

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ ΚΕΦΑΛΑ ΟΛΓΑ

ΤΣΑΝΤΙΛΑ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΠΑΤΡΑ 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
Κεφάλαιο 1 : Γενικά περί φραγμάτων	6
Κεφάλαιο 2: Φράγματα Βαρύτητας.....	8
Φράγμα St. Francis.....	9
Κεφάλαιο 3 : Τοξωτά φράγματα.....	16
Κεφάλαιο 3.1 : Φράγμα Malpasset	17
Κεφάλαιο 3.2 : Φράγμα Vaiont.....	26
Κεφάλαιο 4 :Χωμάτινα φράγματα	47
Κεφάλαιο 4.1 :Φράγμα Teton.....	48
Κεφάλαιο 4.2 : Φράγμα South Fork.....	62
Κεφάλαιο 4.3 :Φράγμα Περδίκκα.....	76
ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ.....	78
Κεφάλαιο 5 : Συνοπτική αναφορά στους κυριότερους τύπους αστοχίας φραγμάτων αίτια και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	98
Κεφάλαιο 6 : Διδάγματα κανόνες για την μέγιστη ασφάλεια και πρόληψη μελλοντικών καταστροφών	101
Βιβλιογραφία	104

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα φράγματα, όπως και άλλα μεγάλα τεχνικά έργα, ενίοτε αστοχούν. Το ποσοστό είναι ιδιαίτερα μικρό, αλλά όχι μηδενικό. Αδυναμίες σχεδιασμού, περιορισμένοι κανονισμοί, ατέλειες κατασκευής, ανεπαρκής ποιοτικός έλεγχος, κακή λειτουργία, ελλιπής ή ανύπαρκτη συντήρηση, όλα αυτά και άλλα συμμετέχουν ενεργά ή παθητικά στην ανάπτυξη συνθηκών που οδηγούν σε αστοχίες ή σε ατυχή συμβάντα. Στην παρούσα πτυχιακή εξετάζονται πιο αναλυτικά οι αιτίες αστοχίας συγκεκριμένων φραγμάτων τόσο στο εξωτερικό όσο και στον Ελλαδικό χώρο, καθώς και τα μέτρα πρόληψης και τα τελικά συμπεράσματα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρακάτω πτυχιακή ασχολείται με την αστοχία φραγμάτων, τις αιτίες που οδηγούν στην κατάρρευσή τους καθώς και τους τρόπους αποφυγής της πιθανής καταστροφής τους. Πιο αναλυτικά αναφέρεται ότι :

Στο κεφάλαιο ένα παραθέτονται συνοπτικά οι ορισμοί του φράγματος, καθώς και της αστοχίας του, ως μια πρώτη γνωριμία με την ορολογία που κυριαρχεί στην παρούσα πτυχιακή . Αναφέρονται ακόμα ποιός είναι ο σκοπός κατασκευής τους καθώς και οι τύποι στους οποίους διακρίνονται τα φράγματα.. Κλείνοντας το κεφάλαιο παρουσιάζουμε ένα σκαρίφημα των τύπων αυτών και των κατηγοριών που παραπάνω αναφέραμε.

Στο κεφάλαιο δύο αναφέρονται τα φράγματα βαρύτητας μαζί με τα χαρακτηριστικά τους καθώς και οι δυνάμεις που δέχεται αυτή η κατηγορία φραγμάτων. Επιπροσθέτως ακολουθεί χαρακτηριστικό παράδειγμα, η αστοχία του φράγματος Sts. Francis αναλύοντας όλα τα αίτια της κατάρρευσής του.

Στο κεφάλαιο τρία την σκυτάλη παίρνουν τα τοξωτά φράγματα όπου περιγράφονται αναλυτικά τα Malpasset και Vaiont. Για το πρώτο γίνεται αναφορά στις παγίδες οι οποίες συνετέλεσαν στη μοιραία καταστροφή .Αναδεικνύονται αναλυτικά και τα αίτια. Ενώ το δεύτερο ακολουθείται με ιστορική αναφορά αλλά και αναφορά στο γεωλογικό τοπίο της περιοχής καταλήγοντας στα αίτια της κατάρρευσης και στα διδάγματα που λάβαμε.

Στο κεφάλαιο τέσσερα κυριαρχούν τα χωμάτινα φράγματα. Στην κατηγορία αυτή βρέθηκαν τρία σημαντικά παραδείγματα. Αρχικά το φράγμα Teton όπου αναφέρεται περιγραφικά η έρευνα η οποία έλαβε χώρα μετά την καταστροφή καθώς και τα συμπεράσματα στα οποία οδηγήθηκε η αρμόδια επιτροπή. Δεύτερον αναλύεται η καταστροφή του φράγματος South Fork. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δίνονται αναλυτικά όλα τα στοιχεία του φράγματος μαζί με ιστορική αναδρομή, καταλήγοντας πάλι στα αίτια κατάρρευσης του συγκεκριμένου φράγματος. Και τέλος δίνεται μια σύντομη περιγραφή του φράγματος Περδίκκα στον ελλαδικό χώρο μαζί με τις αιτίες αστοχίας του.

Συμπεριλαμβάνεται ακόμα ένας περιληπτικός πίνακας 20 σελίδων που περιέχει όλα τα φράγματα που έλαβαν χώρα από το 1961 έως και το Νοέμβριο του 2013 συνοδευόμενα με την χώρα κατασκευής τους, την εταιρεία κατασκευής, τον τύπο φράγματος, το είδος του περιστατικού, τα υλικά απελευθέρωσης αλλά και τις επιπτώσεις.

Στο κεφάλαιο πέντε υπάρχει συνοπτική αναφορά στους κυριότερους τύπους αστοχίας φραγμάτων στα αίτια και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Πιο αναλυτικά αναφέρονται οι τύποι αστοχίας φραγμάτων σε χωμάτινα φράγματα και σε φράγματα από σκυρόδεμα. Ακόμη αποκωδικοποιούνται οι αιτίες που συνέβαλλαν σε αστοχίες φραγμάτων αλλά και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους.

Στο κεφάλαιο έξι υπάρχουν τα διδάγματα και οι κανόνες για την μέγιστη ασφάλεια και πρόληψη των μελλοντικών καταστροφών καθώς και τα βασικά μέτρα πρόληψης που είναι πλέον απαραίτητα σε κάθε κατασκευή φράγματος.

Κεφάλαιο 1 : Γενικά περί φραγμάτων

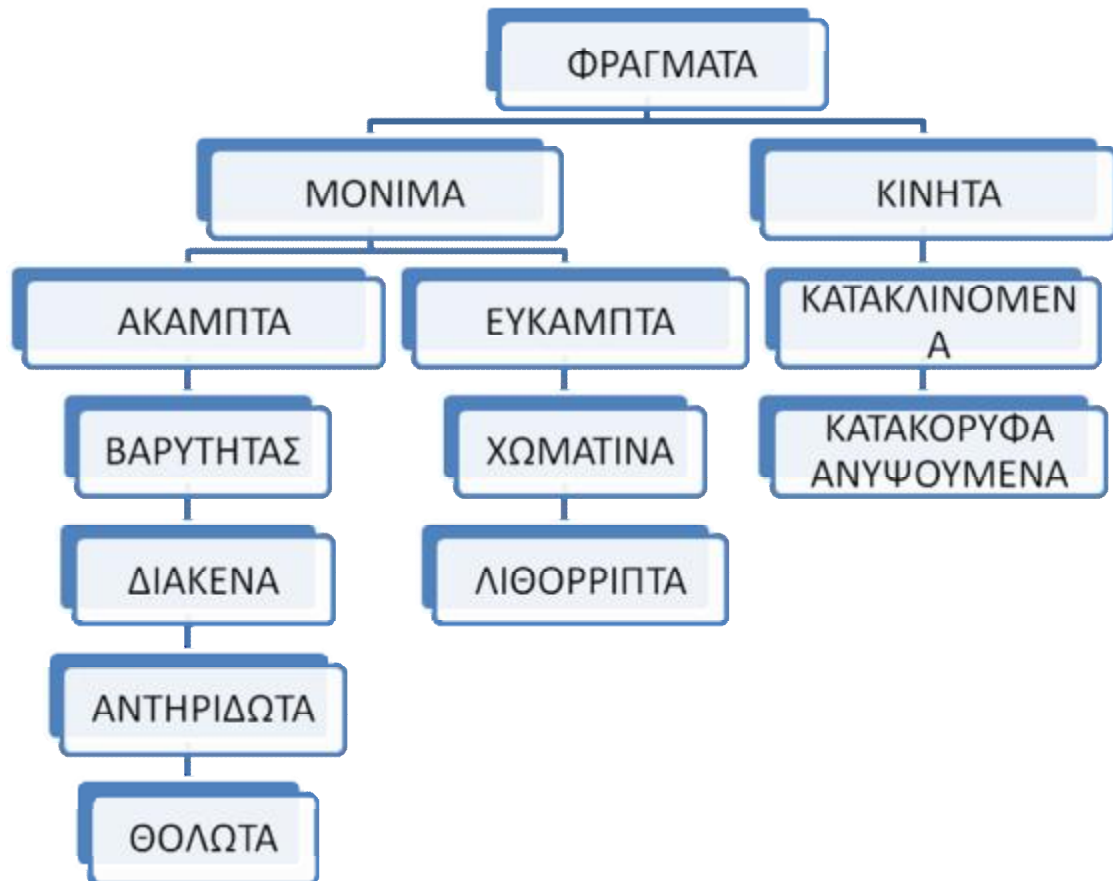
Φράγμα: είναι τεχνικό έργο που κατασκευάζεται στην κοίτη ενός ποταμού για να ανακόψει τη ροή, με σκοπό την δέσμευση του νερού για μελλοντική χρησιμοποίηση ,και ελεγχόμενη διάθεση του.



Σκοπός:

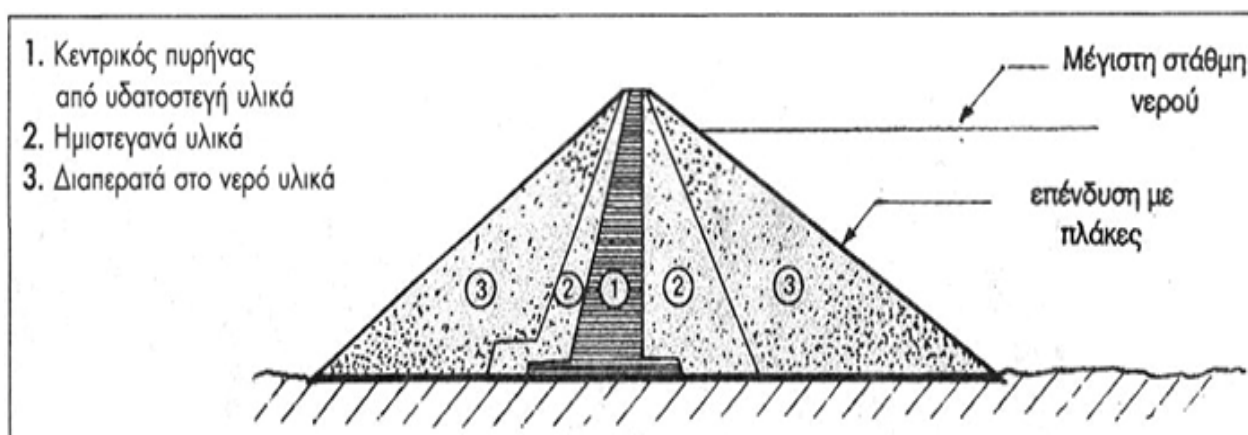
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Άρδευση καλλιεργούμενων εδαφών
- Ύδρευση πόλεων, οικισμών ή βιομηχανικών μονάδων
- Αντιπλημμυρική προστασία
- Εμπλουτισμός του υπόγειου υδάτινου ορίζοντα
- Άλλα: Ναυσιπλοΐα, Τουριστική αξιοποίηση, Βελτίωση του περιβάλλοντα χώρου, Αθλητισμός, Ιχθυοκαλλιέργεια

Τύποι φραγμάτων: Τα φράγματα διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την κατασκευή τους τη λειτουργία και την σκοπιμότητά τους. Από κατασκευαστική πλευρά κατατάσσονται όπως παρακάτω:



Αστοχία Φραγμάτων: Όπως ορίζεται από την διεθνή επιτροπή μεγάλων φραγμάτων ICOLD αστοχία φράγματος είναι η κατάρρευση ή η μετακίνηση μέρος του φράγματος ή της θεμελίωσης του τέτοια ώστε το φράγμα να μην μπορεί να συγκρατήσει νερό.

Κεφάλαιο 2: Φράγματα Βαρύτητας



Τα φράγματα βαρύτητας κατασκευάζονται έτσι που να αντέχουν στις πιέσεις του νερού με μόνο στοιχείο το μεγάλο βάρος τους. Η χάραξη του φράγματος σε οριζοντογραφία, μπορεί να είναι ευθύγραμμη ή καμπυλωτή ανάλογα με την τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχής και τις λειτουργικές ανάγκες.

Οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα φράγμα βαρύτητας είναι :

Οριζόντιες

- Υδροστατική πίεση (οριζόντια συνιστώσα)
- Πίεση φερτών υλών
- Πίεση πάγου
- Σεισμική πίεση του νερού (πίεση οστικών κυμάτων)
- Ωθηση σεισμού στο φράγμα

Κατακόρυφες

- Ίδιο βάρος φράγματος
- Υδροστατική πίεση (κατακόρυφη συνιστώσα)
- Υποπίεσεις

Φράγμα St. Francis

Εισαγωγή

Πρόκειται για ένα καμπύλο φράγμα βαρύτητας από σκυρόδεμα ύψους 60 μέτρα με τοποθεσία περίπου 56 χλμ βόρεια του κέντρου της πόλης του Los Angeles. Κατασκευάστηκε από τον Δήμο του Λος Άντζελες με επικεφαλής τον υδραυλικό μηχανικό William Mulholland το διάστημα 1924 - 1926, αποτελούσε μέρος του υδραγωγείου της πόλης για να παρέχει το νερό ενός έτους και να εφοδιάζει την πόλη νότια του ρήγματος του Αγίου Ανδρέα η οποία υπέφερε τη δεκαετία του 20 από μεγάλες ξηρασίες.

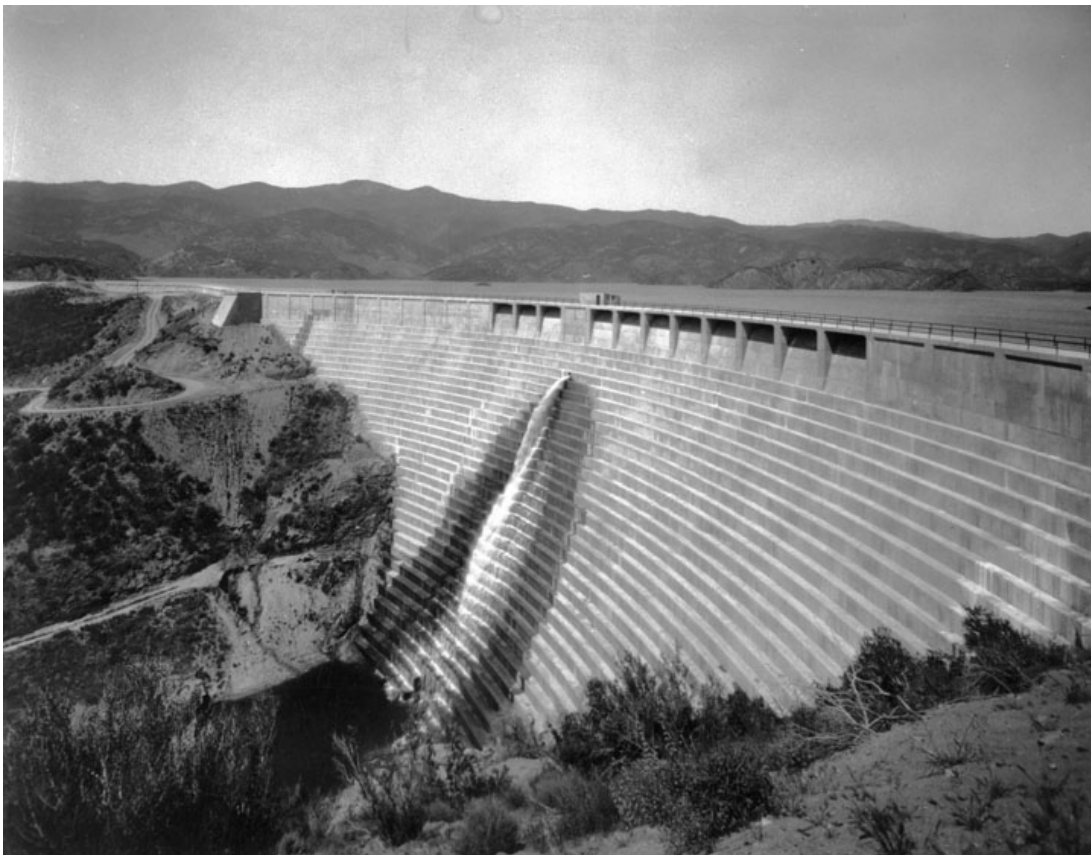
Σκοπός ήταν να κατασκευαστούν 8 νέα φράγματα ώστε να αυξηθεί η αποθηκευτική ικανότητα σε νερό στο Los Angeles. Είχε ήδη κτίσει 22 χωμάτινα φράγματα αλλά τα δυο τελευταία ήταν από άοπλο σκυρόδεμα γιατί βρίσκονταν σε ορεινές τοποθεσίες και στερούνταν επαρκής ποσότητας αργίλου ή νερού. Οι υφιστάμενοι του Mulholland σχεδίασαν τα δυο φράγματα από σκυρόδεμα εκ των οποίων το ένα το St. Francis σύμφωνα με τις μεθόδους της εποχής αγνοώντας όμως επίσημες εκτιμήσεις για την υδραυλική άνωση κάτω από το φράγμα και θεωρώντας το σκυρόδεμα αδιαπέραστο.



Αυτές οι υποθέσεις αποδείχθηκαν λανθασμένες. Τα φράγματα από σκυρόδεμα είχαν κακότεχνη σχεδίαση, τους έλειπαν κουρτίνες ενέματος, λεπτοί αρμοί συστολής, εσωτερικές αποχετεύσεις και στοές επίσκεψης. Όταν ήταν υπό κατασκευή, ο πληθυσμός του Λος Άντζελες αυξανόταν δραματικά.

Για να αυξηθεί η χωρητικότητα της δεξαμενής αποθήκευσης, αποφασίστηκε να αυξηθεί το φράγμα 3,1 μέτρα σε δύο περιπτώσεις, αυξάνοντας το ύψος του φράγματος 11% χωρίς καμία αντισταθμιστική αύξηση του πλάτους βάσης. Η καταστροφική αστοχία συνέβη λίγο πριν τα μεσάνυχτα της 12^{ης} Μαρτίου του 1928. Κατά την κατάρρευση απελευθερώθηκαν 36,180 κυβικά μέτρα νερού κατά μήκος του San Francisquito Canyon αφαιρώντας στο πέρασμα του 450 ανθρώπινες ζωές. Ως μια από τις πιο θανατηφόρες και μεγάλες καταστροφές στην ιστορία της αμερικανικής μηχανικής του 20^{ου} αιώνα η πολιτεία του Los Angeles πλήρωσε πάνω από 7 εκατομμύρια δολάρια σε αποζημιώσεις στις οικογένειες των θυμάτων και στους πληγέντες γαιοκτήμονες.

Στην πόλη του Los Angeles ο επικεφαλής υδραυλικός μηχανικός ο οποίος είχε γνωρίσει μεγάλη αποδοχή λόγω των προγενέστερων έργων του κατά τη χρονολογία 1906-13 με την κατασκευή του 381χλμ μήκους του υδραγωγείου του ποταμού Los Angeles ,το μεγαλύτερο σύστημα μεταφοράς που είχε γίνει μέχρι τότε.



Μελλοντικά προβλήματα:

Τον Ιούλιο του 2013 τα πλάνα όριζαν καμπυλότητα 155 μέτρα για την κύρια κατασκευή φτάνοντας τα 54,25 μέτρα σε ύψος πάνω από την κοίτη του ρέματος με μέγιστη βάση πλάτους τα 43,71 μέτρα ικανό να αποθηκεύει 900 κυβικά μέτρα νερού που ισούταν με την ποσότητα που καταναλωνόταν στο Los Angeles το 1922-23 από τους κατοίκους του. Λίγο πριν την έναρξη της κατασκευής τον Απρίλιο του 1924 η χωρητικότητα του ταμιευτήρα είχε αυξηθεί στα 960 κυβικά μέτρα, έτσι το φράγμα αυξήθηκε 3,1 μέτρα ,χωρίς να αυξηθεί το πλάτος της βάσης. Τον Ιούλιο του 1925 το φράγμα αυξήθηκε άλλα 3,1 μέτρα εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης του Los Angeles (σε κατοίκους), τώρα η ικανότητα σε 1140 κυβικά μέτρα, αλλά πάλι χωρίς αύξηση του πλάτους βάσης. Το φράγμα ολοκληρώθηκε το Μάιο του 1926 χρησιμοποιώντας 130500 κυβικά μέτρα από σκυρόδεμα με μέση θλιπτική αντοχή μεταξύ 119,76 και 165,35 atm. Ο ταμιευτήρας άρχισε να γεμίζει την 1^η Μαΐου του 1926 αλλά χωρίς να γεμίζει τελείως, 5 μέρες πριν την αστοχία. Τη μέρα της κατάρρευσης ο ίδιος ο επικεφαλής του έργου επιθεώρησε το φράγμα μαζί με τον επικεφαλής μηχανικό χωρίς να έχουν κάτι να αναφέρουν ως παρατήρηση, παρόλα αυτά δώδεκα ώρες μετά το φράγμα αστόχησε.



Γιατί αστόχησε:

Λίγο πριν ξημερώσει η 12^η Μαΐου το φράγμα κατέρρευσε σκοτώνοντας 450 ανθρώπους. Πολλά συνεργεία μηχανικών συγκεντρώθηκαν να ερευνήσουν τους λόγους της αστοχίας.

Λίγο πριν την πλήρωση του ταμιευτήρα το φράγμα καταστράφηκε λόγω διάλυσης του συνδετικού υλικού του κροκαλοπαγούς και την χαλάρωση της ρηξιγενούς ζώνης.

Λάθη στην κρίση από μηχανική άποψη

Ενώ η κατασκευή ενός φράγματος στο όριο με το υδραγωγείο ήταν ιδανική, αποφασίστηκε το San Fransisquito Canyon, γιατί η αξία γης της αρχικής επιλογής είχε φτάσει στα ύψη την εποχή δημιουργίας του φράγματος. Επιπλέον το φράγμα πρόσφερε κάποια ελκυστικά χαρακτηριστικά: ήταν βαθύ και στενό, αν και σε πρωταρχικό στάδιο υπήρχε δρόμος, και σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ήδη στην περιοχή. Το μέρος είχε ικανότητα αποθήκευσης νερού για ένα χρόνο για την περιοχή του Λος Άντζελες, σε περίπτωση που το υδραγωγείο αποτύγχανε.

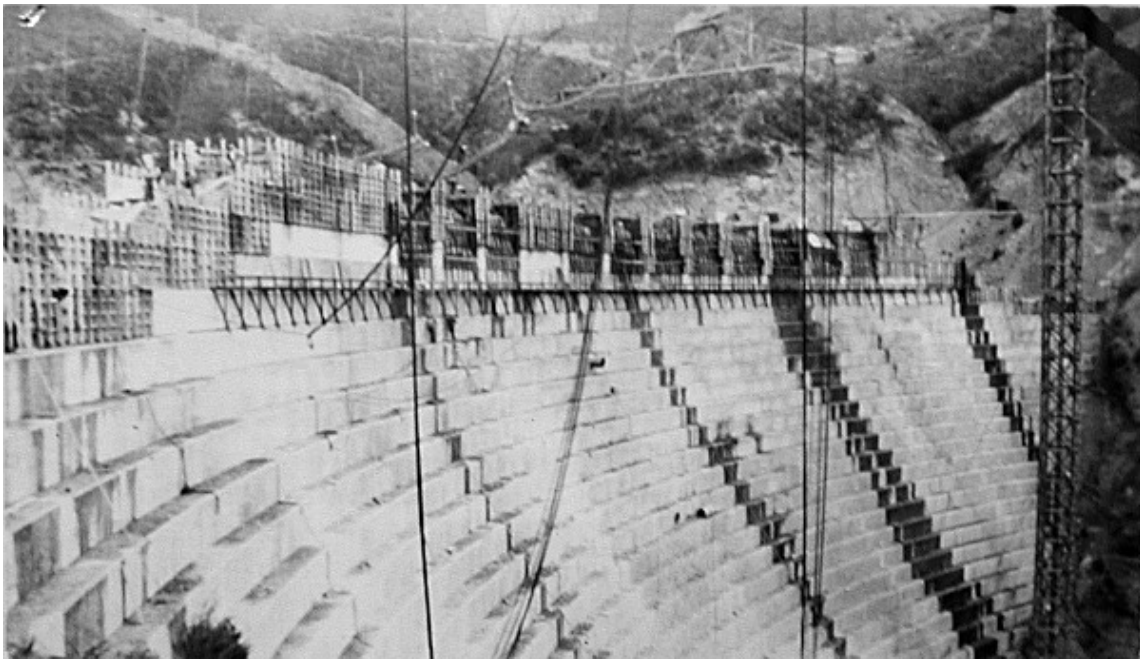
Αυτό που ο Mulholland λίγο πολύ αγνόησε ήταν οι γεωλογικές ιδιομορφίες της περιοχής, ένα λάθος κρίσιμο, δεδομένου ότι το φράγμα, τοξωτό βαρύτητας, θα εδραιωνόταν στους τοίχους του φαραγγιού. Εκείνη την εποχή όμως δεν απαιτούνταν γεωλογική έρευνα ούτε γνώμη κάποιου ειδικού για τις περιοχές κατασκευής φραγμάτων. Αν είχε γίνει υποχρεωτικό, το φράγμα δε θα είχε ποτέ κατασκευαστεί σε ασταθές έδαφος.

Η ανατολική πλευρά του φαραγγιού αποτελούνταν από επίπεδα μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου και ήταν εξαιρετικά τραχιά καλυμμένα με στρώματα ταλκη. Η δυτική πλευρά χαρακτηριζόταν από ασταθή ιζηματογενή πετρώματα που σχηματίζονται από (στρογγυλεμένα χαλίκια και λίθους μεγέθους από 2μμ με ανώτερο τα 60μμ, με συνδετικό υλικό που τα ενώνει ασβεστίτη η πυρίτιο ή και οξείδιο του σιδήρου), τα οποία έχουν την τάση να αποσυντίθενται μέσα στο νερό. Διάσπαρτα μέσα σε αυτά τα πετρώματα υπήρχαν ψήγματα γύψου, ο οποίος επίσης μαλακώνει και τελικά διαλύεται μέσα στο νερό. Προφανώς ο Mulholland διεξήγαγε το δικό του τεστ στα υλικά σύνθεσης των πετρωμάτων πριν την κατασκευή του φράγματος και αποφάνθηκε για την επάρκεια τους, αν και αυτή του η απόφαση ήταν αντίθετη με την παρατήρηση του, κατά τη διάρκεια κατασκευής του υδραγωγείου, εμφάνιζε για τους τοίχους του φαραγγιού επικίνδυνες συνθήκες που θα δυσκόλευαν την πλευρική εκσκαφή του λόφου.

