε ένα φράγμα την τελική έξοδο της συνολικής λεκάνης απορροής του Σαρανταπόταμου τότε τα φερτά στερεά υλικά (στερεοπαροχή), όπως υπολογίζονται παραπάνω, θα κατακλύζουν την λεκάνη κατάκλισης ή ταμιευτήρα του φράγματος και θα την προσχώνουν ετησίως με μία ποσότητα της τάξης των 15.250,40 τόνων φερτών υλικών ανά έτος, που αντιστοιχεί σε $6.100,10 \text{ (m}^3\text{)}$ το χρόνο. Η τιμή αυτή πολλαπλασιάζεται επί τον συντελεστή του επιπλήσματος που ισούται με 1,8, λόγω των κενών που δημιουργούνται μεταξύ των φερτών υλικών, και προκύπτει συνολικός όγκος φερτών υλικών ίσος με $10.980,18 \text{ (m}^3\text{)}$ το χρόνο.

Συνεπώς στον ταμιευτήρα θα συγκεντρώνονται 15.250,40 τόνοι ή $10.980,18 \text{ (m}^3\text{)}$ φερτών υλικών ανά έτος.

Εάν υποθέσουμε ότι η χωρητικότητα του ταμιευτήρα του φράγματος σε νερό θα ανέρχεται σε $1.000.000 \text{ m}^3$ περίπου, τότε με βάση την παραπάνω υπολογισθείσα ετήσια στερεοπαροχή ($10.980,18 \text{ m}^3$), η λεκάνη κατάκλισης του ταμιευτήρα που προτείνεται να δημιουργηθεί με την κατασκευή του φράγματος, θα επιχωματωθεί πλήρως σε 99 περίπου χρόνια.

Εκφράζοντας τα παραπάνω διαφορετικά, προκύπτει ότι για να επιχωματωθεί το 1% του εκμεταλλεύσιμου όγκου σε νερό του ταμιευτήρα, απαιτείται ένας περίπου χρόνος.

Ο ρυθμός αυτός επιχωμάτωσης λόγω φερτών στερεών υλικών μπορεί να θεωρηθεί, σε σχέση με την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής του έργου, αρκετά μεγάλος και συνεπώς θεωρείται σκόπιμο να εκτελεσθούν ειδικά έργα συγκράτησης των φερτών υλικών ώστε να αποτραπεί η γρήγορη επιχωμάτωση αυτή του ταμιευτήρα.

Τέλος, η παραπάνω τιμή του μέσου ετήσιου συνολικού όγκου φερτών υλικών αποτελεί βασική παράμετρο υπολογισμού και διαστασιολόγησης για την κατασκευή κατάλληλης τάφρου συγκράτησης των φερτών υλικών (βραχοπαγίδας) ώστε να αποτραπεί η επιχωμάτωση του ταμιευτήρα του εξεταζόμενου φράγματος. Να σημειωθεί ότι η τάφρος συγκράτησης των φερτών υλικών θα πρέπει να είναι προσπελάσιμη ώστε και καθαρίζεται από τα συγκεντρωθέντα φερτά υλικά σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Πίνακας 1.7: Συγκεντρωτικός πίνακας υπολογισμού της Στερεοπαροχής των Υδρολογικών λεκανών Μάνδρας και Ελευσίνας.

ΟΝΟΜΑ ΥΠΟΛΕ- ΚΑΝΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ ΥΔΡΟ- ΛΟΓΙΚΗΣ ΥΠΟΛΕ- ΚΑΝΗΣ (m ²)	Πετρώματα Υψηλής Διαβρωσι- μότητας	Πετρώματα Μέτριας Διαβρωσι- μότητας	Πετρώματα Χαμηλής Διαβρωσι- μότητας	Γεωλογικός Συντελεστής λεκάνης (γ)	Μέσο Ετήσιο Ύψος Βροχής	Μέση Σχετική Πυκνότητα Πετρωμάτων	Βάρος μέσης ετήσιας στερεοπαροχής λεκάνης	Όγκος μέσης ετήσιας στερεοπαροχής λεκάνης
		(K ₁) ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	(K ₂) ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	(K ₃) ΕΚΤΑΣΗ (m ²)	(-)	(m)	(-)	(ton/έτος)	(m ³ /έτος)
Σ1	50.897.300	9.772.282	8.652.541	32.472.477	0,341	0,3745	2,50	800,20	320,10
Σ2	125.119.607	34.908.370	30.028.706	60.182.531	0,447	0,3745	2,50	2.580,80	1.032,30
Σ3	64.044.865	15.434.812		48.610.053	0,317	0,3745	2,50	936,30	374,50
Σ4	232.311.105	58.310.087	33.220.488	140.780.530	0,383	0,3745	2,50	4.105,90	1.642,30
Σ5	252.856.154	78.455.136	33.220.488	141.180.530	0,432	0,3745	2,50	5.037,10	2.014,80
Σ6	22.137.315	8.478.592		13.658.723	0,445	0,3745	2,50	454,20	181,70
Σ7	20.314.552	1.564.221		18.750.331	0,169	0,3745	2,50	158,70	63,50
Σ8	57.613.364	21.950.692		35.662.672	0,443	0,3745	2,50	1.177,20	470,90
ΣΥΝΟΛΟ ΦΕΡΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗ):								15.250,40	6.100,10

1.3.5. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι κυριότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την κατασκευή ενός φράγματος και την πλήρωση του ταμιευτήρα του μπορούν να συνοψιστούν επιγραμματικά στην συνέχεια:

1. *Καταπόντιση γης και ίσως καλλιεργήσιμου εδάφους* - η δημιουργία ενός ταμιευτήρα πλημμυρίζει συχνά ένα καλό και εύφορο καλλιεργήσιμο έδαφος, και μπορεί να εξαναγκάσει τους ανθρώπους για να μετατοπιστούν. Αυτοί οι παράγοντες οδηγούν στην απώλεια παραγωγικής γης και προσωπικού μόχθου ανθρώπων πολλών ετών.
2. *Απόσπαση* ανθρώπων από τον χώρο κατοικίας τους.
3. *Άγρια φύση* - συνήθως είναι σχεδόν αναπόφευκτο να καταστραφούν κάποια είδη άγριας πανίδας και χλωρίδας.
4. *Αρχαιολογία* - πιθανός κατακλυσμός και καταποντισμός αντικειμένων αρχαιολογικής και ιστορικής αξίας.
5. *Ομορφιά τοπίου* - κάποιες περιοχές γεωμορφολογικής ομορφιάς θα καταστραφούν.
6. *Κατακράτηση εύφορης ιλύος και λάσπης* - η κατακράτηση της ιλύος ή της λάσπης από τον ταμιευτήρα του φράγματος θα μειώσει τον εμπλουτισμό της χαμηλότερης κοιλάδας κατάντη του φράγματος με ιλύ ή λάσπη που θα εμπλούτιζε κανονικά το έδαφος με εύφορα χημικά στοιχεία.
7. *Καθεστώς ποταμών* - θα εμφανιστεί μια περίοδος ξηρής κοίτης του ποταμού κατάντη του φράγματος.
8. *Προειδοποιήσεις πλημμυρών* - η αλλαγή της φυσικής ροής των ποταμών, ρεμάτων και μισγαγγειών μπορεί να επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις στους κατοίκους και την άγρια φύση.
9. *Επίδραση της αποθήκευσης νερού στην ποιότητά του* λόγω διάβρωσης και διαλυτοποίησης στοιχείων των μητρικών πετρωμάτων που έρχεται σε επαφή του.
10. *Ευτροφισμός*.
11. *Θερμική στρωματοποίηση του νερού στον ταμιευτήρα*.
12. *Ψάρια* - πρόβλημα αζώτου.
13. *Αύξηση ασθενειών που δημιουργούνται σε υγρό περιβάλλον*.
14. *Απαίτηση κατασκευής στο φράγμα σκάλας διέλευσης ψαριών* ώστε τα ψάρια να συνεχίσουν την πορεία τους πάνω και κάτω από το φράγμα.
15. *Πρόκληση σεισμών* συνέπεια της πλήρωσης μεγάλων κυρίως ταμιευτήρων λόγω μεγάλης φόρτισης του εδάφους.
16. *Κλιματολογική αλλαγή*.
17. *Οι οδοί προσπέλασης* κατά τη διάρκεια κατασκευής του φράγματος καταστρέφουν συνήθως το φυσικό περιβάλλον.
18. *Ρύπανση ποταμών* από:
 - ο Υγρά απόβλητα από τις εκσκαφές,
 - ο Κατασκευή και αφαίρεση των εγκιβωτισμένων μικρών προφραγμάτων (cofferdams).
 - ο Νερό πλυσίματος από τις εγκαταστάσεις παραγωγής σκυροδέματος και αδρανών υλικών (άμμου, σκύρων, χαλκικόφιλτρων, κλπ.).
 - ο Διαρροή πετρελαίου και διάθεση πετρελαιοειδών.
 - ο Λύματα,
 - ο Απόβλητα αποχέτευσης ζεστού νερού.
 - ο Εδαφική διάβρωση κατά τη διάρκεια του καθαρισμού του ταμιευτήρα.
19. *Κίνδυνοι πυρκαγιάς*.