Όπως επισήμανε τον Ιούλιο του 1928 γεωλόγος από το πανεπιστήμιο του Yale Chester Longwell οι συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή ήταν γνωστές στους γεωλόγους και κανένας δε θα είχε δώσει την έγκριση του για την κατασκευή του φράγματος στη συγκεκριμένη περιοχή.

Σε έρευνες που ακλούθησαν μετά την καταστροφή αποκαλύφθηκε ότι στην περιοχή υπήρχαν προϊόντα προϊστορικών κατολισθήσεων πάνω από 500000 χρόνια. Επιπροσθέτως η περιοχή έδειξε φανερά σημάδια ρήγματος που δημιουργήθηκαν από σεισμό. Κατά τη διάρκεια κατασκευής του φράγματος το ρήγμα του San Franciscquito ήταν ανενεργό, προηγούμενες κατολισθήσεις όμως το είχαν γεμίσει με πολύ μικρού μεγέθους κόκκους σαν πούδρα πράγμα που συνέβαλε στη λίπανση άρα αποδυνάμωσε το ρήγμα. Όταν έβρεχε μετατρέποταν σε γλιστερή λάσπη.

Με λίγα λόγια η έλλειψη γνώσης σε γεωλογικά και μηχανικά θέματα του Mulholland επηρέασαν την κρίση του σχετικά με τη μορφολογία της περιοχής και την καταλληλότητα μη για την κατασκευή του φράγματος. Οι προηγούμενες επιτυχίες του τον έκαναν να πιστέψει ότι δεν υπήρχε περίπτωση αποτυχίας.

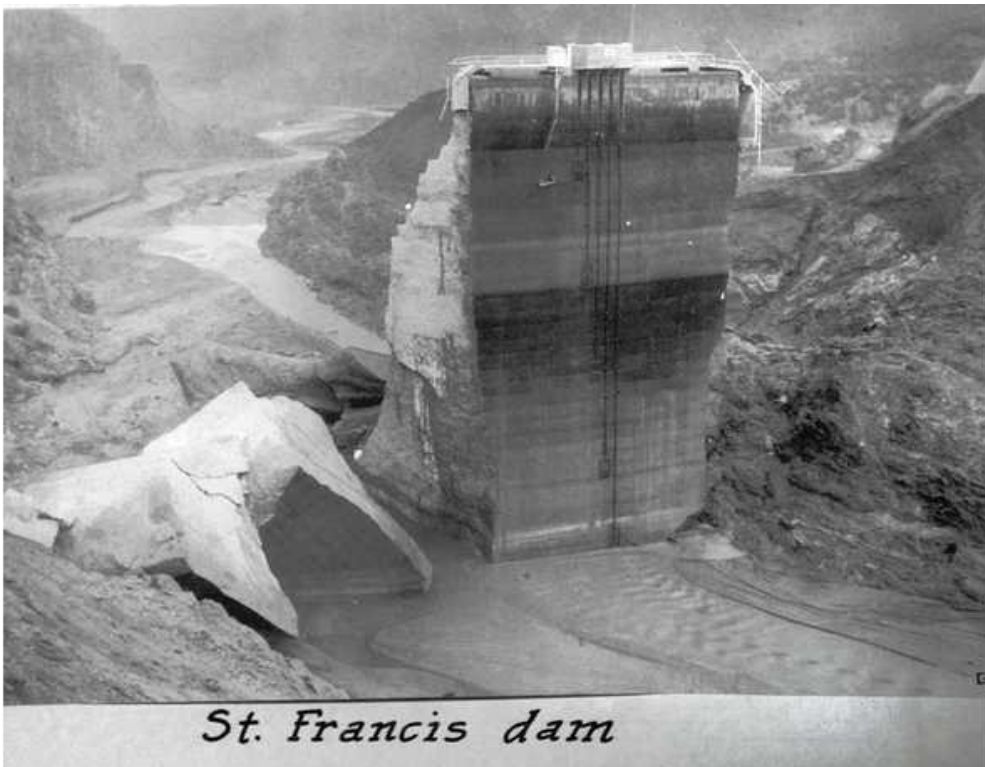


Λάθος εκτιμήσεις: Σχέδιο και Τροποποιήσεις

Το φράγμα του St. Francis σχεδιάστηκε ως τοξωτό βαρύτητας, με ενισχυμένη την κατάντη όψη και συνδυασμένα χαρακτηριστικά από δυο διαφορετικά στυλ. Τα φράγματα βαρύτητας είναι «συμπαγή κατασκευάσματα από σκυρόδεμα που διατηρούν τη σταθερότητα τους απέναντι στα σχεδιαστικά φόρτια από το γεωμετρικό τους σχήμα και από τη μάζα και την αντοχή του ίδιου του σκυροδέματος», καθώς επίσης το τοξωτό φράγμα αποκτά τη σταθερότητα του διαμοιράζοντας τα φορτία.

Συνοπτικά τα αίτια

- Δεν λήφθηκε υπόψη η θεωρία της άνωσης
- Οφείλεται σε φαινόμενα διασωλήνωσης που διάβρωσαν την επιφάνεια θεμελίωσης του φράγματος σε ενδεχόμενη κατολίσθηση στο αριστερό αντέρεισμα
- Ανικανότητα εκτόνωσης του νερού
- Δεν ζητήθηκε ποτέ γεωλογική γνώση
- Αγνοήθηκε η μυλονιτωμένη ζώνη(τεκτονική επαφή με τους υποκείμενους σχιστόλιθους και τα κροκαλοπαγή που υπήρχαν στο αριστερό αντέρεισμα.)
- Τα υλικά του αριστερού αντερείσματος ήταν προϊόντα προϊστορικής κατολίσθησης



Πριν την κατάρρευση:

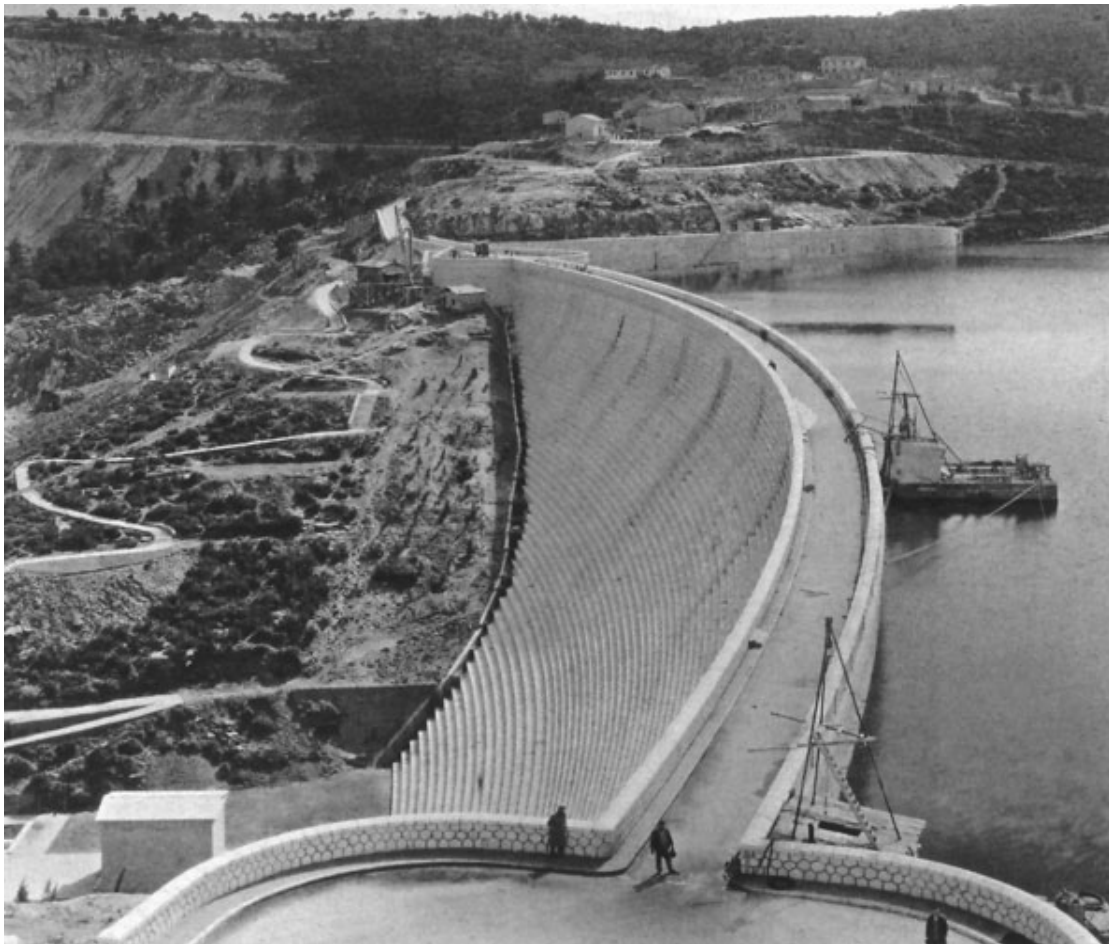


Μετά την καταστροφή:



Κεφάλαιο 3 : Τοξωτά φράγματα

Έχουν τοξοειδή μορφή και εργάζονται σαν αμφίπακτα τόξα. Η πίεση του νερού εφαρμόζεται στην κυρτή επιφάνεια του φράγματος και μεταβιβάζει τα πλευρά της κοιλάδας με μορφή κυρίως οριζόντιων δυνάμεων.



Κεφάλαιο 3.1 : Φράγμα Malpasset

Τύπος φράγματος: διπλής καμπυλότητας σκυροδέματος με μεταβλητή ακτίνα

Σκοπός: ύδρευση και άρδευση και ενίσχυση της τουριστικής περιοχής

Ύψος: 196,9 ft (60 m)

Πλάτος στη βάση: 22.2 ft (6,78 m)

Πλάτος στέψης στο 4,92 ft (1,5 m)

Μήκος στέψης: 732 ft (223 m)

421 άνθρωποι σκοτώθηκαν

Σχεδιασμένο από τον Δρ Andre Coyne, τον πιο ειδικό στη σχεδίαση. Παρότι η θέση του φράγματος είχε θεωρηθεί από ορισμένους ως ακατάλληλη, η αρμόδια υπηρεσία, βασισμένη σε γεωλογικές και υδρολογικές μελέτες ενέκρινε την κατασκευή του. Το βραχώδες υπέδαφος θεωρήθηκε στεγανό. Το αριστερό αντέρεισμα ήταν βραχώδες, ενώ στο δεξιό κατασκευάστηκε τοίχος από σκυρόδεμα για την πιο ομοιόμορφη και ομαλή μεταφορά των τάσεων από την τοξωτή κατασκευή. Κατάντη του φράγματος παρατηρήθηκαν ρηγματώσεις οι οποίες δεν διερευνήθηκαν. Δύο εβδομάδες από τον εντοπισμό των ρηγματώσεων, στις 2 Δεκεμβρίου 1959, κατέρρευσε.



Στις 2 Δεκεμβρίου 1959 η κατάρρευση του φράγματος του Malpasset ήταν μια μεγάλη βιομηχανική καταστροφή στη Γαλλία, μέσα στον 20ο αιώνα, μόλις η δεύτερη σε αριθμό θυμάτων. Ήταν επίσης αναπάντεχο στην κοινότητα των φραγμάτων καθώς ποτέ πριν κάποιο τοξωτό φράγμα δεν είχε αποτύχει. Είναι γνωστό ότι πολλά περισσότερα έχουν κατασκευαστεί από τότε σε όλο τον κόσμο, και πολύ υψηλότερα, χωρίς να έχουν παρουσιάσει κανένα πρόβλημα. Πολλές εργασίες έχουν περιγράψει την υπόθεση Malpasset, από τις πρώτες μελέτες για την κατασκευή, την λειτουργία και την αποτυχία, τις εκθέσεις των εμπειρογνομόνων, τα πρακτικά δοκιμής και πολλά εργαστήρια και επιτόπιες έρευνες που ξεκίνησαν για να καταλάβουν τι πήγε στραβά, καταλήγουν σε πέντε έγγραφα που δημοσιεύθηκαν το 2010 στη *Revue française de Géotechnique* (Carrère, 2010, Duffaut, 2010, Goguel, 2010a, Goguel, 2010b και Habib, 2010).

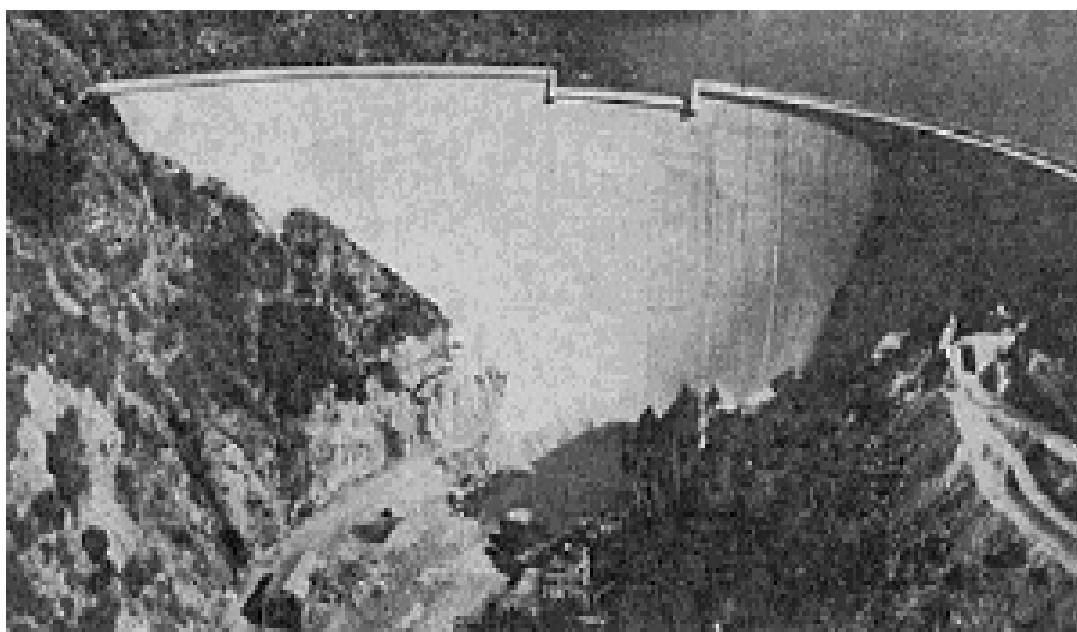


Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι οι πρώτες αιτίες ήταν γεωλογικές: πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα θεωρούνταν ως αρκετά αδιαπέρατα υλικά για τους ταμιευτήρες και αρκετά ισχυρά για τα θεμέλια του φράγματος . Εδώ αποδείχθηκαν αδιαπέρατα , αλλά απέτυχαν ως θεμέλιο .

Ξέρουμε όμως ότι πολλές φορές τα πιο σπάνια ατυχήματα προέρχονται από πολλά λάθος γεγονότα μαζί και όχι μόνο ένα. Πολλές περισσότερες παγίδες σύντομα θα ανακαλύπτονταν, εκτός από τις γεωλογικά αίτια, γεωτεχνικές δοκιμές επί τόπου και στο εργαστήριο έδειξαν χωρίς να το περιμένουν πολύ φτωχές ιδιότητες . Οι τεχνικοί κανόνες για ανύψωση δεν εφαρμόστηκαν σε λεπτά φράγματα.

Τι έγινε

Περίπου 15 χλμ. από το Fréjus, μια παλιά ρωμαϊκή πόλη στην Côte d'Azur, κατά μήκος της Μεσόγειου Θάλασσας , σε ένα μέρος που λέγεται Malpasset (ένα κακό πέρασμα για περαστικούς), ένα φράγμα είχε σχεδιαστεί και κατασκευαστεί το 1950, για την παροχή πόσιμου νερού και άρδευσης της περιοχής. Ο καθηγητής G. Corroy διεξήγαγε την γεωλογική έρευνα του πανεπιστημίου της Marseilles, ενώ την πλήρη εποπτεία, σχεδίαση του τοξωτού φράγματος και κατασκευή του είχε αναλάβει ο Andre Coyne και οι συνεργάτες του με εργολάβο τον Ballot.



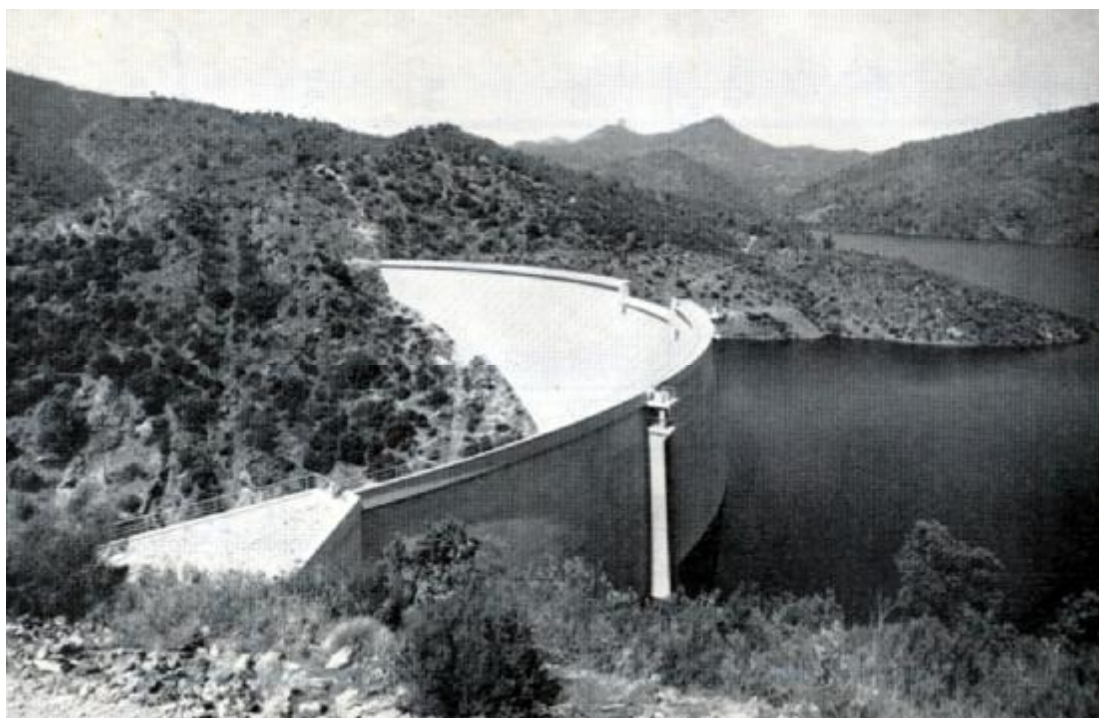
Τη χρονιά εκείνη έβρεξε πάρα πολύ κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, με αποτέλεσμα τα επίπεδα της στάθμης του ταμιευτήρα να αυξηθούν σε επίπεδα που δεν περίμενε κανένας. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα χρόνια η κάτω πύλη δεν είχε ανοίξει για να ρυθμίσουν το νερό διότι μια γέφυρα αυτοκινητοδρόμου ήταν υπό

κατασκευή ένα χλμ κατάντη και κανένας δεν είχε προβλέψει την ροή του ποταμού. Από 30 Νοεμβρίου μέχρι 2 Δεκεμβρίου η ένταση της βροχής ήταν τέτοια που τα επίπεδα ανέβηκαν 4,5 εκατοστά ενώ τα επίπεδα του ταμιευτήρα ανέβαιναν για κάθε μέτρο περισσότερο. Η έντονη αυτή φθινοπωρινή βροχόπτωση θεωρήθηκε σαν πλημμύρα που παραλίγο θα επέφερε την υπερχείλιση του υδατοφράκτη. Παρά το καθυστερημένο άνοιγμα της πύλης ένα τεράστιο κύμα παρέσυρε στο πέρασμα του οικοδομήματα κατά μήκος της κοιλάδας ,ακόμα και ένα μικρό στρατιωτικό αεροδρόμιο ,προκαλώντας το θάνατο σε πάνω από 400 ανθρώπους και καταστροφές σιδηροδρομικών γραμμών και αυτοκινητόδρομων .

Οι παγίδες

1) γεωλογικές: ο χώρος της δεξαμενής ήταν ένα στενό τμήμα από γνεύσιο κατά μήκος της κοιλάδας σκαλισμένα με άνθρακα, βραχώδη σωλήνα για κατασκευή μεγάλου ταμιευτήρα. Εκ πρώτης όψεως, αυτή η βραχώδης μάζα αυτού του παλιού μεταμορφωμένου γνεύσιου δεν φαινόταν να διαφέρει από άλλες παρόμοιες περιοχές της Γαλλίας. Μετά την αποτυχία, μια ροή 50 εκατ. κυβικών μέτρων νερού εξυγίανε τις πλαγιές από οποιαδήποτε χαλαρό ή ακόμα και από διαβρωμένο υλικό, οι βραχώδεις μάζες αποδείχτηκαν πολύ ετερογενείς και διασταυρώνονταν αρμοί διαφόρων διαβαθμίσεων και σε κάθε κατεύθυνση, που διαπιστώθηκε από τον εξέχοντα γεωλόγο Goguel , ο οποίος συμμετείχε στην έρευνα αμέσως μετά την αποτυχία.

Μόνο η αποτυχία έφερε στο φως δύο χαρακτηριστικά της βραχώμαζας που αποδείχθηκαν καθοριστικά . Ένα τεράστιο μπλοκ βράχου θεμελίου έλειπε εκεί που στηριζόταν το αριστερό μισό του τόξου του φράγματος , αφήνοντας την εκσκαφή σε δίδερική μορφή περιοριζόμενη από δύο επίπεδα πρόσωπα , τα οποία είναι ορατά σήμερα.



Στο κατάντη πρόσωπό του ήταν ρήγμα με λεπτό κάλυμμα θρυμματισμένου πέτρωματος. Στο ανάντη πρόσωπό του μοιάζει σαν ένα σύνολο από δάκρυα μαζί με δύο ή περισσότερες επιφάνειες με σχήμα φύλλου, χωρίς θρυμματισμένους βράχους. Ούτε το ρήγμα ούτε το φυλλοειδές σχήμα είχαν αναγνωριστεί πριν. Το περίγραμμα θα μπορούσε να βοηθήσει να συμπεράνουμε, τη θέση του ρήγματος, αλλά η καθετότητα προς τον άξονα της κοιλάδας και οι 45° ανάντη θα θεωρούνταν ως απόλυτα ουδέτερα σε σχέση με τις ωθήσεις που λάμβανε από το φράγμα. Στη συνέχεια ούτε αυτή η φυλλοειδής μορφή του γνεύσιου είχε εμφανιστεί λόγω του ότι ήταν πολύ ετερογενής. Έτσι, μια γεωμετρική παγίδα ήταν εκεί, περιμένοντας τη δύναμη που θα μπορούσε να μετακινήσει το μπλοκ, το οποίο εμφανίστηκε αργότερα.

Κάποιος μπορεί να αναρωτηθεί γιατί οι οπές δεν είχαν προηγουμένως ερευνηθεί ώστε να εντοπιστεί το ρήγμα. Πρώτον, οι περισσότερες οπές διερευνούνταν σε βάθος εκεί που εντοπιζόταν βραχώδες υλικό, αλλουβιο στην κοίτη η οποιοδήποτε χαλαρό υλικό σε οποιαδήποτε από τις πλαγιές της κοιλάδας. Δεύτερον, είναι σήμερα δύσκολο να θυμηθούμε ότι αν υπήρχε τεχνολογία για την ανάκαμψη του πυρήνα τότε μόνο θα ήταν σε θέση να εξετάσει τέτοια χαρακτηριστικά.

Κάποια δείγματα αποκάλυψαν ότι οι βράχοι κοντά στο διέδρο περιείχαν πολύ περισσότερο σερίκίτι από άλλα μαρμαρυγίακα ορυκτά ικανά να αυξήσουν την παραμορφωσιμότητα και να μειώσουν την αντοχή. Κάποιοι ειδικοί είπαν ότι η αστοχία οφείλεται στην φτωχή μηχανική αντοχή του γνεύσιου που τύγχανε να περιέχει διασκορπισμένο σερίκίτη.

2)γεωτεχνικές: Δεν είχαν γίνει καθόλου γεωτεχνικές έρευνες πριν την κατασκευή του φράγματος. Αμέσως μετά την αστοχία πολλές ήρθαν στην επιφάνεια συμπεριλαμβανόμενων σεισμικών μεθόδων, τεστ εργαστηρίων και άλλα.

Μια μικρή σεισμική έρευνα επί τόπου του έργου επιβεβαίωσε την υψηλή παραμορφωσιμότητα των βράχων ,σε συνδυασμό με την υψηλή πυκνότητα της βραχώδους μάζας, όπου η δυναμική μονάδα έδειξε 15000 MPa, πολύ χαμηλό νούμερο για θεμέλια φράγματος.

Μάλιστα περαιτέρω έρευνες έδειξαν ότι η παραμορφωσιμότητα αυτή ήταν 10 φορές μικρότερη από ότι στα περισσότερα μέρη, κάτι το οποίο κανένας δεν είχε υποπτευθεί. Τα δείγματα των βράχων που σταλθήκαν για ανάλυση στα οποία έγιναν δοκιμές σε αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό σε κυλινδρικά δοκίμια διαμετρών 10-60μμ . Τα αποτελέσματα σε αντοχή δεν ήταν πολύ χαμηλά ,αλλά η διασπορά των στοιχείων του ήταν μεγάλη.



Όλα τα δείγματα από το φράγμα έδειχναν υψηλή ευαισθησία στην τάση αυτό θεωρήθηκε ως η κύρια αιτία αστοχία, όταν το φορτίο εφαρμοζόταν στα θεμέλια από τον βράχο. Η υψηλή παραμορφωσιμότητα ήταν ικανή να παίζει ρόλο όταν το φράγμα κινιόταν κατάντη λόγω ώθησης, ο βράχος ανάντη δεν ακολούθησε, και μια ρωγμή σχηματιζόταν μεταξύ του βράχου και του σκυροδέματος.

Όσο πιο παραμορφώσιμη είναι η βραχώδης μάζα τόσο πιο πλατύ είναι το άνοιγμα και η ρωγμή επεκτείνεται τόσο πιο βαθιά, έτσι αυξάνετε το ύψος του φράγματος με την υδροστατική άνωση.

3)τεχνικές: Τα περισσότερα φράγματα βαρύτητας είχαν οπές εκτόνωσης δηλαδή κουρτίνες απορροής αλλά τα λεπτά φράγματα θεωρούνταν άτρωτα λόγω της μικρής περιοχής έδρασης τους. Το Malpasset άνοιξε τα μάτια στους σχεδιαστές όσον αφορά την άνωση όχι μόνο κάτω αλλά και μέσα στην κατασκευή ,και μέσα στη μάζα των βράχων κατάντη.

4)τυχαίες παγίδες: I) Ο πληθωρισμός από τον οποίο υπέφερε τη δεκαετία του 50 η Γαλλία επηρέασε την έκβαση του έργου καθώς ο ιδιοκτήτης βιαζόταν να τελειώσει το έργο για να αποφύγει την αύξηση του κόστους δεν ακολούθησε τις συστάσεις του γεωλόγου για περαιτέρω έρευνα

II) Η κατασκευή γέφυρας για την διέλευση των αυτοκινήτων το 1959 έπρεπε να περνάει τον ποταμό περίπου 1 χλμ κατάντη του φράγματος. Καθώς όλες οι εργασίες είχαν ξεκινήσει το νερό δεν εκτονωνόταν καθόλου χάρη στο φράγμα του οποίου η πύλη παρέμενε κλειστή με αποτέλεσμα τα επίπεδα της στάθμης του ταμιευτήρα να ανέβουν πολύ.

III) Η υψηλή αναπάντεχη φθινοπωρινή βροχή η οποία δεν είχε προβλεφτεί ότι μπορεί να υπάρξει.

IV) Την γεωλογική μελέτη που κανένας δε μελέτησε αφού είχε μεσολαβήσει καλοκαίρι και έγινε μονό και μονό για να συμπεριληφθεί στα αρχεία του έργου.

V) Καμία αναφορά δεν είχε γίνει ούτε για την τοποθεσία ούτε για την ημερομηνία και τη σημαντικότητα των ρωγμών που είχαν εμφανιστεί πριν από λίγες μέρες της καταστροφής στο προεκτεταμένο σκυρόδεμα στη λεκάνη απορροής .



Εν κατακλείδι

- Η γεωλογία της περιοχής έκρυβε τις μεγαλύτερες παγίδες
- Η μηχανική συμπεριφορά του βράχου επιδείνωσε τις επικίνδυνες δυνάμεις
- Η πρακτική της αποχέτευσης ήταν μόνο για τα λεπτά φράγματα
- Δυο τυχαία περιστατικά : η κατασκευή γέφυρας και η έντονη βροχή
- Πληθωρισμός, αδυναμία του κράτους για έλεγχο της κατάστασης, εθελουφλία μπροστά στα σημάδια που προμήνυαν κινδύνους, καθώς και ανύπαρκτο καταρτισμένο προσωπικό.

Τα αίτια της κατάρρευσης συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Ένα τεκτονικό ρήγμα κατάντη του φράγματος το οποίο δεν έγινε αντιληπτό στη φάση σχεδιασμού και την κατασκευή του φράγματος.
- Η κατάσταση του βραχώδους υλικού του δεξιού αντερείσματος.
- Η ανάπτυξη ασυνήθιστων ανωστικών δυνάμεων κάτω από το φράγμα.
- Η ισχυρή βροχόπτωση που προηγήθηκε της κατάρρευσης και είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της στάθμης στον ταμιευτήρα κατά 5 m.



Πριν την καταστροφή:



Μετά την καταστροφή:



Κεφάλαιο 3.2 : Φράγμα Vaiont

Στις 9 Οκτωβρίου 1963 καταστροφική κατολίσθηση εμφανίστηκε ξαφνικά στη νότια πλαγιά του φράγματος Vaiont. Μια μάζα περίπου 270 εκατ. m³ κατέρρευσε δημιουργώντας ένα κύμα που υπερέβη το φράγμα και χτύπησε την πόλη της Longarone και άλλα χωριά: σχεδόν 2000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους. Πολλές μελέτες και έρευνες πραγματοποιήθηκαν για τις γεωλογικές και γεωτεχνικές πτυχές και πολλές απόπειρες έγιναν για να εξηγήσουν την κινηματική και δυναμική της κατολίσθησης. Αυτή η μεγάλη μάζα των μελετών και ερευνών έχει αυξήσει σημαντικά την κατανόηση αυτών των φαινομένων, αναγνωρίζοντας την δραστηριότητά τους, την πρόβλεψη της δυναμικής συμπεριφοράς τους και τον εντοπισμό των πιθανών περιοχών ενεργοποίησης και εναπόθεσης. Η παρούσα δημοσίευση αναφέρει εν συντομία όλες τις πληροφορίες που αναφέρονται σε σχετικά έγγραφα, σε σχέση με τις γεωλογικές μελέτες, με τη χρονολογική σειρά των γεγονότων πριν από τις 9 Οκτώβρη του 1963 και στις διαφορετικές ερμηνείες της ενεργοποίησης της κατολίσθησης και την πραγματική μηχανική και δυναμική.

Εισαγωγή

Στις 9 Οκτωβρίου του 2003 ήταν η 40η επέτειος της κατολίσθησης του Vaiont. Πολλές ερωτήσεις, νομικές, οικονομικές, κοινωνικές και επιστημονικές συνόδευσαν την ιστορία του φράγματος και την διαχείριση της κατάστασης έκτακτης ανάγκης όσον αφορά την αστάθεια των πρανών στη δεξαμενή του. Το φράγμα Vajont, ένα φράγμα διπλής καμπυλότητας, λεπτό, τοξωτό, 276 μέτρα ύψος, κατασκευάστηκε μεταξύ του 1957 και του 1960, βρίσκεται στο στενό και με απότομη κλίση πρανών της κοιλάδας του Vajont River (βορειοανατολική Άλπεις). Η κατολίσθηση του Vaiont έχει αποτελέσει αντικείμενο πολυάριθμων μελετών, όχι μόνο λόγω των καταστροφικών συνεπειών του, αλλά και λόγω της μη αναμενόμενης συμπεριφοράς του. Η γεωλογική έκθεση τους (GIUDICI & Semenza, 1960) έδωσε μια σαφή λεπτομερή συζήτηση για την γεωλογία και υποβάλε την υπόθεση της ύπαρξης μιας πολύ παλιάς κατολίσθησης στην περιοχή της αριστερής όχθης του ταμιευτήρα Vaiont. Κατά τη διάρκεια των ερευνών τους ανακάλυψαν, ότι στην πραγματικότητα, μια ζώνη είχε υποστεί σπάσιμο (που ονομάζεται "μυλονίτης") η οποία εκτείνεται περίπου 1,5 χλμ. κατά μήκος της αριστερής πλευράς της κοιλάδας που αντιστοιχεί στο ολισθηρό επίπεδο της προϊστορικής κατολίσθησης. Παρ' όλα αυτά, οι σχεδιαστές του φράγματος κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μια βαθιά κατολίσθηση ήταν πολύ απίθανο να συμβεί, κυρίως λόγω τόσο της ασύμμετρης μορφή της κοιλάδας, που αναμένεται να λειτουργήσει ως ένα φυσικό σπάσιμο για πιθανές κινήσεις πρανών, αλλά και λόγω της καλής ποιότητας των επί τόπου πετρωμάτων, όπως προκύπτει από σεισμικές έρευνες. Όμως, μετά από σχεδόν 3 χρόνια διακοπής, αργές κινήσεις

πρανών, άρχισαν την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα, στις 9 Οκτωβρίου 1963 και 22.39 τοπική ώρα και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας αδειάσματος της τρίτης δεξαμενής μια καταστροφική κατολίσθηση προκλήθηκε ξαφνικά στη νότια πλαγιά του βουνού. Η βουνοπλαγιά Τοκ και η συνολική μάζα κατέρρευσε μέσα στη δεξαμενή σε λιγότερο από 45 s. Η μάζα, με όγκο περίπου 270 εκατ. m³, δημιούργησε ένα κύμα το οποίο υψώθηκε 140 μέτρα πάνω από την κορυφή του φράγματος και είχε ακόμα ύψος περίπου 70 μ. κατάντη, στη συμβολή της με το Vaiont Piave Valley. Το κύμα χτύπησε την πόλη της Longarone και άλλα χωριά: σχεδόν 2000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους.

Είναι πλέον γενικά αποδεκτό ότι η αποτυχία συνέβη από τις κατά μήκος λωρίδες από πηλό εντός της μάζας ασβεστόλιθου. Επίμονες βροχοπτώσεις λίγο πριν από την καταστροφική αποτυχία μπορεί επίσης να είχαν συμβάλει σημαντικά στη διατήρηση των αυξημένων πιέσεων επί των υδάτων. Η κατάρρευση έχει θεωρηθεί είτε ως ενεργοποίηση μιας παλιάς κατολίσθησης ή ως μια πρώτη κατολίσθηση. Η δυναμική ανάλυση αποδίδει ταχεία κατάρρευση σε ασυνήθιστους μηχανισμούς, όπως η εξάτμιση των υπογείων υδάτων κατά την ολίσθηση (η μείωση του πηλού σε διατμητική αντοχή με την αύξηση του ρυθμού παραμόρφωσης, ή αλλιώς η επιτάχυνση των βράχων παράγει μια απότομη πτώση στην αντίσταση. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν ορισμένες αμφιβολίες σχετικά με τους όρους της αποτυχίας του σχεδιασμού πριν από την κατάρρευση, σε σχέση τόσο με το μηχανισμό κατά τον οποίο ελέγχονται τα ποσοστά της κίνησης κατά τη διάρκεια των τριών ετών που προηγούνται της αποτυχίας και την ξαφνική επιτάχυνση της μάζας, από μερικά εκατοστά ανά ημέρα έως περίπου 30 m/s².



Το λεπτό τοξωτό φράγμα αντιστάθηκε στις δυνάμεις που ασκούνταν από την ανεπάρκεια κατολίσθησης και υπέστη μόνο μικρές ζημιές. Ο LEONARDS (1987) ανέφερε ότι το φράγμα Vaiont άντεξε μια δύναμη οκτώ φορές μεγαλύτερη από ό, τι είχε σχεδιαστεί για να αντέξει.

Η ιστορία του Vaiont είναι κάτι περισσότερο από ένα χρονολόγιο από τεχνικές εργασίες και φυσικά γεγονότα: φαίνεται να είναι ένα σύνολο από παράγοντες οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν με διαφορετικούς τρόπους.

Εκείνοι που έχτισαν το φράγμα Vaiont εργάζονταν για ένα αριστούργημα στην ιστορία της μηχανικής, και το φράγμα Vaiont στην πραγματικότητα είναι ένα αριστούργημα. Ωστόσο, ακόμη και αν ο Τοc είχε σημαντικούς λόγους να υποπτεύονται τη σταθερότητα των βόρειων πρανών, τους τεχνικούς και τους εμπειρογνώμονες του εν λόγω χρόνου και αναμενόταν μια πολύ μεγάλη και αργή κίνηση κατολίσθησης, αλλά ελέγχονταν από τη δεξαμενή οι διαδικασίες.

Η καταστροφική αποτυχία της κατολίσθησης το 1963 έχει αποδείξει σε επαγγελματίες και ερευνητές στους τομείς των έργων πολιτικού μηχανικού και της τεχνικής γεωλογίας, ότι η σημασία της πραγματοποίησης λεπτομερών γεωλογικών ερευνών στις στενές και απότομες άκρες των τοιχωμάτων της κοιλάδας, είναι προγραμματισμένες όπως η δεξαμενή για μεγάλα φράγματα.

Η αποτυχία μιας μεγάλης μάζας κατολίσθησης μπορεί να είναι πολύ πολύπλοκη και είναι δύσκολο να αξιολογηθεί, ακόμη και κορυφαίοι ειδικοί μπορεί να αποτύχουν να φτάσουν σε σωστά συμπεράσματα αν δεν κατανοούν πλήρως όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν τον μηχανισμό και την εξέλιξη της κατολίσθησης. Παρ' όλα αυτά, σε οποιαδήποτε μεταγενέστερη εξέταση και αξιολόγηση για την ιστορία Vaiont, πρέπει να ληφθούν υπόψη η γνώση και οι τεχνολογίες που ήταν διαθέσιμες εκείνη την περίοδο για την αντιμετώπιση προβλημάτων ευστάθειας πρανών.

Αυτό το έγγραφο θα εξετάσει τα γεγονότα που συνόδευσαν την κατασκευή του φράγματος και μερικές από τις σχετικές έρευνες, και προτείνει εξηγήσεις για την κατολίσθηση.



Γεωλογικές μελέτες σχετικά με την κατολίσθηση Vaiont

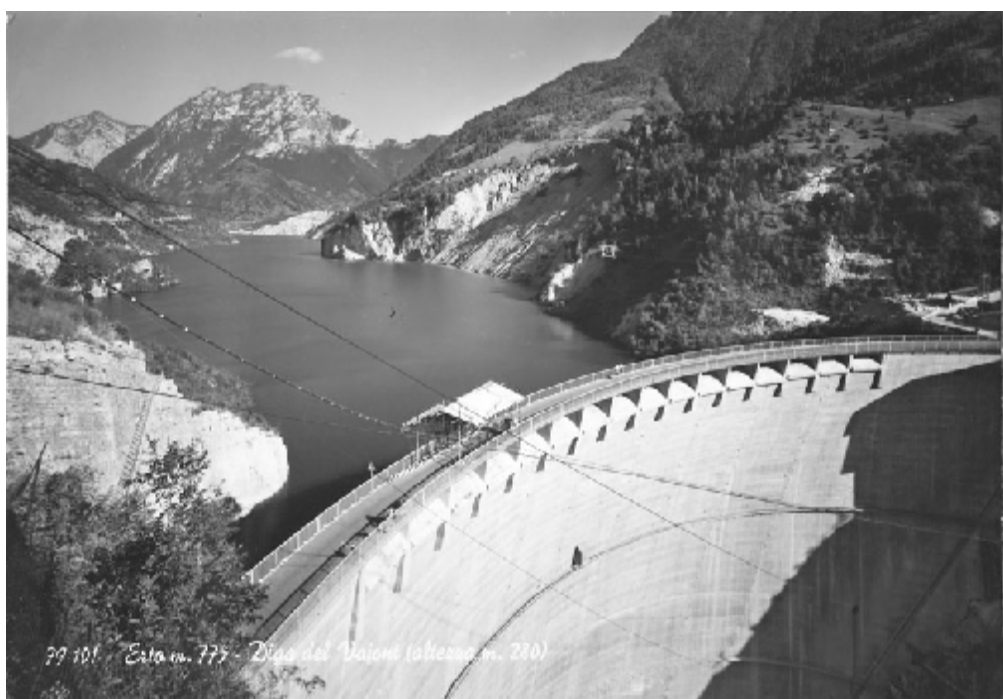
Η ιστορία της κατολίσθησης Vaiont άρχισε τον Μάρτιο του 1959 κατά την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα κοντά στην δεξαμενή του Pontesei (ΣΧ. 1), όταν μια κατολίσθηση περίπου 6x106 m³ ολίσθησε μέσα στη δεξαμενή και ένα τεράστιο κύμα λίγων μέτρων παρήγε υπερχειλίση του φράγματος. Κατά την περίοδο αυτή, η κατασκευή του Vaiont ήταν ήδη σε προχωρημένο στάδιο και, ως εκ τούτου, πρόεκυψε η ανάγκη να εξακριβωθεί αν υπάρχει καμία πιθανότητα βλαβών στην κλίση.

Γεωλογικό τοπίο της κοιλάδας του Vaiont

Το Vaiont, ένα 276 μέτρα υψηλό λεπτό τοξωτό φράγμα, ήταν το υψηλότερο δίτοξο φράγμα στην Ευρώπη. Αυτό υποστηρίχθηκε από τις απότομες πλαγιές από ένα βαθύ φαράγγι που κόπηκε σε δολομιτικούς ασβεστόλιθους της εποχής Malm και Dogger. Η πλήρης δεξαμενή υπολογιζόταν να έχει όγκο των 169 εκατ. m³.

Το Vaiont Valley διαβρώθηκε κατά μήκος του άξονα Eastwest, και μια ασύμμετρη κοιλάδα βυθιζόταν ανοδικά στην Ανατολική πλευρά (Erto syncline). Μια απότομη μονοκλινή κάμψη στο νότιο σκέλος της κοιλάδας σχημάτισε μια ιδιομορφία και μια σημαντική πτυχή της γεωλογίας της επιφάνειας. Η νότια πλαγιά του βουνού αποδεικνύεται σαν “μορφή καρέκλας” δομή όπως τα κρεβάτια στα αεροπλάνα δηλαδή με μια απότομη πλάτη και μια επίπεδη σε αντιστοιχία με την ανεπάρκεια της επιφάνειας, η οποία είναι σαφώς ορατή από την ανατολική πλαγιά της κοιλάδας Ríave μπροστά από την Longarone.

Οι κατολισθήσεις εμπλέκουν τους βράχους Jurassic και Κρητιδική (ασβεστόλιθοι και μάργες κυρίως του Σχηματισμού Socchér), περισσότερο ή λιγότερο σπασμένους, οι οποίες γλίστρησαν κατά μήκος της «μορφής καρέκλας», στο Fonzaso Fm. Νέα δεδομένα για την Χρονοστρωματογραφία για την ημερομηνία του τμήματος του Vaiont το Fonzaso Formation ως Callovian-Kimmeridgian (Dogger- Malm εποχή) (COBIANCHI & Picotti, 2003). Η επιφανειακή μάζα το 1963 κινείται κυρίως σε ένα ή περισσότερα στρώματα αργίλου που περιέχεται στο Fonzaso Fm., τα οποία υποτίθεται ότι είναι συνεχή πάνω σε μεγάλες περιοχές της επιφάνειας ολίσθησης.



Επιπλέον, γεωλογικές και τεκτονικές ενδείξεις υποδηλώνουν ότι τμήματα της περιμέτρου της κατολίσθησης το 1963 και της προϊστορίας ανταποκρίνονται άμεσα σε ένα ή περισσότερα σφάλματα. Η πλειοψηφία του ολισθαίνοντος κομματιού μετακινήθηκε σαν σύνολο και έφτασε στην απέναντι πλευρά της κοιλάδας, χωρίς οποιαδήποτε αλλαγή στο σχήμα, εκτός από μια γενική περιστροφή όπως υποδεικνύεται από την μορφολογία της επιφάνειας, από τη γεωλογική δομή και την αλληλουχία η οποία παρέμεινε ουσιαστικά αμετάβλητη μετά την κίνηση. Η ώθηση της μάζας ολίσθησης ήταν τόσο ισχυρή ώστε κινήθηκε ανηφορικά, για περίπου 50 μ. από την δεξιά πλευρά της κοιλάδας, ένα μεγάλος λόφος που ονομάζεται Colle Isolato (περίπου 2,5 εκατομμύρια m³), εκπροσωπεί τα απομεινάρια της προϊστορικής κατολίσθησης.

Χρονολόγιο των γεγονότων πριν τις 9 του Οκτώβρη του 1963

Κατά τη στιγμή της κατασκευής του φράγματος Vaiont, μία δεξαμενή εκτίμησης ευστάθειας πρηνών δεν περιλαμβάνονται συνήθως στο έργο. Ως εκ τούτου, δεν υπάρχουν συγκεκριμένες μελέτες για την Κοιλάδα Vaiont που είχαν πραγματοποιηθεί πριν, εκτός από την γενικότερη γεωλογική μελέτη από BOYER (1913) και DAL Piaz (1928), η οποία δεν έδειξε καμία αρχαία καθίζηση του εδάφους στη νότια πλαγιά του βουνού.

Μετά τον Pontesei, η αναγκαιότητα της αξιολόγησης του προβλήματος της ευστάθειας πρηνών του Vaiont ανατέθηκε από τον ιδιοκτήτη του ταμιευτήρα (η ηλεκτρική εταιρεία SADE) Leopold Müller (MÜLLER 1961, 1964, 1968, 1987), ο οποίος διατύπωσε ένα τεχνικό πρόγραμμα για την περιοχή της λεκάνης απορροής και ανέθεσε τον Edoardo Semenza την γεωλογική μελέτη.

Το κύριο αποτέλεσμα των μελετών Semenza ήταν η ταυτοποίηση μιας παλιάς τεράστιας κατολίσθησης, που είχε υποχωρήσει κάτω από την βόρεια πλευρά του βουνού στην κοιλάδα Vaiont, ακριβώς πριν την θέση του φράγματος. Τα κύρια γεωλογικά και γεωμορφολογικά αποδεικτικά στοιχεία για τη στήριξη αυτής της υπόθεσης μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Μια ζώνη χωρίς τσιμέντο ήταν παρούσα στη βάση. Το επίπεδο αυτό, στην έκταση 1,5 χιλιομέτρων κατά μήκος του αριστερού τοιχώματος της κοιλάδας Vaiont, αντιστοιχεί στην στρωματογραφία με το Fonzaso Fm. Επιπλέον, σε αντιστοιχία με αυτό, πολλές κοιλότητες, καταβόθρες και υψηλές πηγές εκκένωσης παρατηρήθηκαν.

- Οι κατολισθήσεις γεμίζουν την κοιλάδα του ποταμού Vaiont μετά την υποχώρηση του παγετώνα Würm, όπως μαρτυρά η παρουσία ενός πολύ στενού επιγενόμενου φαράγγιού. Στη συνέχεια, το «νέο» ρεύμα Vaiont τέμνεται από κατολίσθηση αφήνοντας το κύριο μέρος της παλιάς μάζας στην αριστερή πλευρά της κοιλάδας, ενώ ένα τμήμα παρέμεινε στη δεξιά πλευρά. Μόνο αυτή η κατολίσθηση διέφερε από την επιτόπια της βραχώδους μάζας, και ως εκ τούτου ονομάζεται "Colle Isolato" (δηλαδή: Απομονωμένο Χιλ).

- Η νότια πλαγιά του βουνού χαρακτηριζόταν από μια δομή "μορφή καρέκλας", με το ανώτερο τμήμα να βυθίζεται μάλλον απότομα προς την κοιλάδα και το άλλο τμήμα της ισοπεδωνόταν σε μια πιο οριζόντια διαμόρφωση.

- Στο ανατολικό τμήμα της Pian del Toc μια βλάβη διαχωρίζει την επί τόπου βραχομάζα από την παλιά κατολίσθηση.



Όλα μαζί, αυτά τα γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά οδήγησαν τον Semenza, κατά το μήνα Αύγουστο 1960 να καθορίσει τόσο το σχήμα όσο και την περίμετρο της επιφάνειας αποτυχίας, τη γεωμετρία και τον όγκο της παλαιάς κατολίσθησης. Αυτός ήταν επίσης πεπεισμένος ότι η παλαιά μάζα θα μπορούσε να κινηθεί και πάλι κατά την πλήρωση της δεξαμενής.

Στην πραγματικότητα, οι δύο ειδικοί σύμβουλοι της εποχής εκείνης και το μεγαλύτερο μέρος της επιστημονικής κοινότητας για τα επόμενα χρόνια δεν αποδέχονταν την υπόθεση για την ύπαρξη αυτής της παλιάς κατολίσθησης, κυρίως λόγω της γενικής εμφάνισής της: η μάζα που κατολίσθησε πραγματικά έδειξε την διάταξη, σε στρώματα. Στην πραγματικότητα, ήταν αυτό το χαρακτηριστικό, που μαζί με τη σχετική αδυναμία πρόσβασης των πρανών, εμπόδισε τις ακριβείς εξετάσεις και την αναγνώριση της παλαιάς κατολίσθησης για κάποιο χρονικό διάστημα.

Χρονολόγιο των γεγονότων μεταξύ του 1960 και 9 Οκτώβριου 1963

Επί τη βάση της υπόθεσης Semenza, η Müller τον Φεβρουάριο 1961 πρότεινε στο S.A.D.E. την θέσπιση της προφύλαξης μέτρων, η οποία συνιστά κυρίως την καθημερινή τοπογραφική έρευνα για τις επιφανειακές κινήσεις και την ελεγχόμενη αλλαγή της στάθμης του ταμιευτήρα (Muller, 1961) σύμφωνα με την παρατήρηση των ενδεχόμενων κινήσεων (ΣΧ. 6).

Οι πρώτες κινήσεις στην πλαγιά Vaiont ξεκίνησαν το Μάρτιο 1960 με το επίπεδο της δεξαμενής σε 590 υψόμετρο μ., ίδια ήταν η ανύψωση όπως στο δάκτυλο της παλιάς επιφάνειας αστοχίας.

Στη συνέχεια, τον Ιούνιο του 1960, με την στάθμη του ταμιευτήρα περισσότερο από 600 m από την αρχική στάθμη, μικρές κινήσεις της παλιάς μάζας κατολίσθησης ξεκίνησαν στο τμήμα πλησιέστερα προς τη λίμνη. Κατά την περίοδο αυτή, 3 γεωτρήσεις κατασκευάστηκαν προκειμένου να επαληθεύσουν την ύπαρξη και να εντοπίσουν την επιφάνεια αποτυχίας, αλλά δεν επετεύχθη το αναμενόμενο βάθος.

Μια δεύτερη γεωλογική έρευνα, που πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 1960, αποκάλυψε, ότι σε μια περιοχή με ένα υψόμετρο περίπου 920 m από τη στάθμη, η μετάβαση από το θεμέλιο αντιστοιχεί στο άνω όριο της παλιάς κατολίσθησης. Ακριβώς στην αντιστοιχία με το όριο αυτό, μια συνεχής ρωγμή, περίπου ένα μέτρο πλάτος και δύομισι χιλιομέτρων, εμφανίστηκε στο τέλος του Οκτώβρη του 1960 με ποσοστό της κίνησης που υπερέβαινε τα 3 εκατοστά / ημέρα.

Στις 4 Νοεμβρίου, στο επίπεδο της δεξαμενής περίπου στα 650 m από τη στάθμη, μια κατολίσθηση των 7×10^5 m³ αποσπάστηκε από το δυτικό τμήμα της παλιάς και γλίστρησε στη δεξαμενή, δημιουργώντας κύματα περίπου 30 m ύψος. Το επίπεδο αυτό, τότε, βραδέως μειώθηκε σε 600 m a.s.l. (όπου ανήλθε στην αρχή του Ιανουαρίου του 1961), και ένα τούνελ πραγματοποιήθηκε στη δεξιά πλευρά της κοιλάδας. Η μείωση του επιπέδου του ταμιευτήρα έδωσε μια σαφή παρατήρηση για τον πυθμένα του Colle Isolato, η οποία αποδείχθηκε ότι χωρίστηκαν τα αλλουβιακά χαλίκια του παλιού ποταμού Vaiont.



Κατά την περίοδο μεταξύ Ιουλίου και Οκτωβρίου του 1961, τέσσερα πιεζόμετρα είχαν εγκατασταθεί στις χωρίς τσιμέντο γεωτρήσεις και τα τρία από αυτά κατέγραψαν την στάθμη των υπόγειων υδάτων μέχρι τον Οκτώβριο 1963 . Τον Οκτώβριο του 1961, όταν η κατασκευή τη σήραγγας ολοκληρώθηκε, η στάθμη του ταμιευτήρα είχε αυξηθεί σταδιακά και πάλι μέχρι τον Δεκέμβριο του 1962 έφθασε τα 700 m a.s.l.. Εκείνη τη στιγμή, δεδομένου ότι τα ποσοστά μετατόπισης ξεπέρασαν τα 1,5 cm ανά ημέρα (δηλαδή, πολύ λιγότερο από ό, τι η ταχύτητα που επιτεύχθηκε κατά την πρώτη πλήρωση), το επίπεδο είχε μειωθεί πάλι στα 650 m (επιτεύχθηκε τον Μάρτιο του 1963), και οι κινήσεις στην πλαγιά σταμάτησαν.

Η συμπεριφορά της κλίσης σε σχέση με την πλήρωση και την πράξη της πτώσης φαίνεται να επιβεβαιώνει την υπόθεση του Müller ότι οι μετακινήσεις οφείλονταν στον πρώτο κορεσμό των βράχων. Η πεποίθηση ότι το φαινόμενο αυτό ήταν η κύρια αιτία της αστάθειας οδήγησε την S.A.D.E. να αυξήσει το επίπεδο της λίμνης για άλλη μια φορά, ακολουθώντας παράλληλα την διατήρηση του κανόνα (της σταδιακότητας) όπως και την προηγούμενη φορά.