20. Αισθητική εμφάνιση του τελικού αποτελέσματος από την κατασκευή του φράγματος.

21. Ατμοσφαιρική ρύπανση.

22. Ηχορύπανση.

23. Ρύπανση σκόνης.

1.3.6. Διεπιστημονική προσέγγιση

Έχουμε φθάσει σε μια εποχή όπου θα πρέπει απαραίτητα και αμοιβαία ένας μηχανικός μίας ειδικότητας να συνεργάζεται με τα μέλη άλλων ειδικοτήτων εάν πρόκειται το προβλεπόμενο έργο να ολοκληρωθεί με τα βέλτιστα κάθε φορά οφέλη και συγχρόνως με τα ελάχιστα δυσμενή αποτελέσματα.

Ένα παράδειγμα του αριθμού των διαφόρων ειδικοτήτων που περιλήφθηκαν κατά την κατασκευή του φράγματος Auburn, δίδονται στον πίνακα 1.8.

1.4. Συναφή χαρακτηριστικά κατασκευαστικά στοιχεία των φραγμάτων

1.4.1. Κιβωτοειδή προφράγματα (cofferdams)

Τα κιβωτοειδή προφράγματα είναι συνήθως προσωρινές κατασκευές που κατασκευάζονται ανάντη από ένα φράγμα για να αποτρέψουν τη ροή των ρεμάτων και ποταμών γύρω από την εκσκαφή για την θεμελίωση και κατασκευή ενός φράγματος. Σε κοιλάδες με πρηνή απότομης διατομής η εκτροπή της ροής του νερού συνήθως πραγματοποιείται με την κατασκευή μιας σήραγγας ή περισσότερων σηράγγων στην βραχομάζα των πρηνών της κοιλάδας. Συνήθως οι σήραγγες αυτές που κατασκευάζονται για λόγους εκτροπής τίθενται και σε περαιτέρω χρήση για τον έλεγχο της ροής από τον ταμιευτήρα είτε για την εκκένωση του ταμιευτήρα είτε για τη εκροή νερού με υψηλή πίεση προς τις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε κοιλάδες με μικρή διατομή η εκτροπή μπορεί να γίνει είτε από σήραγγες, από κανάλια, είτε και από τους αγωγούς που στη συνέχεια θάβονται κάτω από την μάζα του φράγματος. Δεν είναι ασυνήθιστο στα χωμάτινα φράγματα να ενσωματώνεται το κιβωτοειδές προφράγμα (cofferdam) στη μεγαλύτερη κατασκευή του επιχώματος του φράγματος που περιλαμβάνεται στο σχεδιασμένο φράγμα.