Η στάθμη της λίμνης άρχισε να αυξάνεται και πάλι κατά το μήνα Απρίλιο 1963. Οι κινήσεις άρχισαν πάλι μόνο όταν το επίπεδο της δεξαμενής επιτεύχθηκε στα 700 m: όταν όμως η ταχύτητα ήταν χαμηλή, το επίπεδο του δοχείου αυξήθηκε και πάλι. Η ταχύτητα της μάζας παρέμεινε σε χαμηλά επίπεδα, στις αρχές Σεπτεμβρίου, σε υψόμετρο 710 m, μια άμεση αύξηση στην τιμή της κλίσης μετακινήθηκε από 0,5 έως 1,0 εκ. / ημέρα και παρατηρήθηκε ότι συνέχισε να αυξάνεται όλο τον Σεπτέμβριο, φθάνοντας από 2 έως 4 cm / ημέρα στις αρχές του Οκτωβρίου. Υπό τις ίδιες ημέρες, η μείωση του ταμιευτήρα ξεκίνησε και το υψόμετρο της δεξαμενής μειώθηκε σε περίπου 700 m. Η ταχύτητα του ολισθαίνοντος κομματιού από εκείνη την ημέρα είχε αυξηθεί μέχρι 20 cm / ημέρα. Στις 22.39 στις 9 Οκτωβρίου 1963 η νότια πλαγιά του βράχου απέτυχε ξαφνικά πάνω σε ένα μήκος 2 χλμ. και μια επιφάνεια 2 km². Η επιφάνεια 250 μ. πάχος μάζα του βράχου μετακινείται περίπου 300 έως 400 τ.μ. οριζόντια με εκτιμώμενη ταχύτητα από 20 έως 30 m / s, όπου κινούταν από την αρχή μέχρι και τη διακοπή κατά την αντίθετη πλευρά του Vaiont Valley. Η μάζα οδήγησε το νερό της δεξαμενής προς τα εμπρός, δίνοντας αφορμή για ένα κύμα, το οποίο υπερχείλισε το φράγμα περισσότερο από 100 μ. πάνω από την κορυφογραμμή και εκσφενδονίστηκε κάτω από το φαράγγι Vaiont στον πυθμένα του ποταμού Piave. Η πλημμύρα κατέστρεψε τα χωριά Pirago, Villanova, Rivalta και PAE και περισσότερο την πόλη Longarone, με απώλεια σχεδόν 2000 ανθρώπων.

Ερμηνείες του μηχανισμού της κατολίσθησης

Από την καταστροφική αποτυχία, ένα τεράστιο εύρος εργασιών προέκυψε για τα αίτια της κατολίσθησης Vaiont. Ωστόσο, το γεγονός αυτό εξακολουθεί να προκαλεί δύο βασικά ερωτήματα: πώς η κατολίσθηση ενεργοποιήθηκε και γιατί μετακινήθηκε έτσι γρήγορα; Πολλές έρευνες και προσπάθειες για την ερμηνεία τη κατάρρευσης έχουν πραγματοποιηθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων 40 χρόνων, αλλά δεν έχει ακόμη σχηματιστεί μια ολοκληρωμένη εξήγηση τόσο για την ενεργοποίηση αλλά και για την δυναμική του φαινομένου. Έγγραφα σχετικά με την κατολίσθηση Vaiont, που δημοσιεύθηκαν στην διεθνή βιβλιογραφία μετά το 1963, μπορεί να είναι σημαντικά και υποδιαιρούνται στις ακόλουθες ομάδες:

- 1) Τα έγγραφα με βάση γεωλογικά και γεωμορφολογικά δεδομένα που συλλέγονται στο χώρο Vaiont
- 2) Τα έγγραφα που ασχολούνται κυρίως με ορισμένες ειδικές πτυχές που κυμαίνονται στις γεωτεχνικές ιδιότητες των εμπλεκόμενων υλικών, στη φυσική και γεωλογική συμπεριφορά της μάζας, μέχρι και στα διαφορετικά είδη ανάλυσης της σταθερότητας ως ένα μέσο για την κατανόηση του ρόλου των πολλών παραγόντων που εμπλέκονται διαφορετικά στις κατολισθήσεις και στην ανάπτυξη
- 3) Τα έγγραφα που ασχολούνται με την κατολίσθηση Vaiont με πιο ολοκληρωμένο τρόπο.



Το πρώτο και αναμφισβήτητα ένα από τα πιο σημαντικά έγγραφα που περιγράφουν την κατολίσθηση 1963 Vaiont . Μετά από μια λεπτομερή και διεξοδική περιγραφή από τις μελέτες που έχουν διεξαχθεί και των φαινομένων που παρατηρήθηκαν κατά τις διάφορες φάσεις της ιστορίας της δεξαμενής Vaiont, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, ο εσωτερικός κινηματικός χαρακτήρας της μάζας, αφού είχε φτάσει σε ένα ορισμένο όριο ταχύτητας στην αρχή της πτώσης του βράχου, θα πρέπει να ήταν ένα είδος κατάρρευσης. Η μετάβαση από το ένα στάδιο (να σέρνεται η μάζα) σε μια πραγματική ολίσθηση βράχου που προκλήθηκε από την μικρή περίσσεια των κινητήριων δυνάμεων, λόγω της κοινής ώθηση ύδατος ή με το να μειωθεί η αντίσταση των δυνάμεων, που προκύπτουν από την άνωση και το μαλάκωμα των αργιλικών ουσιών κατά τη διάρκεια του τριτοβάθμιου επίπεδου του νερού με ένα προοδευτικό μηχανισμό θραύσης στη βάση της κινούμενης μάζας. Εκτός αυτού, ο Müller απόδωσε την συμπεριφορά της ολισθαίνουσας μάζας, που μετακινούνταν όλη μαζί σε μια εκτιμώμενη ταχύτητα 25-30 m / s, σε μια «αυθόρμητη μείωση της εσωτερικής αντίστασης ». Στο έργο του ο Müller φάνηκε αρχικά να συμφωνεί με τον GIUDICI & Semenza (1960) σχετικά με την ύπαρξη μιας προϊστορικής κατολίσθησης στην περιοχή. Ωστόσο, μετά τα αποτελέσματα των δύο γεωτρήσεων και των γεωφυσικών ερευνών (Caloi, 1966), συνέβαλαν στην κατανόηση μιας νέας για πρώτη φορά κατολίσθησης. Τέλος, όσον αφορά το σχήμα της ολισθαίνουσας επιφάνειας, εκ των υστέρων δήλωσε ότι: «Πολλοί εμπειρογνώμονες κατέληξαν σε ένα επίπεδο ολίσθησης κυρτό περίπου σαν ένα κύλινδρο. Αυτή η υπόθεση, στη συνέχεια εγκρίθηκε από πολλούς επιστήμονες, και αποτελούσε μια πολύ απλή και λογική επεξήγηση της συμπεριφοράς της ολισθαίνουσας μάζας, αλλά «η ακριβής κινηματική παρατήρηση και σύγκριση της μάζας πριν και μετά το 1963, δείχνουν ότι στο μπροστινό μέρος της μάζας έλαβε χώρα ένα «σπρώξιμο» , και όχι απλή μια ανύψωση του ποδιού. Εν κατακλείδι, αν πολλές σημαντικές πτυχές της κατολίσθησης

εξηγηθήκαν, για πολλές άλλες ο συγγραφέας πιστεύει ακράδαντα ότι ήταν απρόβλεπτες.



Τα χαρτιά του KIERSCH (1964, 1965), στα οποία επικαλείται ο MÜLLER (1964), είχαν μεγάλη διάδοση ιδιαίτερα στην αγγλοσαξονική επιστημονική κοινότητα και στις υποθέσεις Kiersch και τμήματα είχαν υποτεθεί έγκυρα σε πολλές μεταγενέστερες μελέτες σχετικά με την κατολίσθηση του Vaiont. Ουσιαστικά, έκρινε ότι η ύπαρξη μιας προϊστορικής κατολίσθησης και η παρουσία μιας αδύναμης ζώνης στα ιδιαίτερα σπασμένα βράχια λόγω των επιπτώσεων που προκύπτουν από την τελευταία παγετώδη περίοδο (πριν 18.000 χρόνια). Σύμφωνα με αυτή, κατέληξε στο ότι: «Πραγματική κατάρρευση προκλήθηκε από την άνοδο της στάθμης των υπογείων υδάτων και με αυξημένες υδροστατικές προσαυξήσεις και πιέσεις σε όλο το εμπρόθετο μέρος του υπεδάφους».

Και πάλι κατά τη διάρκεια του 1964, οι SELLI ET ALI (1964) δημοσίευσαν μια ολοκληρωμένη εργασία σχετικά με την κατολίσθηση Vaiont δίνοντας πλήρεις λεπτομέρειες σχετικά με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά, που χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανακατασκευή της επιφάνειας ολίσθησης, και των υδραυλικών και σεισμικών φαινομένων που συνόδευσαν το ίδιο το γεγονός.

Δήλωσαν, παράλληλα, ότι η μάζα κινείται με μια γενικά ψευδο-πλαστική συμπεριφορά:, το κίνημα ήταν πράγματι δυνατόν, λόγω της εμφάνισης των δευτεροβάθμιων διατμητικών επιφανειών στη βάση του μετώπου της κατολίσθησης.

Η κύρια αίτια της κατολίσθησης που αποδίδονται συγκεκριμένα στη γεωλογική δομή και τη μορφολογία της επιφάνειας, και επίσης στις διακυμάνσεις της στάθμης του ταμιευτήρα. Τέλος, μια δυναμική προσέγγιση του κινήματος επέτρεψε στους συγγραφείς να δημιουργήσουν μια μέγιστη ταχύτητα από 17 m / sec σε περίπου 45 δευτερόλεπτα.

Αρκετοί ερευνητές εκτός Müller και Σελί, και μεταξύ αυτών ο Mencl (1966), υπέθεσαν την ανάγκη να αναλάβουν μια σημαντική απώλεια δύναμης για να εξηγήσουν την υψηλή απόκτηση ταχύτητας της κατολίσθησης. Παραμένουν πολλές αμφιβολίες, στην πραγματικότητα, ως προς τον μηχανισμό ελέγχου του ρυθμού της κίνησης πριν από τη καταστροφική αποτυχία και την ξαφνική επιτάχυνση μέχρι 30 m / s. Διάφορες ερμηνείες έχουν δοθεί και διαφέρουν κυρίως στη εξήγηση του γεγονότος ως μια πρώτη φορά κατολίσθηση ή ως την ενεργοποίηση μιας προϊστορικής.

Η λεπτομερής γνώση της τοπικής στρωματογραφίας έχει θεωρηθεί θεμελιώδης για τη θέση, τη συνέχεια και την ίδια την ύπαρξη του, μια αμφιλεγόμενη πτυχή που οριστικά διευκρινίζεται μόνο μετά το 1985. Η πρώτη αναλυτική μελέτη της τοπικής στρωματογραφίας ήταν από GIUDICI & Semenza. Στη συνέχεια, ο Müller (Muller, 1968), εκ νέου ανέλυσε όλα τα διαθέσιμα δεδομένα και την υποβολή πρόσθετων παραμέτρων στην επιφάνεια του βράχου, και καταλήγουν σε παρόμοια συμπεράσματα, τονίζοντας την σημασία της «μορφής καρέλας» σχήμα της επιφάνειας ολίσθησης. Ο Müller δήλωσε ότι δεν υπήρχαν στην επιφάνεια ολίσθησης στρώματα πηλού ακόμα και αν είχαν σπάνια παρατηρηθεί στρώματα από υλικά (πάχους 1-3 mm), δεν θα μπορούσαν να έχουν παίξει οποιοδήποτε σημαντικό ρόλο στην αποτυχία της επιφάνειας. Επιπλέον, δήλωσε ότι η τιμή της γωνίας τριβής που απαιτείται για να διατηρηθεί μια κατάσταση οριακής ισορροπίας, ήταν χαμηλή αν συγκριθεί με τις ιδιότητες αντοχής που θα μπορούσε να αποδοθεί στο υλικό που εμπλέκεται στην κυκλοφορία. Έτσι, οι στατικοί μέθοδοι υπολογισμού θα πρέπει να θεωρούνται ανεπαρκείς για να εξηγήσουν τα διαφορετικά φαινόμενα που συνέβησαν κατά τη διάρκεια της ιστορίας Vaiont, τόνισαν την επιρροή του φαινομένου του ερπυσμού και σχετίζονται με τη μείωση της αντίστασης τριβής σε ένα προοδευτικό μηχανισμό αστοχίας της πλαγιάς.



Σήμερα, είναι γενικά αποδεκτό ότι η αποτυχία συνέβη κατά μήκος των επιπέδων της αδυναμίας που αντιπροσωπεύεται από στρώματα πηλού (5-15 cm πάχος) κατά την ασβεστολιθική μάζα. Η αύξηση της πίεσης των πόρων του νερού, λόγω της αύξησης της στάθμης του νερού στη δεξαμενή, εκτός του ότι προκάλεσε μείωση στις αποτελεσματικές πιέσεις, μπορεί να έχει ευνοήσει την κινητοποίηση στα πήλινα στρώματα.

Οι παρατηρήσεις Voight (Voight, 1988), στην κυκλοφορία της πλάγιας πριν από την καταστροφική αποτυχία έχουν δείξει να είναι συνεπής με τη συμπεριφορά της αποτυχίας της αργίλου σε υψηλή πίεση. Αυτή η ερμηνεία έχει θεωρηθεί προβληματική καθώς υποδηλώνει μια αποτυχία των αργίλων, άλλα πρόσφατα πειράματα έδειξαν ότι οι άργιλοι πραγματικά συμπεριφέρονται σαν ένα εύθραυστο υλικό κάτω από υψηλά φορτία, όπως εκείνα που αναμένονται για βαθιές αποτυχίες στην κλίση. Ωστόσο, ακόμα και αν μετά την επαλήθευση των επιπέδων πηλού κατά μήκος της ολισθητής επιφάνειας, εξακολουθεί να είναι πολύ δύσκολο να εξηγηθεί η ταχύτητα κατολίσθησης σε ποσοτικούς όρους.

Πρόσφατα, έχει θεωρηθεί μια αργή βραχώδη ρηγμάτωση ως ένας άλλος μηχανισμός παραμόρφωσης έλεγχου της επιτάχυνσης της γιγάντιας και καταστροφικής αποτυχίας στην πλαγιά. Με το στρώμα παραμορφωμένο, οι τάσεις συμπυκνώνονται στις άκρες των ήδη υπάρχουσών μικρών ρωγμών και, εάν μια κρίσιμη τιμή έχει υπερβεί, αυτές οι συμπυκνωμένες πιέσεις γίνονται αρκετά μεγάλες ώστε να σπάσουν τα υπάρχοντα ομόλογα και οι ρωγμές μεγαλώνουν με επιταχυνόμενο ρυθμό μέχρι να συγχωνευτούν σε μια γενική μοναδική αποτυχία. Επιπλέον, μια αργή ρηγμάτωση εύκολα ενισχύεται με την κυκλοφορία ύδατος, ως αποτέλεσμα των χημικών επιθέσεων, ειδικά στις άκρες των ρωγμών. Έτσι, η παρουσία νερού θα μπορούσε να έχει διπλή επίδραση στην ενεργοποίηση της αποτυχίας του Voight, τόσο και στη μείωση της αντίστασης αυξάνοντας τις πιέσεις των πόρων και, κατά κάποιο τρόπο, καταλύοντας την αποτυχία της στιβάδας.



Η χαμηλή τιμή της κινητικής τριβής που απαιτείται για το όριο της συνθήκης ισορροπίας της κλίσης Vaiont έχει εξηγηθεί επίσης από πλευρά τριβής της θερμότητας και την επακόλουθη αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων. Πράγματι, η μηχανική ενέργεια διαχέεται ως θερμότητα στο εσωτερικό της ζώνης ολίσθησης και μπορεί να οδηγήσει σε εξάτμιση του πόρου του νερού, δημιουργώντας ένα μαξιλάρι, όπως στην πραγματικότητα συνέβη. Οι Voight & FAUST (1982) έδειξαν ότι η δημιουργία θερμότητας μπορεί να αυξήσει τις υψηλές πιέσεις του νερού των πόρων στο εσωτερικό της διατμητικής ζώνης. Πιο πρόσφατα ο Βαρδουλάκης (2002) αναδιατυπώνει το σύνολο των εξισώσεων που διέπουν την κίνηση μιας γρήγορης παραμόρφωσης της διάτμητικής ζώνης, δείχνοντας πως περιέχουν, ως άγνωστες λειτουργίες, η πίεση των πόρων νερού, η θερμοκρασία και η ταχύτητα πεδίου στο εσωτερικό της διατμητικής ζώνης αύξηση της πίεσης των πόρων, ενισχύεται από τον συντελεστή αυξημένης τριβής, του πορώδους και της παραμορφωσιμότητας και διατηρείται υπό συνθήκες ταχείας ολίσθησης, και μπορεί να προκαλέσει ταχεία τριβή, απώλεια δύναμης, όπως να μετατρέψει μια μέτρια ολίσθηση σε μια καταστροφική αποτυχία. Οι Vaiont & FAUST (1982) προσπάθησαν επίσης να βρουν μια εξήγηση για το δυναμικό πρόβλημα του Vaiont και πρότειναν ένα θερμικό μηχανισμό. Άρχισαν την ανάλυση από το μοντέλο της Ciabatti (1964), το οποίο υπολογίζεται με μια μέγιστη ταχύτητα 17 m / s και συνολική διάρκεια της ολίσθησης από 45 s, αλλά, λαμβάνοντας υπόψη τόσο ένα μεταβλητό συντελεστή τριβής και ένα πόρο αύξησης της πίεσης νερού λόγω τριβής-θέρμανσης. Επιτάχυνση, ταχύτητα (μέγιστη: 26 m / s) και ο χρόνος που πέρασε η μάζα Vaiont, στη συνέχεια, υπολογίζονται ως συνάρτηση των μετατοπίσεων. Ο NONVEILLER (1978? 1987) θεώρησε την ανάπτυξη της τριβής-θερμότητας στην επιφάνεια αστοχίας ως αναγκαία λειτουργία για να εξηγήσει την υψηλή ταχύτητα και τη μακρά τροχιά της διαφάνειας Vaiont. Αυτός υπολόγισε μια μέγιστη ταχύτητα από 15 m / s, που ελήφθη λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο της μείωσης της αντίστασης της μάζας. Πρόσφατα, επίσης, οι Semenza & MELIDORO (1992) θεώρησαν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη τριβής-θερμότητας κατά τη διάρκεια της τελικής επιταχυνόμενης κίνηση για να εξηγήσει την υψηλή ταχύτητα και την πολύχρονη πορεία της διαφάνειας Vaiont.

Κατέληξαν στο συμπέρασμα, ωστόσο, ότι ο μηχανισμός αυτός μπορεί να προκαλέσει πραγματικά μια μείωση στην διατμητική αντοχή πηλού έτσι ώστε η όλη μάζα μπορούσε να επιτύχει μια πολύ υψηλή ταχύτητα, αλλά από την άλλη πλευρά θα μπορούσε να είναι αποτελεσματική μόνο μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα από την έναρξη της κίνησης.



Οι HENDRON & PATTON (1985), ξεκινώντας από τα αποτελέσματα, σημείωσαν σημαντική πρόοδο στην επίλυση ορισμένων από τα αναφερθέντα προηγουμένως προβλήματα. Τα κύρια αποτελέσματα της μελέτης μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

- 1) το 1963 η εκδήλωση Vaiont ήταν μια επανεργοποίηση μιας παλιάς κατολίσθησης, πιθανώς συμβαίνουν στις μετα-παγετώδους περιόδους
- 2) η μάζα ολισθαίνει επί ενός ή περισσότερων επίπεδων αργίλου, μερικά από τα οποία, όσο το 10 cm πάχος ίσως θα μπορούσε να αντιπροσωπεύεται τόσο από ένα συνεχή αδιάβροχο στρώμα και ένα ασθενές επίπεδο με εναπομένουσα γωνία τριβής τόσο χαμηλά όσο 5°
- 3), με βάση τα αποδεικτικά στοιχεία ασβεστόλιθων, η λύση φαίνεται στην περιοχή της στεφάνης, όπου η ύπαρξη δύο υδροφόρων οριζόντων στη βόρεια πλαγιά του Mt. Toc, που χωρίζονται από τα προαναφερθέντα επίπεδα αργίλου, θα μπορούσαν να εικαστούν. Μια επανεξέταση των μετρούμενων παιδομετρικών επίπεδων υποστηρίζει αυτό το υδρογεωλογικό μοντέλο, και εγκρίθηκε για την ανάλυση σταθερότητας. Η στάθμη των υπόγειων υδάτων ήταν εξαιρετικά εύθραυστη και η διαπερατή μάζα κατολίσθησης όπου κυρίως επηρεαζόταν από το επίπεδο της δεξαμενής, ενώ ο κάτω υδροφόρος ορίζοντας, εκπροσωπούμενος από την Calcare del Vaiont Fm., δεν τροφοδοτούταν μόνο από την δεξαμενή, αλλά και από την καθίζηση που έπεσε στην υδρογεωλογική λεκάνη. Αυτό το υδρογεωλογικό σύστημα προτείνει, ως εκ τούτου, τη δυνατότητα μιας ανάπτυξης υψηλής πίεσης του νερού, λόγω της βροχής ή το λιώσιμο του χιονιού στην διείδυση στο Mt. Toc.

Ένας μεγάλος αριθμός των δύο διαστάσεων ισορροπίας του ορίου ανάλυσης έγινε μετά την αποτυχία των διαφόρων ερευνητών. Οι LOETAL (1971) πραγματοποίησαν οριακή ισορροπία ανάλυσης της επιφάνειας του Vaiont χάρη της χρήσης της μεθόδου

Janbu για μη κυκλικές επιφάνειες. Θεώρησαν μια συρόμενη μάζα να σχηματίζεται σε δύο σφήνες και να χωρίζονται από μια κατακόρυφη ασυνέχεια που βρίσκεται κοντά στο κέντρο της μάζας των επιφανειών. Στην περίπτωση υπογείων υδάτων που αντιστοιχούν στην στάθμη του νερού της δεξαμενής, πήραν μια γωνία τριβής σε όριο ισορροπίας τόσο χαμηλό όπως 13° .

Η γωνία τριβής που απαιτείται για τη σταθερότητα, προ-υπολογίζεται από HENDRON & PATTON (1985), κυμαίνονταν από 17° έως 28° , αλλά τα δεδομένα της δοκιμή αντοχής στον πηλό κατά μήκος της αποτυχημένης επιφάνειας έδειξαν γωνίες τριβής που κυμαίνονται από 5° έως 16° , με μία μέση τιμή περίπου 12° . Αυτές οι τιμές είναι σίγουρα λιγότερες από εκείνες που απαιτούνται για τη σταθερότητα και για την πλαγιά δεν θα υπήρξαν σταθερές ακόμη και πριν από την πλήρωση της δεξαμενής.

Δεδομένου ότι η κλίση ήταν τουλάχιστον οριακά σταθερή για κάποιο χρονικό διάστημα πριν από την αστοχία, οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ορισμένοι παράγοντες του έλεγχου των συνθηκών σταθερότητας της κλίσης δεν αντιστοιχούσαν στις δύο διαστάσεων ισορροπίας του ορίου της ανάλυσης. Για να επιλύσετε αυτήν τη διαφορά πραγματοποιείται τρισδιάστατη ανάλυση σταθερότητας που αντιπροσωπεύουν την ιστορία των κινήσεων, η καταγραφή των επιπέδων της δεξαμενής, το σχήμα της επιφάνειας αστοχίας, η υποτιθέμενη κατανομή της πίεσης του νερού και της στάθμης των υδάτων και, τέλος, οι κατάλληλες τιμές διατμητικής αντοχής. Η υψηλή ταχύτητα της κατολίσθησης αποδόθηκε στις υψηλές πιέσεις που δημιουργήθηκαν από την εξάτμιση κατά μήκος της αποτυχημένης επιφάνειας. Εν κατακλείδι, το 1963 η κατολίσθηση συνέβη από τον συνδυασμό των επιπτώσεων της αύξησης της στάθμης του ταμιευτήρα και την αύξηση των πυρομετρικών επιπέδων, ως αποτέλεσμα των βροχοπτώσεων. Η σχέση μεταξύ αθροιστικής βροχόπτωσης και επιπέδων δεξαμενής δείχνουν τις συνθήκες, αποδίδοντας μια κατανομή της πίεσης του νερού που θα μπορούσε να προκαλέσει μία κατάσταση αστάθειας.

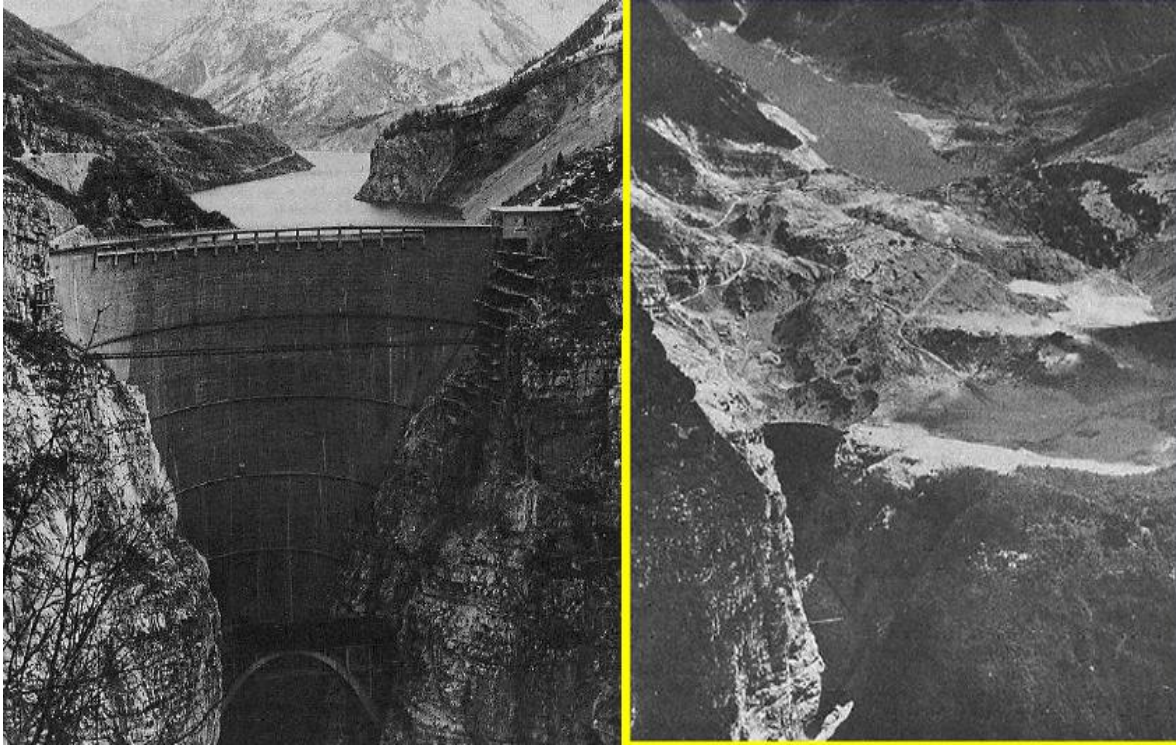


Για μια ρεαλιστική ενσωμάτωση της κινηματικής ανάλυσης SITAR & MACLAUGHLIN (1997) εισήγαγαν την τεχνική της ασυνεχούς παραμόρφωσης ανάλυσης της οποίας κύρια πλεονεκτήματα είναι ότι: i) η πραγματική λειτουργία της αποτυχίας δεν πρέπει να θεωρείται πριν ii) ο υπολογισμός των μετατοπίσεων και ταχυτήτων, (δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί με μεθόδους ισορροπίας), είναι πράγματι δυνατόν. Για την ανάλυση χρησιμοποίησαν μια απλοποιημένη διατομή του HENDRON & PATTON (1985) που υποδιαιρείται σε ένα διαφορετικό αριθμό πλακών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, σε ξηρές συνθήκες, ένα ενιαίο σύνολο θα απαιτούσε για τη σταθερότητα γωνία τριβής μόνο 8 °. Αλλά, εάν η μάζα διαιρείται μόνο με μια ενιαία κατακόρυφη ασυνέχεια σε δύο πλάκες η απαιτούμενη γωνία τριβής κατά μήκος του ολισθαίνοντος επίπεδου ανεβαίνει σε τιμές μεταξύ 8 ° και 14°, ανάλογα με τη θέση της κάθετης ασυνέχειας και την εξεταζόμενη γωνία τριβής μεταξύ των πλακών.

Ο CHOWDHURY (1978) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο οριακής ισορροπίας αλλά και τη μοντελοποίηση της προοδευτικής ανεπάρκειας, παρατήρησε παρόμοια αποτελέσματα.

Η συμπεριφορά που παρατηρήθηκε σε αυτήν την ανάλυση είναι συνεπής με το μοντέλο που προτάθηκε από Jaeger (1972), ο οποίος σημείωσε επίσης την ύπαρξη μιας μη ομοιόμορφης ζώνης εξασθένησης της φυσικής αποδυνάμωσης διαχωρίζοντας την άνω ολισθηρή μάζα από την κάτω. Αυτό το μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ως επέκταση της προοδευτικής έννοιας της ανεπάρκειας: το ασταθές άνω μέρος του ολισθαίνοντος κομματιού σταδιακά σέρνεται προς τα κάτω και έτσι, οι δυνάμεις στο κάτω σταθερό τμήμα αυξάνονται προοδευτικά μέχρι το σημείο όπου είναι αρκετά υψηλές ώστε να προκαλέσουν ξαφνική αποτυχία μέσα στην κατώτερη σταθερή περιοχή.

Οι TIKA & Hutchinson (1999) πρότειναν πρόσφατα μια νέα υπόθεση για να εξηγήσουν την υψηλή ταχύτητα της κατολίθησης με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών διάτμησης δακτυλίου που πραγματοποιούνται σε δύο δείγματα από την επιφάνεια ολίσθησης σε αργά και γρήγορα ποσοστά διάτμησης. Αμφότερα τα δείγματα έδειξαν μια αρκετά σχετική απώλεια αντοχής αυξάνοντας το ρυθμό διάτμησης σε ελάχιστη γωνία τριβής 5 °, που είναι έως και 60% χαμηλότερη από την υπολειμματική αξία, και λαμβάνεται σε ρυθμούς μεγαλύτερους από 100 mm / min. Ο μηχανισμός αυτός της απώλειας αντοχής, μόνος του ή σε συνδυασμό με άλλους μηχανισμούς, θα μπορούσε να λάβει χώρα και θα μπορούσε να εξηγήσει τη γρήγορη κίνηση και την καταστροφική αποτυχία.



Μια άλλη προσπάθεια για να εκτελέσει μια δυναμική ανάλυση του Vaiont παρουσιάζεται στο έγγραφο του ΒΑΡΔΟΥΛΑΚΗ (2002), ο οποίος αποδέχθηκε την ταχεία πτώση της γωνίας τριβής του πήλινου υλικού του Vaiont όπως προσδιορίζεται από , από την μέγιστη τιμή της ($22,3^\circ$) για τη δυναμική υπολειμματική ($\approx 4,4^\circ$), και υπολογίζεται ότι η ταχύτητα του ολισθαίνοντος κομματιού έφθασε $20 \text{ m} / \text{s}$ 8 δευτερολέπτων μετά την ενεργοποίησή του, που αντιστοιχεί σε μία μετατόπιση της επιφάνειας των 74 m.

Οι Erismann & ABELE (2001) παρουσίασαν μια ενδιαφέρουσα εξέταση επιλεγμένων «σημαντικών γεγονότων» της αποτυχίας των βραχωδών πρανών. Στην κρίσιμη συζήτηση σχετικά με την κατολίσθηση Vaiont βρέθηκαν αντιμέτωποι με το πρόβλημα της ταχύτητας στη λήψη αποφάσεων, στις ενεργειακές γραμμές και τη λειτουργία Fahrböschung και δήλωσαν ότι, με βάση τις επιστημονικές γνώσεις την εποχή εκείνη, η καταστροφή Vaiont, ιδίως όσον αφορά τη μετάβαση από αργή σε γρήγορη κίνηση, θα μπορούσε να έχει προβλεφθεί.

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την κατανόηση και την πρόβλεψη των καταστροφικών φαινομένων προέρχεται από μεγάλης κλίμακας κοινωνικές επιπτώσεις, αλλά η επιστημονική κοινότητα αρχίζει να αναπτύσσει τις έννοιες και τα εργαλεία για την μοντελοποίηση και την πρόβλεψη αυτών των ειδών των εκδηλώσεων. Ακόμη και αν η πρόβλεψη της καταστροφής θεωρείται σχεδόν αδύνατη, μερικοί ερευνητές έχουν βρει αποδείξεις για ένα βαθμό προβλεψιμότητας, τουλάχιστον ορισμένων καταστροφών. Ο Sornette ET AL. (2003) πρότεινε ένα απλό φυσικό, με βάση ένα ρυθμιστικό μοντέλο, για να εξηγήσει τις προηγούμενες επιταχυνόμενες μετατοπίσεις κάποιων καταστροφικών κατολισθήσεων. Το μοντέλο, που προβλέπει δύο διαφορετικά καθεστάτα ολίσθησης (σταθερής και ασταθούς) οδηγεί σε μια κρίσιμη πεπερασμένου χρόνου μοναδικότητα, που ποσοτικά βαθμονομείται για τη μετατόπιση και την ταχύτητα. Τα δεδομένα που προηγούνται της κατολίσθησης παρέχουν καλές προβλέψεις του χρόνου καταστροφής μέχρι 20 ημέρες πριν από την κατάρρευση.

Διδάγματα

Κατολισθήσεις συμβαίνουν σε μια ευρεία ποικιλία των γεωμηχανικών πλαισίων, (γεωλογικές και διαρθρωτικές ρυθμίσεις,) ως ανταπόκριση προς διάφορες φορτώσεις και ενεργοποιήσεις των διαδικασιών. Αυτές συνδέονται συχνά με άλλες μεγάλες φυσικές καταστροφές, όπως σεισμούς, πλημμύρες και ηφαιστειακές εκρήξεις. Το ερώτημα της προβλεψιμότητας των κατολισθήσεων, το οποίο αποτελεί ένα σημαντικό γεωλογικό κίνδυνο με μεγάλη ανησυχία, δεν έχει ακόμη επιλυθεί. Σύμφωνα με τη φύση, κάποια συγκεκριμένη κατολίσθηση είναι ουσιαστικά απρόβλεπτη, και η εστίαση σχετικά με την αναγνώριση των κατολισθήσεων γίνεται σε επιρρεπείς περιοχές. Αυτή η «ανεξάρτητη από το χρόνο κίνδυνου» ισοδυναμεί με την παραδοχή ότι οι κατολισθήσεις είναι μια τυχαία διαδικασία στο χρόνο, και χρησιμοποιεί την γεωμηχανική μοντέλων για να περιορίσει τις μελλοντικές μακροπρόθεσμες επικίνδυνες κατολισθήσεις. Από την άλλη πλευρά, οι προσεγγίσεις όσον αφορά τον συντελεστή ασφαλείας δεν αντιμετωπίζουν το προπαρασκευαστικό στάδιο που οδηγεί στην καταστροφική κατάρρευση.



Η γιγαντιαία κλίση οδηγεί στην κατάρρευση , ένα φυσικό αποτέλεσμα της επιτάχυνσης της παραμόρφωσης λόγω διαφορετικότητας που μέχρι σήμερα ,μόνο ελάχιστα φαινόμενα εξήγησε , και είναι ακόμα λιγότερο κατανοητή . Η καταστροφική κατολίσθηση Vaiont αποδεικνύει την σημασία της εκτέλεσης λεπτομερής γεωλογικής ,γεωμορφολογικής , υδρογεωλογικής και γεωτεχνικής έρευνας και των βραχομάζων και πλαγιών , ιδιαίτερα αυτών που έχουν προγραμματιστεί ως δεξαμενή για τα μεγάλα φράγματα. Σύμφωνα με την εξής καταστροφική αποτυχία, ένα τεράστιο φάσμα εργασιών έχει εντοπιστεί σχετικά με τις αιτίες της αποτυχίας, ο λόγος για αυτό είναι ότι ο μηχανισμός αποτυχίας μιας μεγάλης μάζας κατολίσθησης είναι πολύ περίπλοκο και δύσκολο να αξιολογηθεί εάν όλοι οι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κατολίσθηση δεν έχουν προσεκτικά εντοπιστεί, κατανοηθεί και θεωρηθεί σε όλες τις αποφάσεις που αφορούν την σταθεροποίηση, τον έλεγχο και την αξιολόγηση κινδύνου. Μερικές πλαγιές μπορεί στην πραγματικότητα να αντιδράσουν αρκετά επικίνδυνα σε εναύσματα, ως αποτέλεσμα μιας κρίσης της εσωτερικής ισορροπίας που θα μπορούσε να είναι δύσκολο να προβλεφθεί και είναι και δαπανηρές οι διαδικασίες. Είναι, λοιπόν, σκόπιμο για τον καθορισμό και την επικύρωση των μοντέλων αναφοράς να προγραμματίσουν μέτρα πρόληψης και να διαχειρίζονται καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Η καταστροφική κατολίσθηση Vaiont έδωσε λόγο μελέτης σε μια μεγάλη μάζα μελετών και ερευνών καθώς οι πληροφορίες που αναφέρονται στα σχετικά χαρτιά έχουν αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό για την κατανόηση τέτοιων φαινομένων, αναγνωρίζοντας πρόωρα την δραστηριότητά τους, προβλέποντας την δυναμική συμπεριφορά τους και εντοπίζοντας τις πιθανές περιοχές ενεργοποίησης και απόθεσης, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τις προϋποθέσεις του κινδύνου για τους πληθυσμούς στις ορεινές περιοχές.

Πρίν την κατάρρευση:



Μετά την καταστροφή:



Κεφάλαιο 4 :Χωμάτινα φράγματα

Είναι τεράστια φράγματα κατασκευασμένα από χώμα και βράχια (γαιώδη υλικά). Όπως είναι τα φράγματα βαρύτητας, έτσι και τα χωμάτινα φράγματα βασίζονται στο βάρος τους για να αντισταθούν στην δύναμη του νερού. Σε αντίθεση με τα υλικά του σκυροδέματος που συσσωματώνονται σε μια ενιαία σκληρή και απαραμόρφωτη μάζα τα γαιώδη υλικά συνιστούν μια εύπλαστη και εύκαμπτη μάζα που μπορεί να ενδώσει σε ελαφρές υποχωρήσεις του εδάφους, στο οποίο θεμελιώνονται, χωρίς κίνδυνο καταστροφής. Άλλα είδη χωμάτινων φραγμάτων είναι οπλισμένα με ένα πυκνό, αδιάβροχο πυρήνα που εμποδίζει το νερό να διαρρεύσει μέσα από τη δομή τους.



Κεφάλαιο 4.1 :Φράγμα Teton

Εισαγωγή

Η αποτυχία του φράγματος Teton κατά την αρχική πλήρωση του ταμιευτήρα στις 5 Ιούνη 1976, σκότωσε δεκατέσσερα άτομα και προκάλεσε εκατοντάδες εκατομμύρια δολάρια υλικές ζημιές κατάντη. Μια διεξοδική έρευνα εντόπισε τα αίτια της αποτυχίας και τις προτεινόμενες βελτιώσεις για το σχεδιασμό και την κατασκευή των χωμάτων φραγμάτων. Τα φράγματα παρακρατούν νερό σε τεράστιες δεξαμενές για να παρέχουν τον έλεγχο των πλημμυρών, την υδροηλεκτρική ενέργεια, την αναψυχή, και άλλα οφέλη. Η παλαιότερη χρήση των φραγμάτων ήταν πιθανότατα για άρδευση. Τα φράγματα ήταν πολύ χρήσιμα για την ανάπτυξη του πολιτισμού. Ωστόσο, η δυναμική ενέργεια της δεξαμενής νερού μπορεί να προκαλέσει σημαντικές καταστροφές εάν το φράγμα αποτύχει. Ο κίνδυνος είναι κάτι περισσότερο από θεωρητικός. Σε όλη την ιστορία, φράγματα έχουν αποτύχει και ζωές έχουν χαθεί. Οι Levy και Salvadori (1992) επισημαίνουν ότι η αποτυχία του φράγματος στην Γκρενόμπλ, Γαλλία, καταγράφηκε ήδη από το 1219. Για τα φράγματα που κατασκευάζονται στις Ηνωμένες Πολιτείες πριν από το 1959, κατά μέσο όρο ένας στους πενήντα απέτυχε. Οι Levy και Salvadori (1992) περιγράφουν τις αποτυχίες του South Fork Dam και το Φράγματος Malpasset σε λεπτομέρεια. Η αποτυχία του South Fork στις 31 Μάη του 1889, όπου παρασύρθηκε ένα τείχος νερού ύψους 12 μέτρων που ταξίδευε με 32 kph (20 mph), σκότωσε περίπου 3.000 άτομα σε Johnstown, Πενσυλβάνια, και σε άλλες πόλεις. Αυτή η καταστροφή είναι γνωστό ως το Johnstown Flood. Πιο πρόσφατα, το τοξωτό φράγμα Malpasset από σκυρόδεμα στη Γαλλία απέτυχε στις 2 Δεκεμβρίου 1959, όταν η συναρμογή μετατοπίστηκε και αυτό οφειλόταν σε μια αδύναμη ραφή στο βράχο. Σχεδόν 400 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους (Levy και Salvadori, 1992). Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ασφάλεια των φραγμάτων και την απόδοση μπορούν να αναθεωρούνται στην περίπτωση του Teto, ένα μεγάλο χωμάτινο φράγμα στην ανατολική Αϊντάχο που απέτυχε στις 5 Ιουνίου 1976.



Σχεδιασμός και Κατασκευή

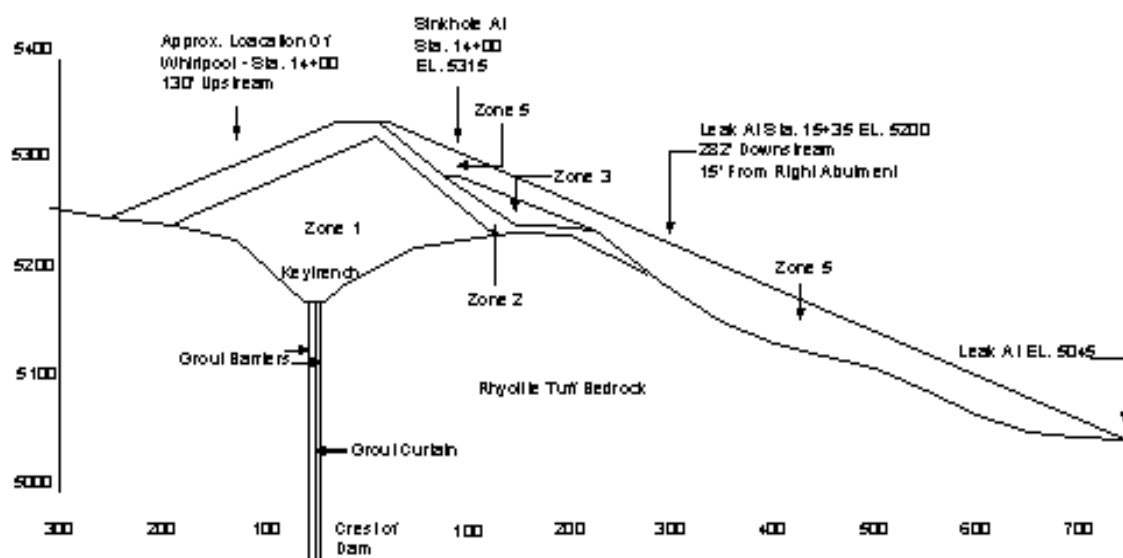
Το Teton Φράγμα βρίσκεται στις όχθες του ποταμού Teton 3 χλμ βορειοανατολικά από Newdale, Αϊντάχο. Είχε σχεδιαστεί για την αναψυχή, τον έλεγχο των πλημμυρών, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και την άρδευση για πάνω από 100.000 στρέμματα χωράφια. Το Γραφείο Σχεδιασμού και Κατασκευής, ΗΠΑ Γραφείο Αποκατάστασης (USBR), στο Ντένβερ Ομοσπονδιακό Κέντρο, σχεδίασε το φράγμα και η κατασκευή του ανατέθηκε στην ομάδα του Morrison-Knudsen-Kiewit τον Δεκέμβριο του 1971. Οι προετοιμασίες για το έργο του φράγματος είχαν ξεκινήσει εδώ και πολλά χρόνια. Η πρώτη ενεργή θέση για την έρευνα στην περιοχή σημειώθηκε το 1932. Μεταξύ 1946 και 1961, ερευνήθηκαν 8 εναλλασσόμενες θέσεις σε απόσταση περίπου 16 χλμ. (10 μίλια) από την επιλεγμένη τοποθεσία. Μεταξύ 1961 και 1970, περίπου 100 γεωτρήσεις ελήφθησαν στην περιοχή (Independent Panel, 1976).

Ο σχεδιασμός του θεμελίου αποτελείται από τέσσερα βασικά στοιχεία:

- 1) 21 μέτρων βάθος, απότομης όψης βασικά χαρακώματα για τα βάθρα πάνω από το υψόμετρο των 1.550 μέτρων (5.100 πόδια)
- 2) μια τάφος αποκοπής σε βράχο κάτω από το υψόμετρο των 1.550 μέτρων (5.100 πόδια)
- 3) μία συνεχής κουρτίνα ενέματος κατά μήκος ολόκληρης της θεμελίωσης και
- 4) η ανασκαφή του βράχου κάτω από τα στηρίγματα (Independent Panel, 1976).

Αυτά τα στοιχεία για τα θεμέλια ήταν σημαντικά γιατί τα είδη των πετρωμάτων που βρίσκονται σε αυτόν τον τομέα, βασάλτης και ρυόλιθος, δεν θεωρούνται γενικά

αποδεκτά για τις διαρθρωτικές βάσεις. Το ίδιο το ανάχωμα αποτελείται από πέντε κύριες ζώνες. Ζώνη 1 ήταν το αδιαπέραστο κέντρο του πυρήνα, το οποίο σχηματίζει τον φραγμό του νερού του φράγματος. Ζώνη 2 επικαλύπτει την Ζώνη 1 και επεκτείνεται προς τα κάτω για να παρέχει ένα στρώμα για τον έλεγχο της διαρροής μέσω του θεμελίου. Ζώνη 3 ήταν προς τα κάτω και η κύρια λειτουργία του είναι να παράσχει δομική σταθερότητα. Ζώνη 4 αποτελούνταν από τις περιοχές αποθήκευσης κάτω από τη δομή ελέγχου και τα προσωρινά καταλύματα χτίστηκαν για να επιτρέπουν το έργο να γίνει. Τέλος, Ζώνη 5 ήταν το λιθόρριπτο στα εξωτερικά μέρη του αναχώματος (Independent Panel, 1976). Μερικά από αυτά τα χαρακτηριστικά φαίνεται στην εικόνα 1.



Εικόνα 1

Η κατασκευή του φράγματος ξεκίνησε το Φεβρουάριο του 1972. Όταν ολοκληρώθηκε, το ανάχωμα είχε μέγιστο ύψος 93 μέτρα (305 πόδια) πάνω από την κοίτη του ποταμού και αποτελούσε έναν ταμιευτήρα των 356 εκατ. κυβικών μέτρων (288.000 στρεμμάτων-πόδια), όταν γέμισε στην κορυφή. Το φράγμα ήταν κλειστό και άρχισε την αποθήκευση νερού στις 3 Οκτωβρίου, 1975, αλλά η έξοδος του ποταμού που λειτουργεί την σήραγγα και η βοηθητική έξοδος δεν άνοιξε (Arthur, 1977). Λόγω του ότι τα τμήματα αυτά είναι ελλιπή, το νερό αυξάνεται με ρυθμό περίπου 1 μέτρο (3 πόδια) ανά ημέρα, η οποία ήταν υψηλότερη από την προκαθορισμένη ταχύτητα στόχου του 0,3 έως 0,6 μέτρα (1 έως 2 πόδια) ανά ημέρα για το πρώτο έτος, όπως ορίζεται από το αμερικανικό γραφείο των Βελτιώσεων. Ωστόσο, το αυξημένο ποσοστό ήταν αναμενόμενο, λόγω των σηράγγων που ήταν ελλιπείς, και θεωρείται αποδεκτή από το Προεδρείο του Βελτιώσεων όσο και η διαρροή και το νερό κατάντη του φράγματος όπου μετρήθηκαν πιο συχνά (Independent Panel, 1976).



Η Αποτυχία

Στις 3 Ιουνίου 1976 πολλές μικρές εισχωρήσεις σημειώθηκαν στο βόρειο τοίχος στηρίξεως. Πολλές εικόνες ελήφθησαν και οι διαρροές αναφέρθηκαν στο Προεδρείο της Βελτιώσεων. Αυτό οδήγησε σε πιο συχνές επιθεωρήσεις του φράγματος. Τώρα επιθεωρούνται καθημερινά, και λαμβάνονται αναγνώσεις δύο φορές την εβδομάδα, αντί μία φορά την εβδομάδα. Στις 4 Ιουνίου, 1976 υγρασία παρατηρήθηκε στο δεξιό αντέρεισμα και μικρές πηγές είχαν αρχίσει να εμφανίζονται (Independent Panel, 1976). Στις 5 Ιουνίου 1976, η πρώτη σημαντική διαρροή παρατηρήθηκε 7:30-08:00 π.μ. Η διαρροή ρέει σε περίπου 500 έως 800 λίτρα ανά δευτερόλεπτο (20 έως 30 cfs) από τον βράχο στο δεξιό αντέρεισμα. Από τις 9.00 π.μ. η ροή είχε αυξηθεί σε 1.100 έως 1.400 λίτρα ανά δευτερόλεπτο (40-50 cfs) και διήθηση είχε παρατηρηθεί περίπου 40 μέτρα (130 πόδια) κάτω από την στέψη του φράγματος (Arthur, 1977). Στις 11:00 π.μ. μια ρουφήχτρα παρατηρήθηκε στη δεξαμενή αμέσως ανάντη από το φράγμα και 4 μπουλντόζες είχαν σταλεί για να προσπαθήσουν να ωθήσουν την εκτροπή στην καταβόθρα κοντά στο φράγμα κορυφής (Independent Panel, 1976). Δύο από τις μπουλντόζες κατάπιαν την ταχέως αναπτυσσόμενη τρύπα, και οι φορείς τραβήχτηκαν με ασφάλεια από σχοινιά δεμένα γύρω από τη μέση τους (Teton Dam Flood @ 2002). Μεταξύ 11:15 και 11:30 π.μ. 6 από 6 μέτρα (20 πόδια από 20 πόδια) κομμάτι του φράγματος έπεσε μέσα στην ρουφήχτρα και μέσα σε λίγα λεπτά ολόκληρο το φράγμα κατέρρευσε (Independent Panel, 1976).

Στις 10:30 π.μ. τα γραφεία αποστολής του Fremont και το Madison County ενημερώθηκαν ότι το φράγμα απέτυχε. Εκτιμάται ότι 300 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού (80 δισ. γαλόνια) με επικεφαλής το Ανώτερο Snake River Valley. Οι πόλεις του περιλαμβάνονται μέσα στην πορεία του είναι Wilford, Sugar City, Rexburg, και Roberts. Ο Elaine Johnson, ο οποίος ήταν έφηβος κατά τη στιγμή της καταστροφής, έχει γράψει λογαριασμό με τους επιζώντες. Περισσότερες από 200 οικογένειες έμειναν άστεγοι. Ο τελικός απολογισμός ήταν 14 που σκοτώθηκαν άμεσα ή έμμεσα και υπολογίζεται ότι περίπου 400 εκατομμύρια έως ένα δισεκατομμύριο δολάρια σε υλικές ζημιές. Κατά τη στιγμή της αποτυχίας η ανύψωση της δεξαμενής ήταν 1.616 μέτρα (5,301.7 πόδια) και η πλήρωση σε ένα ρυθμό από 1 μέτρο (3 πόδια) ανά ημέρα. Σε πλήρη παραγωγική ικανότητα η επιφάνεια του νερού θα ήταν 1,621.5 μέτρα (5,320.0 πόδια) (Γραφείο Αποκατάστασης, 1983).

Διερεύνηση Επιτροπής

Μετά την αποτυχία, ο κυβερνήτης του Αϊντάχο και ο Γραμματέας Εσωτερικών επέλεξε μια ανεξάρτητη επιτροπή για να επανεξετάσει την αιτία της αποτυχίας. Αυτή η ανεξάρτητη επιτροπή απαρτιζόταν από εξέχοντα δημόσιο και γεωτεχνικό μηχανικό, μεταξύ άλλων Wallace A. Chadwick, πρώην πρόεδρος του ASCE, και επιφανών γεωτεχνικών. Οι μηχανικοί Ralph B. Peck, H. Μπόλτον Seed, και ο Άρθουρ Casagrande. Οι ερευνητές ανέπτυξαν γρήγορα ένα λεπτομερές σχέδιο, συμπεριλαμβανομένου του τομέα ανασκαφής του πλημμυρικού κύματος κάτω από την κουρτίνα ενέματος και έκαναν εκτεταμένες εργαστηριακές δοκιμές. Η επιτροπή άρχισε τις εργασίες της σχεδόν αμέσως και εξέδωσε την έκθεσή της τον Δεκέμβριο του 1976 (Independent Panel, 1976).