Εικ. 1.16: Φωτογραφία που παρουσιάζει μία κατασκευή σκάλας διέλευσης ιχθύων (Fish ladder) σε ένα φράγμα.

Πίνακας 1.8:

Έργα Πολιτικού Μηχανικού	Υγειονομική εφαρμοσμένη μηχανική	Υδραυλική εφαρμοσμένη μηχανική
Δομική εφαρμοσμένη μηχανική	Ηλεκτρική εφαρμοσμένη μηχανική	Εφαρμοσμένη μηχανική φωτισμού
Εφαρμοσμένη μηχανική ατμοσφαιρικής ρύπανσης	Ακουστική εφαρμοσμένη μηχανική	Δημογραφία - Κοινωνιολογία
Ιστορία	Σχεδιασμός τοπίων	Συγκοινωνιακή μελέτη - Κυκλοφορία
Αρχιτεκτονική τοπίων	Μεταφορές - Οδοποιία	Οικολογία
Γεωγραφία	Περιβαλλοντική εφαρμοσμένη μηχανική	Γεωμορφολογία
Γεωλογία και Γεωτεχνική Μηχανική	Υδρολογία	Υδρογραφία
Μετεωρολογία	Εδαφομηχανική	Γεωργική οικονομία
Βιολογία	Δασονομία - Δασολογία	Διοίκηση και Διαχείριση
Ιχθυολογία	Άγρια φύση	Νομικά θέματα
Φωτογραμμομετρία	Χαρτογραφία	Προγραμματισμός συστημάτων
Μαθηματικός προγραμματισμός	Ανάλυση μεθόδων κατασκευής	Τοπογραφία και ερμηνεία τηλεπισκόπησης

1.4.2. Κατασκευή σκάλας διέλευσης ιχθύων (Εικ. 16, Fish ladder)

Τα φράγματα που κατασκευάζονται στα ρεύματα ή ποτάμια τα οποία αποτελούν πορείες μετανάστευσης των ψαριών που πρόκειται να γεννήσουν, λαμβάνονται συνήθως μέτρα για τη μετακίνηση των ψαριών αυτών επάνω ή κοντά στο κατάντη μέτωπο του φράγματος. Η εγκατάσταση που επιτρέπει τη διέλευση και μετανάστευση των ψαριών καλείται συνήθως σκάλα ψαριών ή κατασκευή διέλευσης ιχθύων (Fish ladder). Δείτε την φωτογραφία.

1.4.3. Υδατοφράκτες (Gates)

Οι υδατοφράκτες είναι συσκευές που εγκαθίστανται στις κορυφές των υπερχειλιστών για να ελέγχουν τη ροή του νερού που υπερχειλίζει πάνω από ένα υπερχειλιστή.

1.4.4. Εγκαταστάσεις παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας (Power Plant)

Πολλά φράγματα κατασκευάζονται για να παραγάγουν υδροηλεκτρική ενέργεια. Το εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος βρίσκεται επάνω ή κοντά στο έρεισμα ή μύτη (Toe) του ενός φράγματος είτε βρίσκεται κατάντη του φράγματος σε κάποια απόσταση. Η ροή του νερού στο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος ελέγχεται από τις βαλβίδες ανάντη από το φράγμα, μέσα στο φράγμα κατάντη, ή στους υπόγειους θαλάμους (κελιά) βαλβίδων που εκσκάπτονται στην βραχομάζα έξω από το φράγμα.

1.4.5. Θυροφράγμα ρυθμιστικής δεξαμενής (Gate)

Τα θυροφράγματα ρυθμιστικής δεξαμενής είναι κινητά φράγματα ή τμήματα των φραγμάτων που χρησιμοποιούνται για την ναυσιπλοΐα κατά μήκος των ποταμών και των καναλιών.

1.4.6. Αγωγός πτώσης νερού (Penstock)

Είναι ένας φράχτης ή ένας αγωγός, συνήθως από χαλύβδινο σωλήνα, που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ροής του νερού, ειδικά σε εγκαταστάσεις παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας.