Η επιτροπή εξέτασε όλες τις πιθανές αιτίες της αποτυχίας και προσπάθησε να επιτύχει την αλληλουχία των γεγονότων που οδήγησαν στην αποτυχία. Κατά τη διάρκεια της έρευνας, οι συνθήκες που ευνοούν τη διάβρωση και οι σωληνώσεις αξιολογήθηκαν. Ένας από τους πρώτους πιθανούς μηχανισμούς θεωρείται ότι αυξήθηκε η καθίζηση της δομής κάτω από το βάρος της δομής και το νερό, η οποία θα οδηγήσει σε ρωγμές. Προσδιορίστηκε ότι αυτό δεν συμβάλλει στην αποτυχία, διότι η σήραγγα κάτω από τον υπερχειλιστή θα μπορούσε επίσης να έχει ραγίσει. Επιπλέον, το χωμάτινο φράγμα είναι σχετικά ευέλικτο και ανεκτικό σε διαφορικές καθιζήσεις. Οι υποθέσεις αποτυχίας εξαλείφονται όπου περιλαμβάνεται σεισμική δραστηριότητα, διαρροή της δεξαμενής, και διαρροή γύρω από το τέλος της κουρτίνας τσιμεντενέσεων, όπως και διαφορική καθίζηση. Κατάσταση ευνοϊκή για τη διάβρωση και για τις σωληνώσεις υπήρχε στη Ζώνη 1, όπου οι πρώτες ύλες ήταν διαβρώσιμη ιλύς. Όπου αυτό το υλικό υπόκειται σε τρεχούμενο νερό θα μπορούσε να επιτεθεί και να πλυθεί μακριά. Αυτή η επαφή μπορεί να έχει συμβεί σε τρεις διαφορετικούς πιθανούς τρόπους. Πρώτον, η διαρροή μέσα από το υλικό θα μπορούσε να προκαλέσει διάβρωση πίσω. Αυτό προσδιορίστηκε να μην παίζει σημαντικό ρόλο στην αποτυχία δεδομένου ότι αυτή η διαδικασία γίνεται πολύ αργά. Δεύτερον, η διάβρωση από άμεση επαφή θα μπορούσε να συμβεί όπου το νερό ήταν σε επικοινωνία με ανοικτούς αρμούς και τρίτον, όπου υπήρχε άμεση επαφή μέσα από ρωγμές στο ίδιο το γέμισμα. Συμπεράναμε ότι τα δύο τελευταία ήταν δυνατόν και πιθανόν να συμβαίνουν ταυτόχρονα (Ανεξάρτητος Panel, 1976). Η τάφος περιείχε ένα καπάκι ενέματος που επικαλύπτει μία κουρτίνα τσιμεντενέσεων που είχε σκοπό να σταματήσει τη ροή, αλλά η έρευνα διαπίστωσε ανοίγματα στην κουρτίνα τσιμεντενέσεων κοντά στο τμήμα της αποτυχίας. Η ομάδα αναθεώρησης επίσης, διαπίστωσε ότι η κατασκευή της κουρτίνας ενέματος διέφερε από τον αρχικό σχεδιασμό. Η προβλεπόμενη αρμολογούμενη διαδικασία ήταν να κατασκευαστεί πρώτα μια σειρά οπών κατάντη, στη συνέχεια, μια σειρά ενέματος οπών ανάντη, και στη συνέχεια μια σειρά ενέματος οπών στο κέντρο. Αυτή η διαδικασία δεν ακολουθήθηκε κατά την κατασκευή και το κλείσιμο των δύο εξωτερικών σειρών, και στο κέντρο μια σειρά ενέματος, δεν έγιναν. Επίσης, η απόσταση μεταξύ των οπών δεν ήταν τόσο όσο καθορίζονται και τα κενά ήταν πιο πιθανό να είναι παρόντες (Independent Panel, 1976). Ωστόσο, δεν υπάρχει κανένας τρόπος να καθορίσει αν αυτό είχε αντίκτυπο στην διάβρωση. Μία άλλη επίπτωση στην διάβρωση ήταν ότι η τοπογραφία κοντά στην τάφο έδειξε ότι το θεμέλιο μάλλον κακώς συμπιέζεται, πράγμα που σήμαινε ότι θα μπορούσε να συμβεί πιο ταχεία διάβρωση (Arthur, 1977). Μια άλλη αιτία της αποτυχίας ερευνηθήκε ότι ήταν η υδραυλική ρηγμάτωση κοντά στις διαρροές του φράγματος. Η υδραυλική ρηγμάτωση προκαλεί ρωγμές όταν το άθροισμα των κανονικών και των τάσεων εφελκυσμού υπερβαίνουν το όριο της πίεσης. Αυτό προσδιορίστηκε λόγω των ρωγμών που υπήρχαν ήδη, η πίεση κάτω από την τάφο ήταν μικρότερη από την πλήρη πίεση του ταμιευτήρα. Με άλλα λόγια, λόγω του γεγονότος ότι η κουρτίνα ενέματος δεν ήταν πλήρως αποτελεσματική, η

ανεπάρκεια πιθανόν να μην οφείλεται στην υδραυλική ρηγμάτωση. Ωστόσο, η υδραυλική ρωγμάτωση μπορεί να ήταν ένας παράγοντας στην αρχική παραβίαση της βασικής πλήρωσης της τάφρου (Independent Panel, 1976). Η αποτυχία καλύτερα εξηγείται συνολικά στην αναθεώρηση προς το Υπουργείο Εσωτερικών από την Ανεξάρτητη Επιτροπή όπο υποστηρίζει ότι η καταστροφή δεν προκλήθηκε από κάποιο απρόβλεπτο μοιραίο συνδυασμό, αλλά επειδή :

(1) ήταν πολλοί συνδυασμοί δυσμενών συνθηκών που συνεπάγονται στο ότι η κατάσταση δεν ήταν ορατή, και επειδή

(2) επαρκείς άμυνες ενάντια σε αυτές τις συνθήκες δεν είχαν συμπεριληφθεί στο σχεδιασμό.



Η επιτροπή συνόψισε τα συμπεράσματά της :

1. Η προσχεδιασμένη τοποθεσία και οι γεωλογικές μελέτες ήταν «κατάλληλες και εκτεταμένες».
2. Ο σχεδιασμός ακολούθησε καθιερωμένες πρακτικές USBR, αλλά χωρίς επαρκή προσοχή με τις ποικίλες και ασυνήθιστες γεωλογικές συνθήκες της περιοχής.
3. Τα ηφαιστειακά πετρώματα της περιοχής είναι "υψηλής διαπερατότητας και μέτρια έως έντονα σε εγκάρσια σύνδεση."

4. Τα εδάφη πλήρωσης που χρησιμοποιούνται , "είναι ελαφρώς πλαστικά αργιλώδη," και είναι ιδιαίτερα διαβρώσιμα. Η κατάταξη του εδάφους ήταν ML.
5. Η κατασκευή πραγματοποιήθηκε σωστά και σύμφωνα με το σχεδιασμό, εκτός από τον προγραμματισμό.
6. Ο ταχύς ρυθμός πλήρωσης του φράγματος δεν συμβάλλει στην αποτυχία. Εάν το φράγμα είχε γεμίσει πιο αργά, "μια παρόμοια αποτυχία θα είχε συμβεί σε κάποια μεταγενέστερη ημερομηνία."
7. Σημαντική προσπάθεια χρησιμοποιήθηκε για να κατασκευαστεί μια κουρτίνα ενέμαatos υψηλής ποιότητας, αλλά ο βράχος κάτω από το καπάκι ενέμαatos δεν ήταν επαρκώς σφραγισμένος. Η κουρτίνα, ωστόσο, υπόκειται σε σωληνώσεις - «ήταν αναμενόμενη από την κουρτίνα τσιμεντενέσεων, και ο σχεδιασμός θα έπρεπε να προβλέπει μέτρα για να καταστήσει ακίνδυνη την αναπόφευκτη διαρροή. "
8. Η γεωμετρία του φράγματος προκάλεσε κύρτωση που μειώνει τις τάσεις σε ορισμένες περιοχές και αύξησε άλλες καθώς «ευνόησε την ανάπτυξη των ρωγμών που θα ανοίξουν με κανάλια μέσω της διαβρώσιμης πλήρωσης. "
9. Οι υπολογισμοί πεπερασμένων στοιχείων πρότειναν ότι η υδραυλική ρωγμάτωση ήταν δυνατή.
10. Δεν υπήρξε καμία ένδειξη από διαφορική καθίζηση θεμελίωσης που να συμβάλλει στην αποτυχία.
11. Η Σεισμικότητα δεν ήταν ένας παράγοντας.
12. Δεν υπήρχαν αρκετά μέσα στο φράγμα για να παρέχουν επαρκείς πληροφορίες σχετικά με την αλλαγή όρων του επιχώματος και τα στηρίγματα.
13. Η ομάδα είχε να εντοπίσει γρήγορα τις σωληνώσεις ως την πιθανότερη αιτία της αποτυχίας, Στη συνέχεια εστίασε τις προσπάθειές της για τον καθορισμό του τρόπου των σωληνώσεων που ξεκίνησαν. Δύο μηχανισμοί ήταν δυνατόν. Η πρώτη ήταν η ροή του νερού υπό ιδιαιζόντως διαβρώσιμη και απροστάτευτη πλήρωση, μέσω αρθρώσεων σε μη σφραγισμένο βράχο κάτω από το καπάκι ενέματος, και την ανάπτυξη μιας σήραγγας διάβρωσης. Το δεύτερο σπάσιμο προκαλείται από διαφορικές παραμορφώσεις ή την υδραυλική θραύση του υλικού του πυρήνα. Η ομάδα ήταν σε θέση να προσδιορίσει αν ο ένας ή ο άλλος μηχανισμός συνέβη, ή συνδυασμός των δυο.
14. Η βασική αιτία της αποτυχίας μπορεί να θεωρηθεί ως ένας συνδυασμός των γεωλογικών παραγόντων και τις σχεδιαστικές αποφάσεις που, στο σύνολό τους, επιτρέπεται η αποτυχία ανάπτυξης.

Η ομάδα περιέγραψε περαιτέρω τους γεωλογικούς παράγοντες, όπως πολλές ανοικτές αρθρώσεις στις συνδέσεις και έλλειψη καλύτερου υλικού πλήρωσης από το διαβρώσιμο εδάφος. Οι αποφάσεις του σχεδιασμού ήταν η πλήρης εξάρτηση για τον έλεγχο διαρροής στον συνδυασμό της βαθιάς τάφρου που γεμίζει με αμμώδη εδάφη και μια κουρτίνα ενέματος, η γεωμετρία της τάφρου που ενθάρρυνε τις κάμψεις, τις ρωγμές, και την υδραυλική ρωγμάτωση στην επίχωση, χρησιμοποιώντας την συμπίκνωση της επίχωσης ως τη μόνη προστασία έναντι των σωληνώσεων και της

διάβρωσης, και την αποτυχία να προβλεφθεί η αναπόφευκτη διαρροή. Ένας άλλος παράγοντας ήταν η κακή συμπίεση των αιολικών υλικών πλήρωσης λάσπης. Είχε συμπυκνωθεί λιγότερο από την βέλτιστη περιεκτικότητα σε υγρασία. Το υλικό, όπως συμπιέζεται στο φράγμα, επιτρέπει την συνεχή διάβρωση των καναλιών μέσα στον πυρήνα χωρίς καμία απόδειξη ώστε η ύπαρξή τους να γίνει ορατή.



Διδάγματα

Τα διδάγματα σε αυτή την περίπτωση μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Εκτός από την τεχνική πτυχή της αποτυχίας, επαγγελματικοί και διαδικαστικοί παράγοντες επηρέασαν επίσης την πορεία των γεγονότων. Επίσης μας έμαθαν να υπάρχουν επιπτώσεις στην εκπαίδευση εφαρμοσμένης μηχανικής.

Τεχνικά θέματα : Η αποτυχία του φράγματος Teton μπορούσε να είχε αποφευχθεί. Πρόωρες έρευνες στην γεωλογία της περιοχής έδειξαν ότι οι βράχοι στην περιοχή ήταν σχεδόν εντελώς ηφαιστειακής προέλευσης. Αυτά τα ηφαιστειακά πετρώματα αποτελούνται από βασάλτη και ρυόλιθο. Στις υποσημειώσεις στη γεωλογική έρευνα του Ιανουαρίου του 1971, ο ρυόλιθος ορίζεται ως « μια εξαιρετικά εύθραυστη και εγκάρσια συνένωση, σχετικά ελαφρύς ». Αυτή ήταν επίσης η προϋπόθεση για άλλες

πιθανές περιοχές που βρίσκονται ανάντη της θέσεως όπου το φράγμα κατασκευάστηκε. Τα υλικά αυτά συνήθως αποφεύγονται λόγω ιστορικού της διάβρωσης και εναπόθεσης.

Ο λόγος για την εκτεταμένη θεμελίωση ήταν η κακή ποιότητα του υποκείμενου υλικού, συμπεριλαμβανομένης της κουρτίνας τσιμεντενέσεων. Η κουρτίνα τσιμεντενέσεων απέτυχε να κάνει την δουλειά της για την προστασία αυτών των υλικών από το να παρασύρονται μακριά. Η επιτροπή ανέφερε ότι ο σχεδιασμός δεν προβλέπει για τους μεταγενέστερους άμυνα εναντίον στις ρωγμές ή στη διαρροή, και δεν εξασφαλίζουν σφράγιση του άνω τμήματος του βράχου κάτω από το καπάκι ενέματος. Η κουρτίνα τσιμεντενέσεων δεν ήταν για να κατασκευάζονται σε τρεις σειρές, και η εξάρτηση από μια ενιαία κουρτίνα κρίθηκε να είναι αδικαιολόγητα αισιόδοξη. Το φράγμα και το θεμέλιο δεν ήταν αρκετά μέσα για να προειδοποιήσουν τις μεταβαλλόμενες συνθήκες.

Επαγγελματικά / διαδικαστικά ζητήματα : Στο πρώτο σημάδι ενός προβλήματος οι άνθρωποι στη θέση του φράγματος ενημερώνονται από το Προεδρείο της Βελτιώσεων. Το Προεδρείο δεν ενημέρωσε αμέσως το κοινό, λόγω του φόβου του πανικού και γιατί αρχικά δεν υπήρχαν καθόλου σημάδια επικείμενου κινδύνου, αλλά και γιατί το κοινό είχε προειδοποιηθεί περίπου 45 λεπτά πριν την κατάρρευση (Arthur, 1977). Προσδιορίστηκε ότι οι άνθρωποι που εμπλέκονται είχαν ενεργήσει με υπευθυνότητα και δεν τιμωρήθηκαν για τη συμμετοχή τους. Ωστόσο, η αποτυχία του φράγματος Teton επέφερε αλλαγές στο φράγμα στην κατασκευή και την λειτουργία του από το Ομοσπονδιακό Γραφείο της αποκατάστασης για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια. Στην 25η επέτειο της καταστροφής, ο Ken Pedde, ο Αναπληρωτής Περιφερειακός Διευθυντής του Ειρηνικού της Βορειοδυτικής περιοχής της USBR, αξιολόγησε τα μαθήματα που είχε μάθει. Ορισμένες από τις αλλαγές στην διαδικασία του σχεδιασμού και της κατασκευής του φράγματος περιλαμβάνουν την αξιολόγηση από ομότιμους των φραγμάτων, ειδική μεταχείριση για το κάταγμα του βραχώδους θεμέλιου, καθώς και συχνές επισκέψεις στην περιοχή κατά την κατασκευή του μηχανικού σχεδιασμού. Επίσης, περιττά μέτρα άρχισαν να χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και την πρόληψη της διαρροής στις σωληνώσεις (Η αποτυχία της Teton Dam @ 2001).

Η αποτυχία αυτή γίνεται επίσης σε κάθε ομοσπονδιακή υπηρεσία ανασκόπησης των δραστηριοτήτων τους για την ασφάλεια των φραγμάτων και το Κογκρέσο πέρασε από αρκετές πράξεις που ενέκρινε το εθνικό πρόγραμμα για την ασφάλεια του Φράγματος . Αυτά τα σχόλια και τα προγράμματα επέφεραν ετήσιες επιθεωρήσεις του φράγματος και εγκατάσταση μέσων για την παρακολούθηση των φραγμάτων. Επίσης, η Ασφάλεια Αποκατάστασης Φραγμάτων 1978 παρείχε κεφάλαια για την

ανάλυση και την τροποποίηση υφιστάμενων δομών που καθορίστηκαν για να είναι δυνητικά ανασφαλείς (Η αποτυχία της Teton Dam @ 2001).

Εκπαιδευτικά Θέματα : Η υπόθεση αυτή καταδεικνύει τη σημασία της τεχνικής γεωλογίας και της γεωτεχνικής τεχνολογίας για φοιτητές των πολιτικών μηχανικών. Για την μηχανική γεωλογία είναι σημαντική η αξιολόγηση της καταλληλότητας θεμελίωσης και να δανείζονται ή να συμπληρώσουν τα υλικά. Σε αυτή την περίπτωση, τόσο ο ρυόλιθος κάτω από το φράγμα και το πρόστιμο της αιολικής ύψος που χρησιμοποιείται ως υλικό πλήρωσης ήταν ελλιπείς. Κατά ειρωνικό τρόπο, καλύτερο δανειζόμενο υλικό ήταν διαθέσιμο στην κοιλάδα κατάντη από τη θέση του φράγματος, αλλά η USBR αποφάσισε ότι η χρήση θα είναι περιβαλλοντικώς αποδιοργανωτική (Independent Panel, 1976).

Είναι επίσης σημαντικό στα συμπαγή υλικά πλήρωσης με μέγιστη πυκνότητα ή με βέλτιστη υγρασία . Στην περίπτωση αυτή, το υλικό ήταν πολύ ξηρό και δεν ήταν επαρκώς συμπυκνωμένο (Ανεξάρτητη Panel, 1976) . Η στατική της υδραυλικής πίεσης μπορεί επίσης να καθοριστεί χρησιμοποιώντας το ύψος του φράγματος των 93 μέτρων (305 πόδια) και το ύψος του νερού 86,1 μ. (282,4 πόδια). Η πίεση αυξάνεται συνεχώς καθώς το φράγμα ήταν να πληρωθεί. Επίσης, η υπόθεση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επανεξετάσει τις πτυχές της επαγγελματικής πρακτικής, όπως η ευθύνη της αναθεώρησης των σχεδίων, χρησιμοποιώντας τα εφεδρικά μέτρα για να εξασφαλίσουν την ασφάλεια του κοινού. Από την αποτυχία του φράγματος Teton, είχαν μάθει πολλά μαθήματα. Ένα από αυτά τα μαθήματα είναι ότι η περιοχή του φράγματος πρέπει να έχει στερεό υλικό θεμέλιου. Μια αποτελεσματική κουρτίνα τσιμεντενέσεων μπορεί να είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την αντιμετώπιση αυτού του ακατάλληλου υλικού, αλλά μόνο ένας τρόπος υπάρχει για να ελεγχθεί αν η κουρτίνα τσιμεντενέσεων είναι ένας αποτελεσματικός φραγμός, μόλις αυτό τεθεί σε θέση. Επίσης, αυτή η αποτυχία έδειξε ότι τα φράγματα θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε η πίεση να μπορεί να μειωθεί αν χρειάζεται. Αυτό ήταν ιδιαίτερα σημαντικό σε αυτή την περίπτωση, δεδομένου ότι το φράγμα αφέθηκε να ξεκινήσει την πλήρωση, ενώ ήταν ακόμα υπό κατασκευή.



Περίληψη και συμπεράσματα

Η υπόθεση μπορεί να είναι καλύτερο να συνοψίζεται στα λόγια της έκθεσης της επιτροπής - η επιτροπή καταλήγει στο συμπέρασμα:

1. το φράγμα απέτυχε λόγω εσωτερικής διάβρωσης (σωληνώσεις) βαθιά του πυρήνα του φράγματος στο θεμέλιο της τάφρου , με την διάβρωση των σωματιδίων του εδάφους μέσω της εύρεσης εξόδου μέσω των διαύλων εντός και κατά μήκος της διεπαφής του φράγματος με το άκρως διαπερατό αντέρεισμα του βράχου , στο σημείο στα δεξιά του φράγματος,
2. οι κατευθύνσεις εξόδου είχαν καταστραφεί και απομακρύνονται με βιασύνη από τις δεξαμενές νερού,
3. υπήρχαν ανοίγματα μέσω ανεπαρκώς σφραγισμένες αρθρώσεις βράχου, και μπορεί να έχουν αναπτυχθεί μέσα από ρωγμές στη ζώνη του πυρήνα της κλείδας κατανομής της τάφρου,
4. άπαξ και ξεκίνησε, οι σωληνώσεις προχώρησαν ταχύτατα διαμέσου του κύριου σώματος του φράγματος και γρήγορα οδήγησαν σε πλήρη αποτυχία,
5. ο σχεδιασμός του φράγματος δεν λάμβανε επαρκώς υπόψη τις συνθήκες θεμελίωσης και τα χαρακτηριστικά του εδάφους που χρησιμοποιούνται για την πλήρωση της κλείδας της τάφρου
6. οι κατασκευαστικές δραστηριότητες ήταν σύμφωνα με το πραγματικό σχεδιασμό σε όλες τις σημαντικές πτυχές, εκτός από τον προγραμματισμό.

Στο σχεδιασμό και την κατασκευή των φραγμάτων της γης, είναι απαραίτητο να επιλέξουν σωστά υλικά που είναι επαρκώς ανθεκτικά σε σωληνώσεις ώστε να διασφαλιστεί ότι συμπίεζεται στη σωστή πυκνότητα. Αν μια κουρτίνα τσιμεντενέσεων χρησιμοποιείται, οι μέθοδοι πρέπει να είναι διαθέσιμοι να διασφαλίσουν ότι είναι συνεχής και σχηματίζει μία σφράγιση με το υποκείμενο πέτρωμα. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να ενσωματωθεί στην επαρκή υπεράσπιση έναντι στις ρωγμές και στη διαρροή.



Τέλος, τα φράγματα πρέπει να έχουν επαρκή όργανα για την παροχή έγκαιρης προειδοποίησης των σωληνώσεων και την επικείμενη αποτυχία. Ως τελική παρατήρηση, η υπόθεση αυτή αποτελεί προειδοποίηση. «Όπως κάθε μηχανικός, γνωρίζει κάθε φράγμα, το νερό έχει επίσης μία εργασία, και αυτή είναι να παρασύρει οτιδήποτε στο δρόμο του ».



Πριν την αποτυχία:



Μετά την καταστροφή:



Κεφάλαιο 4.2 : Φράγμα South Fork

Επιγραμματικά:

Τοποθεσία: Johnstown, Πενσυλβανία, ΗΠΑ

Ημερομηνία έναρξης: 1838

Ημερομηνία ολοκλήρωσης: 1852

Κόστος: \$ 166.647

Ταμιευτήρας Χωρητικότητα: 2,7 εκατομμύρια κυβικά πόδια

Τύπος: Ανάχωμα

Σκοπός: Παροχή νερού για το κανάλι, την αναψυχή

Ταμιευτήρας: Λίμνη Conemaugh

Διάφορα: κατέρρευσε 1889

Υλικά: πέτρα, πηλό

Μηχανικός (-ες): Sylvester welsh

31 Μαΐου επέτειος μνήμης για μια από τις χειρότερες καταστροφές στην αμερικανική ιστορία αυτή της Johnstown Flood, που προκάλεσε την κατάρρευση του φράγματος South Fork .Στέλνοντας ένα τεράστιο τείχος νερού κάτω από τον ποταμό που σκότωσε περισσότερους από 2.000 ανθρώπους .



Ιστορικό

Το φράγμα South Fork χτίστηκε από την Κοινοπολιτεία της Πενσυλβάνια, ως μέρος του συστήματος του καναλιού ως δεξαμενή για την κρατική κύρια γραμμή Δημοσίων Έργων για το κανάλι απορροής στο Johnstown. Εγκαταλείφθηκε από την Κοινοπολιτεία, πούληθηκε στην σιδηροδρομικό σταθμό της Πενσυλβάνια, και στη συνέχεια και πάλι πέρασε σε ιδιωτικά συμφέροντα.

Το φράγμα είχε κατασκευαστεί σύμφωνα με τις αποδεκτές πρακτικές της μηχανικής του χρόνου, αλλά το σύστημα του καναλιού θεωρούνταν απαρχαιωμένο όταν το φράγμα ολοκληρώθηκε το 1853. Οι σιδηροδρομικές γραμμές της Πενσυλβάνια αγόρασαν το φράγμα τέσσερα χρόνια αργότερα. Το 1862 συνέβη ένα σπάσιμο κοντά στους σωλήνες εκκένωσης, αλλά λίγη ζημία προκλήθηκε επειδή η στάθμη του νερού ήταν πολύ χαμηλά. Οι σιδηροδρομικές γραμμές εγκατέλειψαν το φράγμα, αφήνοντας το ανεκμετάλλευτο και ασυντήρητο μέχρι το 1879. Έπειτα αγοράστηκε από τον σύλλογο South Fork, το οποίο απαρτιζόταν από μέλη με μεγάλη οικονομική και πολιτική δύναμη οι οποίοι είχαν οραματιστεί την εκμετάλλευση του φράγματος για τη δημιουργία ενός κρυφού καλοκαιρινού καταφυγίου στους λόφους πάνω από το Johnstown.

Σχεδιασμένο από τον William E. Morse, αρχιμηχανικό φραγμάτων στην Πενσυλβάνια, το φράγμα θεωρείτο «ώριμο παράδειγμα από χώμα και πέτρα» εκείνης της εποχής. Όπως απεικονίζεται στο σχήμα, το ανάντη τμήμα του φράγματος κτίστηκε από διαδοχικά στρώματα των δύο ποδών πάχους πηλό και πετρωμάτων, το οποίο κατέστη στεγανό επιτρέποντας στον πηλό και στην πέτρα να μένουν εμβαπτισμένα στο νερό για λίγες ημέρες. Μια διαδικασία που ονομάζεται «λίμνασμα». Οι τοίχοι ανάντη του φράγματος καλύφθηκαν με σχιστολιθικά πετρώματα έτσι ώστε το νερό δεν θα τρίβεται πάνω στον πηλό και δε θα αποδυναμώνει την ακεραιότητα του φράγματος. Το κέντρο του φράγματος χτίστηκε από ένα συνδυασμό σχιστόλιθου, μικρές πέτρες και χώμα, ενώ το κατάντη τμήμα του φράγματος χτίστηκε το ισχυρότερο - από πετρώματα, τα οποία ζύγιζαν κατά μέσο όρο 10 τόνους το καθένα.

Από την μέση του φράγματος, όπως φαίνεται στο σχήμα ,ο Morse είχε σχεδιάσει ένα τεράστιο οχετό που αποτελείται από σωλήνες χυτοσίδηρου 0,61 μ. σε διάμετρο. Οι σωλήνες επέτρεπαν στο νερό από το South Fork Creek να ρέει στο κανάλι μέσω του Conemaugh ποταμού. Για την προετοιμασία για τις περιπτώσεις όπου ο οχετός θα κατακλύζεται από ροή νερού, όπως κατά τη διάρκεια έντονης βροχόπτωσης ή από το γρήγορο λιώσιμο του χιονιού, ο Μορς σχεδίασε έναν υπερχειλιστή 85 μέτρα πλάτος. Ο υπερχειλιστής διέσχισε στερεό βράχο, στην ανατολική πλαγιά του φράγματος. Το 1852, πάνω από μια δεκαετία αργότερα, το χώμα και η πέτρα του φράγματος ήταν 3,05μ πάχος στην κορυφή και μέχρι 67,06μέτρα πάχος στην βάση. Το φράγμα εκτεινόταν 279.81μ σε όλη την κοιλάδα και ήταν πάνω από 22μ ψηλό.



Σημάδια που προμήνυαν προβλήματα

Τον Ιούνιο του 1852, την ίδια χρονιά που το φράγμα ολοκληρώθηκε, μια σειρά από προβλήματα άρχισαν να διαφαίνονται. Σύμφωνα με τον Frank (μηχανικός που ασχολήθηκε με το τι συνέβη) οι βαλβίδες που ελέγχουν τη ροή του νερού μέσα στον οχετό 26 μέτρα (χτίστηκε για να στραγγίξει κάθε υπερβολικό νερό σε περιόδους πλημμύρας) έκλεισαν. Αυτό προκάλεσε το φράγμα να κάνει ουσιαστικά αντίγραφα ασφάλειας και μέχρι τον Αύγουστο του 1852, η δεξαμενή ήταν 12,2 μέτρα βάθος.

Εκείνη την εποχή, οι μηχανικοί παρακολουθούσαν στενά το βάθος της δεξαμενής, αλλά τελικά αποφάσισαν ότι εφ' όσον δεν είχε πάει βαθύτερα, δεν υπήρχε καμία ουσιαστική απειλή για την ακεραιότητά του. Η ξηρασία το επόμενο έτος βοήθησε τα επίπεδα του νερού να μειωθούν. Ωστόσο, λίγο αργότερα, δύο μικρές διαρροές στο φράγμα ανακαλύφθηκαν και το νερό χρειαζόταν να απελευθερωθεί για να επιτραπούν οι επισκευές. Ωστόσο, μετά την απελευθέρωση του, δεν υπήρχε χρηματοδότηση για την ολοκλήρωση των επισκευών.

Η υπηρεσία των σιδηροδρομικών σταθμών μεταξύ Πίτσμπουργκ και Johnstown κατέστησε την ανάγκη του καναλιού για τη μεταφορά εμπορευμάτων ως απαραίτητο μέσο. Όλες οι χρηματοδοτήσεις προηγουμένως προορίζονταν για τη συντήρηση όταν το κανάλι ήταν η κύρια πηγή για τη μεταφορά εμπορευμάτων. Τώρα πια είχε αντικατασταθεί από το σιδηρόδρομο.

Αλλαγές στην ιδιοκτησία

Το 1857 ο σταθμός αγόρασε το σύνολο του συστήματος, η οποία περιελάμβανε την South Fork Dam. Ο σταθμός είχε στην ιδιοκτησία του το φράγμα για 23 χρόνια. Στα χρόνια αυτά, το φράγμα υπέστη ένα μεγάλο σπάσιμο. Τον Ιούνιο του 1862, ένα τμήμα ανάντη του μεγάλου οχετού κάτω από το φράγμα κατέρρευσε. Ευτυχώς, μικρή ζημιά υπέστη κατάντη. Ωστόσο, το σπάσιμο αυτό άφησε ένα μεγάλο κομμάτι του οχετού να παρασυρθεί μακριά. Το φράγμα παρέμεινε κατεστραμμένο και εγκαταλελειμμένο για τα επόμενα 13 χρόνια, μέχρι, τελικά, ο σιδηρόδρομος πούλησε το φράγμα σε ένα νέο ιδιοκτήτη ο οποίος πούλησε ότι είχε απομείνει από τον οχετό για σίδερο.

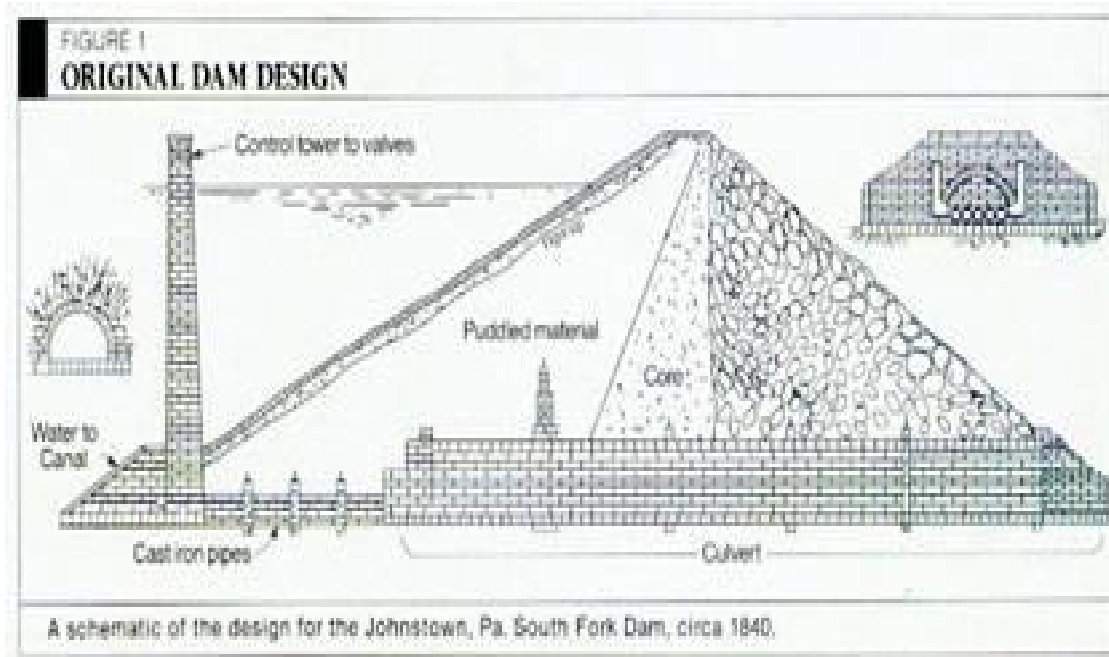
Αυτό που έμεινε, στην ουσία, ήταν ένα φράγμα χωρίς ένα κατάλληλο σύστημα οχετού για το φιλτράρισμα του νερού στην υπερχειλίση σε περιόδους πλημμυρών. Εάν ένα φράγμα τύπου αναχώματος δεν έχει ένα κατάλληλο σύστημα υπερχειλιστή για να εκτρέψει την μεγάλη ροή του νερού, αυτό θα συνεχίσει να συσσωρεύεται και τελικά θα υπερχειλίζει πάνω από το ανάχωμα προκαλώντας αδυναμίες στη δομή του φράγματος. Το φράγμα δεν περιείχε πλέον τις 0.61μ σωλήνες από σίδηρο με κέντρο που λειτουργεί ως οχετός με έναν υπερχειλιστή 26μ. Ήταν απλά ένας τοίχος από χώμα, πηλό, και πέτρα.

Το 1879 η ιδιοκτησία αλλάζει για μια ακόμη φορά. Αυτή τη φορά ο αγοραστής ήταν ο Benjamin Ruff, σχεδιαστής και ιδιοκτήτης του φράγματος κατά την εποχή της αποτυχίας του. Το σχέδιο ήταν να ολοκληρωθεί με τα ελάχιστα χρήματα ώστε η αποκατάσταση του φράγματος να δημιουργήσει ένα όμορφο θέρετρο στη λίμνη που πραγματοποιήθηκε από το South Fork Dam. Έπεισε εύπορους επιχειρηματίες του Πίτσμπουργκ ότι το θέρετρο θα είναι ένα από τα καλύτερα στη χώρα και με την υποστήριξή τους, στις 15 Νοεμβρίου 1879 ένας χάρτης χορηγήθηκε με την ονομασία "The South Fork Club Κυνήγι και Ψάρεμα.

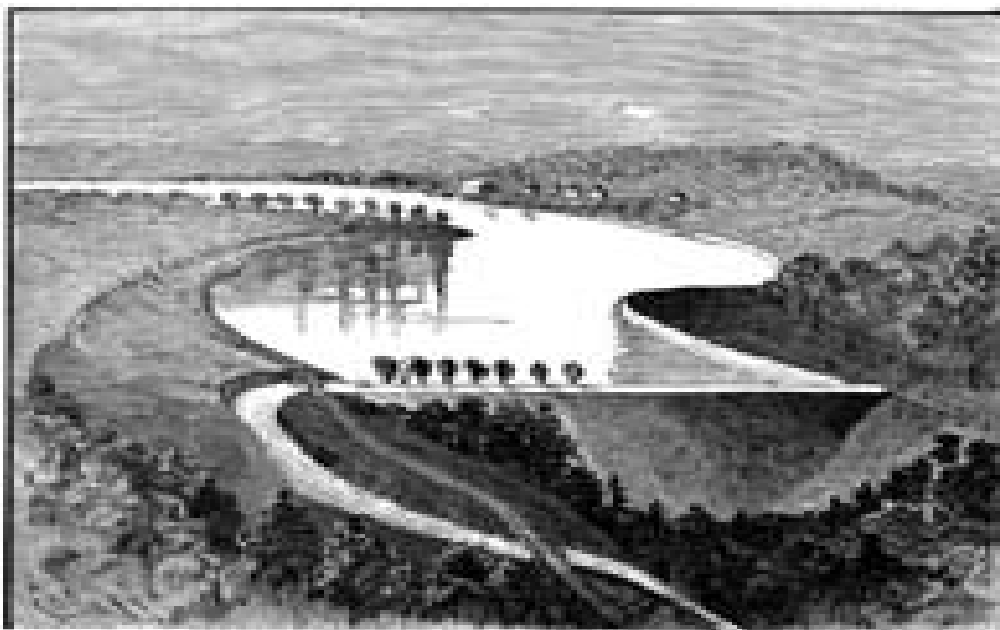


Τροποποιήσεις

Στις 15 του Οκτωβρίου 1879, ο Ruff προσέλαβε περίπου 15 άνδρες για να γεμίσουν την υπάρχουσα ζημιιά στο φράγμα και να το επαναφέρουν ξανά στο αρχικό του ύψος. Ο Ruff πίστευε ότι όταν η λίμνη ήταν γεμάτη, η περίσσεια του νερού απλά θα υπερχειλίζει πάνω από τον υπάρχον υπερχειλιστή. Ο Ruff αγόρασε λάσπη, χαμόκλαδα, κούτσουρα δένδρων, άχυρο, ακόμη και μερικά ολόκληρα φορτία κοπριά αλόγου από τους τοπικούς ιδιοκτήτες γης για να συμπληρωθεί η τρύπα του οχετού, μια μέθοδο που θα μπορούσε να παρομοιαστεί με την τοποθέτηση ενός τσιρότου για ένα τραύμα από σφαίρα.



Μετά από 5 ημέρες καταρακτώδους βροχής, το Δεκέμβριο, τα μάζα που χρησιμοποιήθηκαν για να γεμίσουν το κατεστραμμένο τμήμα του οχετού παρασυρθήκαν μακριά. Ωστόσο, αυτή η μικρή αποτυχία δεν απέτρεψε τον Ruff ο οποίος προσέλαβε έναν επόπτη με κάποια γνώση στην οικοδόμηση αναχωμάτων σιδηροδρόμων. Υπό τη διεύθυνσή του, συσκευασίες φυλλοβόλων δέντρων τοποθετήθηκαν στην τρύπα οχετού ενώ χώμα και πέτρα προστέθηκαν στο κατάντη τμήμα του κατεστραμμένου φράγματος. Το ανάχωμα χτίστηκε και πάλι, αλλά επειδή το σύστημα οχετού δεν ήταν πλέον σε ισχύ, η άνοδος των υδάτων συνέχισε να παρασέρνει το ενσωματωμένο επάνω τμήμα του επιχώματος. Σε μια προσπάθεια να καθορίσει περαιτέρω το θέμα αυτό, ο Frank αναφέρει ότι το πλήρωμα του Ruff τοποθέτησε σανό, άχυρο, και επί του ανάντη μετώπου τεμάχια από χαμόκλαδα για να εμποδίσουν τη διαρροή του νερού. Χώμα και πηλό στη συνέχεια τοποθέτησαν πρόχειρα πάνω από το σανό, καθώς και άχυρα και κλαδιά για να κάνει την επισκευή "πιο στεγανή". Όταν οι επισκευές και τα μπαλώματα για το φράγμα ολοκληρώθηκαν, η ομάδα του Ruff άρχισε να εργάζεται σε ένα άλλο έργο. Επειδή ο υπερχειλιστής (δουλεύε και πάλι) εμπόδιζε την πρόσβαση, οι επισκέπτες δεν ήταν σε θέση να φτάσουν μέχρι την ανατολική ακτή της λίμνης. Η ομάδα εργασίας κατασκεύασε μια γέφυρα. Η θεμελίωση της γέφυρας κατασκευάστηκε από 14 ξύλινα υποστηρίγματα, που ήταν 3.05μέτρα ύψος στην είσοδο του υπερχειλιστή. Παρά το γεγονός ότι υπερχειλιστής είχε μέσο πλάτος 26 μέτρα, ακριβώς κάτω από τα στηρίγματα της γέφυρας, ήταν πλέον μόνο 21 μ. Ο Ruff υπέθεσε ότι με δεδομένες τις μεγάλες μετρήσεις, τα στηρίγματα της γέφυρας δεν θα επηρέαζαν την εκκένωση του νερού.



SOUTH FORK LAKE BEFORE THE DESTRUCTION OF THE DAM.

Η γέφυρα ήταν ως επί το πλείστον επίπεδη και περίπου 3 μέτρα πλάτος. Αφού δύο βαγόνια δεν θα μπορούσαν να περάσουν την γέφυρα, την ίδια στιγμή, οι οικοδόμοι έκοψαν το επάνω μέρος του αρχικού φράγματος στα 0,61μ. Αν και αυτό έκανε την κορυφή της γέφυρας 2,13μ ευρύτερο, τα 0,61μ που κόπηκαν από την κορυφή του φράγματος θα αποδεικνύονταν επιζήμιες για την ακεραιότητα του φράγματος στο μέλλον.

Για να αυξηθεί η δυνατότητα σε ψάρεμα του νέου σύλλογου, συνδεδεμένα με τα υποστηρίγματα της γέφυρας, η ομάδα του Ruff πρόσθεσε επίσης προπετάσματα σιδήρου στον υπερχειλιστή. Έτσι ώστε να διευκολύνονταν κάποια παιχνίδια με ψάρια στο σύλλογο. Αν και η ομάδα των εργατών σπατάλησε χρόνο για να κάνουν τροποποιήσεις στο φράγμα για να ταιριάζει στο νέο σύλλογο, ποτέ δεν αντικατέστησε τα 0,61μ, χυτοσωλήνων στον οχετό του φράγματος. Αυτοί οι σωλήνες ήταν απαραίτητοι για την αποστράγγιση της δεξαμενής ώστε να είναι δυνατές οι επισκευές του φράγματος στο μέλλον.

Η κατάρρευση του φράγματος

Η λίμνη πίσω από το φράγμα γέμισε μια περίμετρο επτά μιλίων και παρακράτησε 20 εκατομμύρια τόνους νερού.

Λογικά μιλώντας, σύμφωνα με τις επισκευές που έκανε η ομάδα εργασίας στο φράγμα θα έπρεπε το φράγμα να ήταν σε θέση να κρατήσει τέσσερις φορές το ποσό από αυτό που είχε τοποθετηθεί. Ωστόσο, δεν είχε ληφθεί υπόψη η διάβρωση του φράγματος και η έλλειψη των επισκευών που θα επέρχονταν. Αργότερα, μερικές μικρές διαρροές εμφανίστηκαν, αλλά δεδομένου ότι η ομάδα εργασίας ποτέ δεν αντικατέστησε το σύστημα απαλλαγής, η λίμνη δεν θα μπορούσε να αποστραγγιστεί για να γίνουν οι απαραίτητες επισκευές. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της σεζόν με έντονη βροχόπτωση δηλ την άνοιξη η λίμνη καλύπτει πάνω από 400 στρέμματα και ήταν πάνω από εβδομήντα μέτρα βάθος σε ορισμένα σημεία. Η αύξηση σε δύναμη που οφείλεται σε μεγαλύτερη πίεση από το νερό, άρχισε να αποδυναμώνει το φράγμα, ιδίως στους τομείς που είχαν ήδη διαρρεύσει.

Τα στηρίγματα της γέφυρας και τα παραπετάσματα σιδήρου που τοποθετήθηκαν σε εφαρμογή για να κρατήσουν το ακριβό παιχνίδι με τα ψάρια στη λίμνη και να προσφέρουν μια γέφυρα με ικανότητα δυο βαγονιών απέκτησε μεγαλύτερο τίμημα για το φράγμα από αυτό που η ομάδα είχε αρχικώς εκτιμήσει. Τα παραπετάσματα μείωσαν την ροή του νερού εκκένωσης μέχρι 40% και έφραζε εύκολα με κλαδιά και άλλα υπολείμματα. Εκτός από τα μεγάλα παραπετάσματα που τοποθετήθηκαν επί των στηριγμάτων της γέφυρας, αργότερα τοποθετήθηκαν και στα δύο άκρα της γέφυρας. Η ίδια η γέφυρα παρεμπόδιζε επίσης την υπερχειλιστή. Τα αρχικά σχέδια για το φράγμα του William Morse υποδείκνυαν βάθος υπερχειλιστή τουλάχιστον 3 μέτρα κάτω από την στέψη του φράγματος.



Ωστόσο, ο Ruff μείωσε τη στέψη του φράγματος 0,61 μέτρα για να επιτρέψει μια ευρύτερη γέφυρα. Όταν έγινε αυτό, η ικανότητα του υπερχειλιστή μειώθηκε κατά 20 %.

Τα 0,61 μέτρα που αφαιρέθηκαν από την κορυφή του φράγματος, η καθίζηση της γης, και η κίνηση αυτών που ταξίδευαν πάνω από την κορυφή του φράγματος είχαν ως συνέπεια το κεντρικό τμήμα του φράγματος να φτάσει να είναι τουλάχιστον 15 εκατοστά πιο κάτω από τα άκρα του φράγματος. Ο Frank αναφέρει, ότι δεν είναι ασυνήθιστο και τα χωμάτινα φράγματα να καθιζάνουν ιδιαίτερα στα κέντρα τους, (το πιο αδύναμο σημείο όπου η πίεση του νερού είναι η μεγαλύτερη) αλλά με την κατάλληλη συντήρηση, μπορούν να κατασκευαστούν. Ωστόσο, οι ιδιοκτήτες της λέσχης The South Fork Club δεν έδωσαν ούτε τον απαραίτητο χρόνο ή τα χρήματα για τις απαραίτητες επισκευές. Ακόμη και αν ήθελαν όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η απουσία ενός συστήματος εκκένωσης τους εμπόδιζε από τη μείωση του νερού στο επίπεδο όπου θα επιτρέπονταν οι κατάλληλες επισκευές. Η αργή αλλοίωση του κέντρου του φράγματος και η αυξανόμενη δύναμη της ανόδου των υδάτων ήταν μια συνταγή για την καταστροφή.

Η άνοδος των υδάτων

Η μικρή πόλη του Johnstown και οι γύρω περιοχές ήταν γνώριμες προς τις πλημμύρες. Οι ποταμοί Little Conemaugh και Stoney Creek διέτρεχαν περιφερειακά την πόλη. Αυτοί οι δύο ποταμοί συνενώνονταν για να σχηματίσουν τον ποταμό Conemaugh στο δυτικό άκρο του Johnstown. Σύμφωνα με την ένωση Johnstown Περιοχή Κληρονομιάς τουλάχιστον μία φορά το χρόνο, ένα ή αμφότερα από τα ποτάμια υπερχειλίζουν στους δρόμους κάνοντας τους κατοίκους της πόλης να σπεύδουν να περισώσουν ότι μπορούσαν από τα σπίτια και τα υπάρχοντά τους. Η πλειοψηφία των πλημμυρών στην περιοχή προκαλούνταν από βαριά χιόνια που έλιωναν πολύ γρήγορα και προκαλούσαν την αύξηση του Stoney Creek ή του Conemaugh. Άλλες πλημμύρες αποδόθηκαν στις βαριές βροχοπτώσεις όλου του χρόνο. Στις 28 Μαΐου του 1889, 3 ημέρες πριν από το περίφημη Johnstown πλημμύρα, μια καταιγίδα άρχισε από την Νεμπράσκα και κατευθυνόταν ανατολικά.

Την 30η Μαΐου του 1889, η καταιγίδα έπληξε τις Johnstown και τις περιοχές του South Fork. Σύμφωνα με τον Frank, ήταν η χειρότερη νεροποντή που είχαν ποτέ καταγράψει στο εν λόγω τμήμα της χώρας. Εκτιμάται ότι 0,15 μέτρα έως 0,25 μέτρα βροχής έπεσαν σε διάστημα 24 ωρών. Όλη τη νύχτα μικροί κολπίσκοι σχηματίστηκαν και παραγέμισαν νερό με αποτέλεσμα να μετατρέπονται σε χείμαρρους νερού. Ο ποταμός Conemaugh γέμισε πολύ πάνω από τα επιτρεπτά επίπεδα των πλημμυρών. Ανάντη το νερό έπεφτε στη λίμνη πίσω από το φράγμα με 3048 μέτρα ανά λεπτό. Επειδή τα παραπετάσματα σιδήρου για τα ψάρια και οι στηρίξεις της γέφυρα παρεμπόδιζαν του υπερχειλιστή, μόνο 2011,68 μ. ανά λεπτό παρασύρθηκαν από το φράγμα στον υπερχειλιστή.



Δεκατέσσερα χλμ νότια της Johnstown, οι κάτοικοι ήταν συνηθισμένοι στην υπερχειλίση των Stoney Creek και Conemaugh, μετέφεραν τα υπάρχοντά τους σε υψηλότερα επίπεδα στα σπίτια τους και προετοιμάζονταν οι ίδιοι για κάποια πλημμύρα. Δεν ήξεραν όμως ότι το πραγματικό πρόβλημα ήταν τα 14 μίλια ανάντη από τη λέσχη South Fork . Η κατάσταση στο φράγμα ήταν παρά πάνω από κρίσιμη. Η λίμνη αυξήθηκε πάνω από 0,61μ κατά τη διάρκεια της νύχτας, σύμφωνα με τον Frank, μέχρι τις 7:00 π.μ., το νερό ήταν μόνο 0,77μετρα από το την κορυφή του φράγματος.

Κάθε λεπτό 4.000 κυβικά μέτρα νερού έπεφταν στη λίμνη. Η λίμνη, που κάποτε ήταν 407 στρέμματα, μεγάλωσε για να καλύψει 450 στρέμματα. Επιστάτες ,για λόγους του συλλόγου, εργάστηκαν μανιωδώς για να απαλλαγούν από τα παραπετάσματα σιδήρου από τα συντρίμια αλλά εις μάτην. Στις 9:00 π.μ., το νερό στη λίμνη εξακολούθησε να αυξάνεται με ρυθμό 2,5 εκ κάθε δέκα λεπτά. Στις 10:00 π.μ., το νερό αυξήθηκε σε λιγότερο από 0,3 μ. από την κορυφή του φράγματος. Στη δυτική πλευρά του φράγματος, οι εργαζόμενοι προσπάθησαν να ανοίξουν μια τάφρο, ώστε το νερό να λιμνάσει κάνοντας το κανάλι να διευρυνθεί και το νερό να μην περάσει πάνω από το φράγμα. Η πλαγιά του λόφου, όμως, ήταν 175 μέτρα μήκος και οι εργάτες ήταν ανεπαρκώς εξοπλισμένοι σε τόσο σύντομο χρονικό διάστημα.

Το νερό συνέχισε να συγκεντρώνεται στο κέντρο του φράγματος όπου η κατασκευή του είχε γίνει πριν από 8 χρόνια. Σύμφωνα με τον Frank κάποιοι εργάτες είδαν ότι είχε αρχίσει να «γέρνει» λίγο .

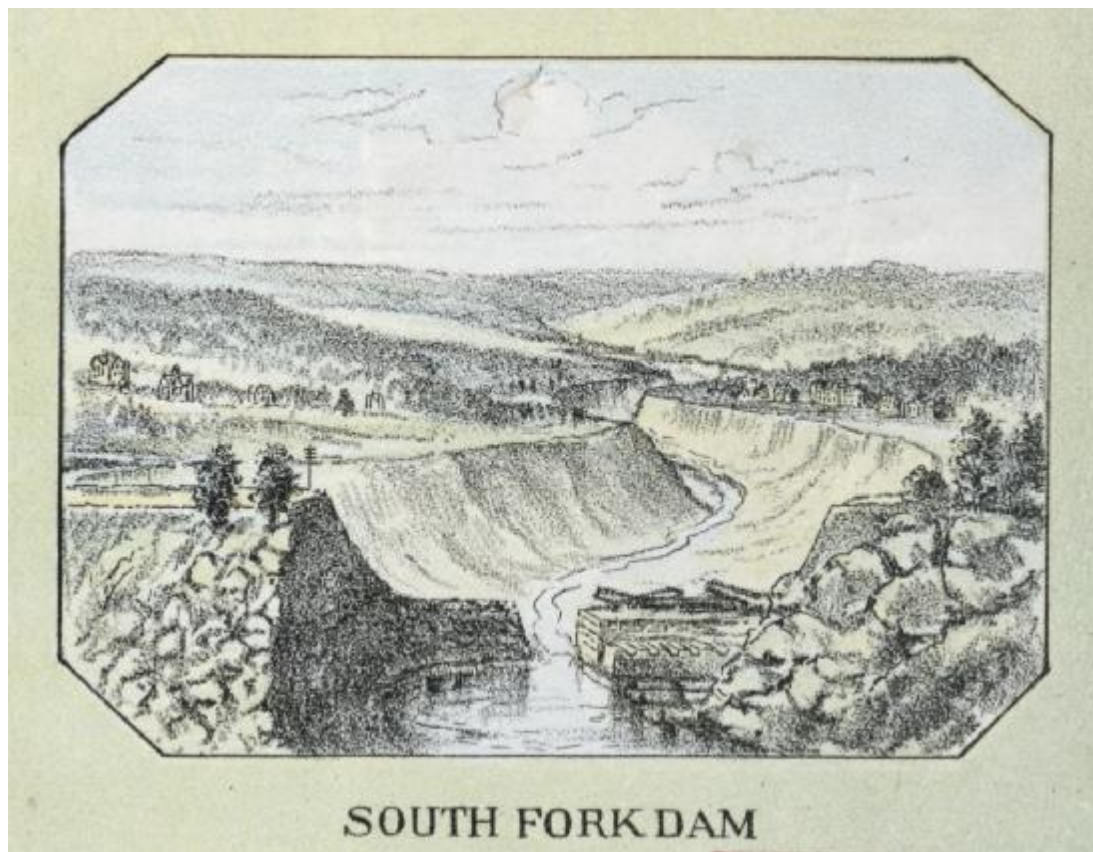
Σε μια τελευταία προσπάθεια ανοίγματος τάφρου αυτοί που έσκαψαν στη δυτική ακτή μετέφεραν το χώμα και προσπάθησαν να δημιουργήσουν μια κορυφογραμμή για τη χαλάρωση του φράγματος αλλά ήταν ήδη πολύ αργά.

Στις 11:00 η στάθμη του νερού ακόμα και με την προσπάθεια χαλάρωσης του κέντρου και το χώμα που έριχναν από πάνω οι εργάτες παρασύρονταν από τα κύματα του νερού. Με την αύξηση του όγκου του νερού στη λίμνη ,μικρότερες τώρα διαρροές εμφανιστήκαν στο εξωτερικό κομμάτι του φράγματος. Μέχρι τις 11:30 όλη η ποσότητα χώματος που είχε τοποθετηθεί παρασύρθηκε από τα ορμητικά νερά. Το νερό άρχισε να υπερχειλίζει 15,24 μ. από το κέντρο του φράγματος. Στις 12:30μ.μ το νερό έρρεε για τουλάχιστον 0,15 μ. πάνω από το φράγμα 91,44μ. κατά μήκος. Η τάφρος που είχαν φτιάξει διαπλατύνθηκε 7,62μ. και αυξήθηκε 0,51μ. μέσα σε μια ώρα, 123 τόνοι νερού το δευτερόλεπτο υπερχειλίζουν πάνω από το φράγμα προκαλώντας μεγαλύτερες ζημιές στο ήδη κατεστραμμένο ανάχωμα. Με κάθε υπερχειλίση ,χώμα και πέτρες διαβρώνονταν περισσότερο, κατακάθονταν στη λίμνη και προκαλούσαν την άνοδο των υδάτων. Μέχρι τις 2:00μ.μ το νερό σχημάτισε μια τάφρο στο κέντρο του φράγματος όπου το νερό εκτονωνόταν και έρρεε ελεύθερα μέσα από τη νεοσυσταθείσα τάφρο. Τα ορμητικά νερά πέρασαν μέσα από το άνοιγμα διαλύοντας τις πλευρές του αρχικού απροστάτευτου αναχώματος. Το κενό στις δυο πλευρές ήταν τώρα 30,48μ. σε διάμετρο. Πάνω από 20 εκ τόνοι νερού άδειασαν σε 45 λεπτά.

Εν κατακλείδι

Στον απόηχο της καταστροφικής τραγωδίας, μια επίσημη έρευνα ξεκίνησε. Η αστοχία οφείλεται στη ροή του νερού πάνω από το χωμάτινο ανάχωμα που προκλήθηκε από την ανεπάρκεια του υπερχειλιστή να εκκενώνει το πλημμυρικό νερό. Ωστόσο οι ιδιοκτήτες προς απογοήτευση πολλών δεν θεωρήθηκαν υπαίτιοι.