1.4.7. Υπερχειλιστές (Spillways)

Ένας υπερχειλιστής σχεδιάζεται για να περιέχει και να ελέγχει την υπερχειλίση του νερού στον ταμιευτήρα όταν ο ταμιευτήρας είναι πλήρης. Οι υπερχειλιστές είναι, ή θα πρέπει να είναι, σχεδιασμένοι έτσι ώστε να παραλαμβάνουν και να παροχετεύουν τις ροές του ταμιευτήρα κατά τη διάρκεια της μέγιστης πλημμυρικής παροχής ώστε να αποτρέπεται κάθε ζημία στο φράγμα και στα συναφή χαρακτηριστικά κατασκευαστικά του στοιχεία. Το μέγεθος και η θέση τους σε σχέση με το φράγμα καθορίζονται από το μέγεθος και το είδος του φράγματος, την τοπική τοπογραφία και μορφολογία, τις γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες, και κατόπιν μιας πολύ προσεκτικής ανάλυσης και μελέτης της ιστορίας της ροής των ποταμών και ρεμάτων στην περιοχή του φράγματος.

Η υπερχειλίση ιδιαίτερα σε χωμάτινα φράγματα έξω από τον υπερχειλιστή μπορεί να έχει ιδιαίτερα καταστροφικές συνέπειες και συνεπώς για λόγους ασφάλειας απαιτείται η διαστασιολόγηση ενός υπερχειλιστή ικανού να παροχετεύει πλημμυρικές παροχές αιχμής τουλάχιστον της τάξης των εκατό ετών.

Οι υπερχειλιστές βρίσκονται μέσα ή στο κατάντη μέτωπο ενός φράγματος, έξω από το φράγμα σε κάποια πλευρά του, ή μέσα στο ταμιευτήρα, όπου το νερό χύνεται υπερχειλιζόμενο σε μια τρύπα που ονομάζονται υπερχειλιστής εσωτερικής οπής (glory hole spillway) η οποία αποτελείται από ένα κατακόρυφο φρέαρ και μια σήραγγα που διέρχεται κάτω ή μέσα από το αντέρεισμα του φράγματος και τελικά εξέρχεται κατάντη του φράγματος.

1.4.8. Σήραγγες (Tunnels)

Οι σήραγγες στο βραχώδες υπόβαθρο έξω από τα φράγματα εξυπηρετούν ποικίλους σκοπούς. Η ροή μέσω αυτών ελέγχεται είτε από εξωτερικές του φράγματος βαλβίδες είτε από βαλβίδες σε θαλάμους είτε από βαλβίδες σε υπόγειους θαλάμους βαλβίδων μέσα στο φράγμα ή στο βραχώδες υπόβαθρο έξω από το φράγμα. Οι σήραγγες για τον έλεγχο της στάθμης του νερού στο ταμιευτήρα καλούνται συνήθως σήραγγες βαρύτητας και εξυπηρετούν μια κύρια λειτουργία που είναι να εκτρέψει το νερό σε κάποιο σημείο κατάντη του φράγματος. Οι σήραγγες που μεταβιβάζουν το νερό κάτω από πίεση για την ανύψωση του νερού σε μία υψηλότερη στάθμη από την στάθμη εισόδου της σήραγγας ή οι σήραγγες για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας καλούνται σήραγγες υπό πίεση και απαιτούν συνήθως ιδιαίτερες βραχομηχανικές ιδιότητες της βραχομάζας μέσω της οποίας κατασκευάζονται.

1.4.9. Βαλβίδες και υπόγειοι θάλαμοι βαλβίδων (Valves and valve vaults)

Οι βαλβίδες ελέγχουν τη ροή του νερού μέσω των σηράγγων και των αγωγών πτώσης νερού (Penstocks). Σε πολλά μεγάλα φράγματα οι βαλβίδες εγκαθίσταται σε υπόγεια κελιά ή θαλάμους στους οποίους η πρόσβαση πραγματοποιείται από την κατάντη πλευρά του φράγματος.