Οι ερευνητές κατέληξαν ότι οι αλλαγές που έγιναν κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου δεν συνετέλεσαν στην κατάρρευση του φράγματος. Ισχυρίστηκαν ότι ακόμα και αν το φράγμα δεν είχε καμφθεί ή δεν είχε περικοπεί για να χτιστεί η γέφυρα, ακόμα και αν οι σωλήνες από χυτοσίδηρο στον οχετό δεν είχαν μετακινηθεί, το νερό θα είχε υπερχειλίσει προκαλώντας την αστοχία του φράγματος. Οι ερευνητές αποφάνθηκαν, ότι υπαίτιος είναι αποκλειστικά ο αρχικός σχεδιαστής E. Williams. Χαρακτηριστικά αναφέρουν ότι στα αρχικά σχέδια του φράγματος δεν λήφθηκαν υπόψη τα υψηλά επίπεδα βροχόπτωσης στην περιοχή. Ως εκ τούτου το νερό θα είχε υπερχειλίσει πάνω από το ανάχωμα αποδυναμώνοντας το φράγμα και η πλημμύρα θα είχε επέλθει.



Συμπληρωματικά

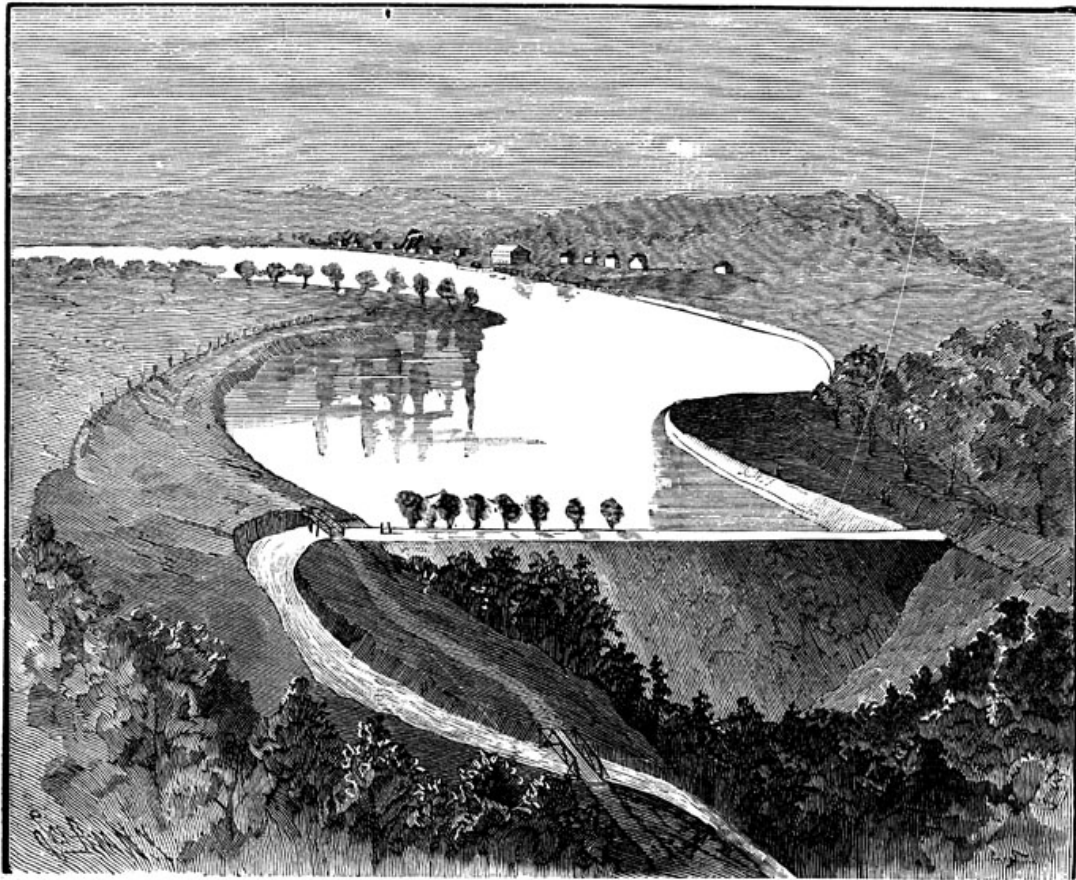
Η υπερπήδηση νερού πάνω από τα χωμάτινα φράγματα που οφείλεται σε ανεπαρκή υπερχειλίση είναι ένας από τους πιο συνηθισμένους λόγους αστοχίας τους. Αυτοί που ερεύνησαν την υπόθεση ύστερα, προσθέτουν ότι η τοποθεσία κατασκευής του και η γεωλογική μορφή της περιοχής δεν συνέβαλαν αρνητικά. Υπογραμμίζουν αντίθετα ότι κάθε χωμάτινο φράγμα είναι καταδικασμένο σε αστοχία αν ο υπερχειλιστής είναι πολύ μικρός και οι τα επίπεδα βροχοπτώσεων της περιοχής πολύ υψηλά. Οι αλλαγές στις οποίες προέβη ο μηχανικός σε σχέση με το αρχικό σχέδιο, είναι:

- 1) μείωσε κατά 0,61μ. το ανάχωμα και πρόσθεσε μια γέφυρα επιτρέποντας τη διέλευση αυτοκινήτων
- 2) το χώμα πατήθηκε και κατακάθισε πολύ περισσότερο συμπυκνώθηκε δηλαδή περισσότερο από ότι θα είχε κάνει μόνο του
- 3) πρόσθεσε παραπετάσματα σιδηρού έχοντας ως αποτέλεσμα πολύ λιγότερο νερό να φιλτράρεται στον υπερχειλιστή. Δυστυχώς απέτυχε να αντικαταστήσει του σωλήνες σιδήρου μέσα στον οχετό ,το οποίο ήταν και το κύριο σύστημα ύδρευσης στο φράγμα.

Εάν η αντικατάσταση είχε γίνει όχι μόνο τα επίπεδα του νερού θα είχαν μειωθεί , αλλά και τη μέρα της τραγωδίας οι εργάτες θα μπορούσαν να στείλουν περισσότερο νερό στον υπερχειλιστή. Αυτό θα είχε αποτρέψει την άνοδο των υδάτων και την αποδυνάμωση του κέντρου του αναχώματος. Αν το κέντρο δεν ξέπλενε ,η πλημμύρα δε θα είχε συμβεί ποτέ.



Πριν την κατάρρευση:



SOUTH FORK LAKE BEFORE THE DESTRUCTION OF THE DAM.

Μετά την καταστροφή:



Κεφάλαιο 4.3 :Φράγμα Περδίκκα

Χωμάτινο φράγμα

Ύψους 22μ

Όγκος 530.000 m³

μήκους στέψης 532μ

χωρητικότητα 100000hm³

Το φράγμα Περδίκκα βρίσκεται σε απόσταση 2 km από το χωριό Περδίκκα του Δήμου Πτολεμαΐδας και κατασκευάστηκε με μελέτη και δαπάνες του Γερμανικού κράτους, ως προσφορά (αποζημίωση) στην Ελλάδα για τα δεινά του πολέμου. Το φράγμα, η κατασκευή του οποίου ολοκληρώθηκε το 1962, σχεδιάστηκε για να εξασφαλιστεί η υδροδότηση του Βιομηχανικού κέντρου Πτολεμαΐδας Α.Ε.Β.Α.Λ. Κύριος του έργου ήταν το τότε Υπ. Συντονισμού, στη συνέχεια το Υπ. Εθνικής Άμυνας και σήμερα το ΥΠ.Ε.Θ.Ο.

Η λεκάνη κατάκλυσης και η θεμελίωση του φράγματος διαμορφώνονται μέσα σε αργιλομαργαϊκούς σχηματισμούς, σχετικά χαμηλής διαπερατότητας. Κάτω από το σχηματισμό αυτό απαντώνται ασβεστόλιθοι, με έντονα φαινόμενα καρστικοποίησης. Στην περιοχή θεμελίωσης του φράγματος, ο ασβεστολιθικός σχηματισμός απαντάται σε βάθος της τάξης των 100 m. Ανάντη του φράγματος έχει καταγραφεί παρακατακόρυφο ρήγμα που ανυψώνει τους ασβεστόλιθους κοντά στην επιφάνεια. Στην κοίτη του ποταμού εμφανίζονται προσχώσεις.



Κατά την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα και όταν η στάθμη του ταμιευτήρα είχε ανέλθει περίπου στα δύο τρίτα του ύψους του φράγματος, αναπτύχθηκαν έντονες διαρροές, με αποτέλεσμα την ουσιαστική εκκένωση του ταμιευτήρα σε μικρό χρονικό διάστημα. Η διαρροή πραγματοποιήθηκε με διασωλήνωση και διάπλυση του 'στεγανού' άργιλο-μαργαϊκού σχηματισμού μέσα στις καρστικές διόδους των υποκείμενων ασβεστολίθων. Λόγω της αδυναμίας του ταμιευτήρα να συγκρατήσει νερό για το σκοπό που κατασκευάστηκε το φράγμα, το γεγονός αυτό θεωρείται ως αστοχία, επειδή συνυπάρχει και το στοιχείο 'μετακίνησης της θεμελίωσης', με διασωλήνωση, διάπλυση και τελικά διάβρωση. Κατά την αστοχία αυτή δεν τέθηκαν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές ή περιουσίες.

Δεν είναι σαφές εάν η παρουσία του καρστικού ασβεστολιθικού υποβάθρου είχε εντοπιστεί κατά τη φάση της μελέτης του έργου ή η σημασία της είχε απλώς υποεκτιμηθεί. Γεγονός είναι ότι είχε υποεκτιμηθεί είτε η διαπερατότητα του άργιλο-μαργαϊκού σχηματισμού, είτε η αντοχή του σε διασωλήνωση και διάβρωση. Κατά συνέπεια η αστοχία οφείλεται σε ανεπαρκή έρευνα και ανεπαρκή ή ελλιπή σχεδιασμό του έργου.

Το 1964 έγινε μία προσπάθεια πλήρωσης των καταβοθρών με σκυρόδεμα, η οποία αρχικά φάνηκε να αποδίδει, αφού παρατηρήθηκε σημαντική μείωση των διαρροών κατά 80%. Μετά την πάροδο όμως μικρού χρονικού διαστήματος, οι καταβόθρες επαναδραστηριοποιήθηκαν στην αρχική τους παροχετευτικότητα. Έκτοτε διατηρείται χαμηλή στάθμη νερού στον ταμιευτήρα, υψομετρικά στο στόμιο των καταβοθρών (βλ. ΕΑΚ. 2), το φράγμα θεωρείται ότι αστόχησε και σήμερα αξιοποιείται τουριστικά η παραλίμνια ζώνη ως χώρος αναψυχής. Σε αμφότερα τα πρηνή του φράγματος έχει αναπτυχθεί βλάστηση, όπως φαίνεται στην ΕΑΚ. .



Συνέπειες της αστοχίας ήταν η ολοκληρωτική εγκατάλειψη του έργου, γιατί η υδροδότηση του Βιομηχανικού κέντρου Πτολεμαΐδας επιτεύχθηκε με άλλα μέσα. Μακροπρόθεσμα το έργο άρχισε να αποδίδει ως πόλος έλξης για εκδρομές ή ψάρεμα. Η τοπική κοινωνία πρόσφατα εκδήλωσε ενδιαφέρον αποκατάστασης του έργου, κυρίως για λόγους τουριστικής και ενδεχομένως ενεργειακής εκμετάλλευσης και δευτερευόντως για ύδρευση ή άρδευση.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΑΣΤΟΧΗΣΑΝ

ΜΕΡΑ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΕΤΑΙΡΕΙΑ	ΤΥΠΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ	ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣ Η ΥΛΙΚΩΝ	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
5-19 [οεμβρίου, 013	Καζαραν, Αρμενία	Cronimet mining, Ag	χαλκού, μολυβδαινί ου	βλάβες των απορρίμματα κατεργασίας του αγωγού		υπολείμματα κατεργασίας που εκβάλλου στον Norashenik ποταμό γι αρκετές ημέρες
7 εκεμβρίου, 012	πρώην ορυχείο Gullbridge, Newfoundland , Καναδάς		χαλκός	Αποτυχία επιχώματος του φράγματος, πλάτος 50 μ.		Είχε χορηγηθ στην πόλη τη νότιας Brook μ κατανάλωση νερού
[οέμβριου, 012	Sotkamo, επαρχία Kainuu, Φινλανδία	Talvivaara Mining Company	νικέλιο, (υποπροϊόν του ουρανίου)	διαρρέουν νερά από μια λιμνούλα μέσω μιας «τρυπάς σχήματος χωνιού"	εκατοντάδες χιλιάδες κυβικά μέτρα μολυσμένου νερού αποβλήτων	Συγκεντρώσεις νικελίου και ψευδάργυρου σε κοντιν ποταμό Sno' υπερβούν τ τιμές που είναι επιβλαβείς γι τους οργανισμούς δεκαπλάσια ακόμα και έν εκατονταπλάσι , συγκεντρώσεις ουρανίου περισσότερο από δέκα φορές
1 Ιουλίου, 011	Mianyang City, Songpan County, επαρχία Σιτσουάν της Κίνας	Xichuan Minjiang Ηλεκτρολυτ ικός	μαγγάνιο	απορρίμματα κατεργασίας του φράγματος που καταστράφηκαν από κατολισθήσεις που προκλήθηκαν από τις ισχυρές βροχοπτώσεις		Τα απορρίμματα κατεργασίας κατέστρεψαν επαρχιακούς δρόμους και κατοικημένα σπίτια, αναγκάζοντας τους 27 ανθρώπους ν τα εγκαταλείψουν καθώς τ

						απορρίμματα κατεργασίας πλύθηκαν στο ποταμό Fujian; αφήνοντας 200.000 ανθρώπους χωρίς παροχή πόσιμου νερού
Οκτώβρη, 010	Kolontár, Ουγγαρία	MAL Magyar Aluminium	βωξίτης	η αποτυχία του φράγματος οφειλόταν σε απορρίμματα κατεργασίας	700.000 κυβικά μέτρα καυστική κόκκινη λάσπη	πολλές πόλες έχουν πλημμυρίσει, 1 άνθρωποι σκοτώθηκαν, περίπου 12 άνθρωποι τραυματίστηκαν, 8 τετραγωνικά χιλιόμετρα πλημμύρισαν
5 Ιουνίου, 010	Huancavelica, Περού	Unidad Minera Caudalosa Chica		η αποτυχία του φράγματος οφειλόταν σε απορρίμματα κατεργασίας	21.420 κυβικά μέτρα απορρίμματα κατεργασίας	μόλυνση του río Escalera και río Oramayo 11 χιλιόμετρα κατάντη
9 Αυγούστου, 009	Περιοχή Karamken, Μαγκαντάν, Ρωσία		χρυσός	η αποτυχία του φράγματος εξαιτίας υπολειμμάτων μετά από δυνατή βροχή		Έντεκα σπίτια παρασύρθηκαν από χείμαρροι λάσπης, τουλάχιστον ένα άτομο σκοτώθηκε

4 Μαΐου 009	Huayuan County,επαρχία Yunnan, Κίνα		μαγγάνιο	η αποτυχία του φράγματος λόγω υπολειμμάτων		Η κατολίσθησ που ξεκίνησε μ την αποτυχί του φράγματ υπολειμμάτων κατέστρεψε έν σπίτι, σκοτώνοντας τρεις και τραυματίζοντα τέσσερα άτομα
2 εκεμβρίου 008	Kingston, Τενεσί, Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής	Tennessee Valley Authority	άνθρακα τέφρα	αποτυχία τοίχου συγκράτησης	Απαλλαγή των 5,4 εκατ. κυβικά μέτρα [4,1 εκατομμύρια κυβικά μέτρα] ίλυος τέφρας	Η διαφάνει τεφρών καλύπτει 40 στρέμματα [1, τετραγωνικά χιλιόμετρα] τόσο βαθιά όσ 6 πόδια [1,8 μ.]. Το κύμα τ στάχτης και λάσπης ανέτρεψε τ γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος, πο καλύπτονται στο Swan Pon καθώς και μι ρήξη γραμμί αερίου. Θ καταστραφούν 12 σπίτια, και ένα άτομο έπρεπε να διασωθεί, ο και κανείς δε τραυματίστηκε σοβαρά.

επτεμβρίου 008	Taoshi, Linfen City, Xiangfen, επαρχία Shanxi, Κίνα	Tashan mining company	σίδηρο	Κατάρρευση της δεξαμενής αποβλήτων σε ένα παράνομο ορυχείο κατά τη διάρκεια της βροχής	Μια κατολίσθηση αρκετών μέτρων έθαψε μια αγορι πολλά σπίτι και έν τριώροφο κτίριο. Τουλάχιστον 254 άνθρωπι είναι νεκροί κα 35 τραυματίες.
Ιοέμβριου 006	Nchanga, Chingola, Ζάμπια	Konkola Copper Mines (KCM) Plc	χαλκός	αποτυχία των υπολειμμάτων πολτού αγωγού από το Nchanga εργοστάσιο	Απαλλαγή τα πολύ όξινα υπολειμμάτων σε Kafu ποταμού, υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού, μαγγανίου, κοβαλτίου, στ νερό το ποταμού, παροχή το πόσιμου νερο στις κατάνι κοινότητες έκλεισαν

<p>0 Απρίλη 006</p>	<p>κοντά Miliang, Zhen'an County, Shangluo, επαρχία Shaanxi, Κίνα</p>	<p>Zhen'an County Gold Mining</p>	<p>χρυσός</p>	<p>υπολείμματα της αποτυχίας του φράγματος κατά τη διάρκεια της έκτης εξέγερσης του φράγματος</p>		<p>Η κατολίσθησ έθαψε περίπου 40 δωμάτια απ εννέα νοικοκυριά, αφήνοντας 1 κατοίκους ν λείπουν. Πένι τραυματίες μεταφέρθηκαν στο νοσοκομείο. Περισσότεροι από 13 κατοικίες τι περιοχής έχου εκκενωθεί. Τοξικό κυανιούχου καλίου κυκλοφόρησε στον ποταμ Huashui, μολύνοντας τ περίπου. χιλιόμετρα προ τα κάτω.</p>
<p>4 Απριλίου 005</p>	<p>Bangs λίμνη, Jackson County, Mississippi, Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής</p>	<p>Mississippi Phosphates</p>	<p>φωσφορικό άλας</p>	<p>αποτυχία μιας στοίβας φωσφογύψου, επειδή η εταιρεία προσπαθεί να αυξήσει την χωρητικότητα της λίμνης με ταχύτερο ρυθμό από το κανονικό, σύμφωνα με τους Υπάλληλους του Τμήματος Μισισσιπή Ποιότητας Περιβάλλοντος (η εταιρεία έχει κατηγορηθεί για τη διαρροή σε ασυνήθιστες έντονες βροχοπτώσεις, όμως)</p>	<p>περίπου. 17 εκατομμύρια γαλόνια όξινο υγρό (64.350 m3)</p>	<p>υγρό χύνεται c παρακείμενες εκτάσεις τι λίμνης, προκαλώντας την βλάστησ να πεθάνει</p>

0 Οκτωβρίου 004	Pinchi Lake, Βρετανική Κολούμπια, Καναδάς	Teck Cominco Ltd	υδράργυρος	Απορρίμματα φράγματος (100 μέτρα μήκος και 12 μέτρα ύψος) καταρρέουν κατά τη διάρκεια εργασιών αποκατάστασης	6.000 έως 8.000 m3 του βράχου, βρωμιά και τα λύματα	Υπολείμματα χυθήκαν σε 5.500 έκτασ στην Pincel Λίμνη
Σεπτέμβρη 004	Riverview, Φλόριντα, ΗΠΑ	Cargill Crop Nutrition	φωσφορικό άλας	ένα ανάχωμα στην κορυφή ενός σωρού 100- πόδια-υψηλό γύψου κατέχει 150 εκατομμύρια λίτρα μολυσμένου νερού έσπασε μετά το χτύπημα από κύμα τυφώνα Φράνσις στην νοτιοδυτική γωνία του αναχώματος	60 εκατομμύρια λίτρα (227.000 m3) όξινο υγρό	Χύθηκε υγρ στο Archi Creek πο οδηγεί στ Hillsborough Bay
2 Μαΐου 004	Partizansk, Primorsky Krai, Ρωσία	Dalenergo	άνθρακα τέφρα	Ένα δαχτυλιδι ανάχωματος, περικλείοντας μια έκταση περίπου 1 km2 και κατέχει περίπου 20 εκατομμύρια κυβικά μέτρα της τέφρας του άνθρακα, έσπασε. Το διάλειμμα άφησε μια τρύπα περίπου 50 μέτρων σε πλάτος στο φράγμα.	περίπου 160.000 κυβικά μέτρα τέφρας	Η τέφρα έρε μέσα από έν αποστραγγιστι ό κανάλι σε έν παραπόταμο του ποταμο Partizanskaya που αδειάζ στην Nahodk Bay στη Primorski Krai (ανατολικά το Βλαδιβοστόκ).

0 Μάρτη 004	Malvesi, Aude, Γαλλία	Comurhex (Cogéma / Areva)	απόχυση και εξάτμιση ουράνιου στην λίμνη της μονάδας μετατροπής	φράγμα ανεπάρκειας μετά από έντονες βροχοπτώσεις κατά το προηγούμενο έτος	30.000 κυβικά μέτρα υγρών και ιλείς	Η απελευθέρωση οδήγησε σε αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών έως 170 mg / L στο κανάλι του Tauran για αρκετές εβδομάδες
11 Οκτωβρίου 003	Cerro Negro, Petorca prov., Περιοχή Quinta, Χιλή	Cia Minera Cerro Negro	χαλκός	η αποτυχία του φράγματος λόγω υπολειμμάτων	50.000 τόνοι απορριμμάτων	υπολείμματα κυλούσαν 2 χιλιόμετρα κατάντη του Pi La Ligua
7 Αυγούστου / 1 επτεμβρίου 002	San Marcelino, Zambales, Φιλιππίνες	Dizon Copper Mines Silver, Inc		υπερχείλιση δύο εγκαταλελειμμένων δεξαμενών υποδοχής απορριμμάτων μετά από δυνατή βροχή		27 Αυγούστου μερικά υπολείμματα χύθηκαν στη Maranuere λίμνη και τελικά στο Sto Tomas River 11η Σεπτέμβρι χωριά πλημμύρισαν μετα από βλητα ορυχείων, 250 οικογένειες έχουν απομακρυνθεί, κανείς δε ανέφερε κακ μέχρι τώρα
2 Ιουνίου 001	Sebastião das Águas Claras, περιοχή Nova Lima, Minas Gerais, Βραζιλία	Mineração Rio Verde Ltda	σίδηρο	η αποτυχία του φράγματος οφείλεται από βλητα ορυχείων		Κύμα υπολειμμάτων ταξίδεψε τουλάχιστον χιλιόμετρα, σκοτώνοντας τουλάχιστον δύο εργάτες μεταλλείων, και τρεις εργαζόμενοι λείπουν

8 Οκτώβριου 000	Nandan κομητεία, επαρχία Guangxi, Κίνα			η αποτυχία του φράγματος οφείλεται σε υπολειμμάτα		τουλάχιστον 1 άνθρωποι σκοτώθηκαν, 100 λείπουν περισσότερα από 100 σπίτι καταστράφηκα
Οκτώβριου 000	Inez, Martin County, Kentucky, Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής	Martin County Coal Corporation	άνθρακας	η αποτυχία του φράγματος οφείλεται στην κατάρρευση ενός υπόγειου ορυχείου κάτω από την κατακράτηση ιλύς	250 εκατομμύρια λίτρα (950.000 m3) ιλύος αποβλήτων άνθρακα απελευθερώθηκαν στα τοπικά ρεύματα	Περίπου 7 μίλια (120 χλμ των ποταμά και τα ρεμάτων γύρισαν σε μι ιριδίζουσα μαύρη, προκαλώντας τον θάνατο τα ψαριών και μήκος της Tu Fork του Bi Sandy ποταμ και μερικοί απ τους παραποτάμους του. Πόλε κατά μήκος τ Tug αναγκάστηκαν να απενεργοποιήσ υν τ πρόσληψη τοι για το πόσιμ νερό.
Σεπτέμβρη 000	Aitik ορυχείο, Gällivare, Σουηδία	Boliden Ltd	χαλκός	Το φράγμα απότυχε από ανεπαρκή διαπερατότητα	απελευθέρωση των 2,5 εκατ. m3 υγρών σε γειτονική λίμνη	

				της αποστράγγισης του φίλτρου	καθίζησης, μετέπειτα απελευθέρωση των 1,5 εκατ. m3 νερού (που μεταφέρουν κάποια υπολειμματική ιλύς) από την καθίζηση της λίμνη στο περιβάλλον	
0 Μάρτη 000	Borsa, Ρουμανία	Remin S.A.		αποτυχία του φράγματος μετά από δυνατή βροχή	22.000 τόνοι μολυσμένων βαρέων μετάλλων	μόλυνση το ρέματος Vase παραπόταμο του ποταμο Τίσα.
0 Ιανουαρίου 000	Baia Mare, Ρουμανία	Aurul S.A.	ανάκτηση χρυσού από τα παλιά απορρίμματα κατεργασίας	αποτυχία του φράγματος ακρολοφία, μετά την υπερχειλίση που προκαλούνται από ισχυρές βροχοπτώσεις και το λιώσιμο του χιονιού	100.000 m3 κυανίου-μολυσμένο υγρό	μόλυνση το Somes / Szamc ρεύμα, παραπόταμος του ποταμο Τίσα, σκοτώνοντας τόνους ψαριά και δηλητηριάζοντας το πόσιμο νερό σε πάνω από εκατομμύρια άτομα στη Ουγγαρία
6 Απριλίου 999	Surigao del Norte, Φιλιππίνες	Manila Mining Corp.	χρυσός	διαρροή από το κατεστραμμένο τσιμεντένιο σωλήνα	700.000 τόνοι απορριμμάτων κυανίου	17 σπίτι θραύτηκαν, 5 εκτάσεις κατακλίσηκα
1 εκεμβρίου 998	Huelva, Ισπανία	Fertiberia	φωσφορικό άλας	αποτυχία κατά τη διάρκεια καταιγίδας	50.000 m3 όξινο και τοξικού νερού	

5 Απριλίου 998	Los Frailes, Aznalcóllar, Ισπανία	Boliden Ltd	ψευδάργυρο , μόλυβδο, χαλκό, άργυρο	αποτυχία από την αποτυχία θεμελίωσης	4-5 εκατ. μ3 τοξικό νερό και η ιλύς	χιλιάδες εκτάσεις τι γεωργικής γη καλύφθηκαν με ιλύς
εκεμβρίου 997	Mulberry Phosphate, Polk County, Florida, USA	Mullberry Phosphates	φωσφορικό άλας	αποτυχία στοίβας φωσφογύψου	200.000 m3 της διαδικασίας φωσφογύψου νερού	εξαλείφθηκαν ζώντες οργανισμοί στον ποταμό Alafia
2 εκτώβριου 997	Pinto Valley, Αριζόνα, Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής	BHP Copper	χαλκός	κατάρρευσης πρανών του φράγματος	230.000 m3 απορριμμάτων και του βράχου	ροή υπολειμμάτων καλύπτει 1 εκτάσεις
2 ενομβρίου 996	Amatista, Nazca, Περού			Ρευστοποίησης των υπολειμμάτων ανάκτηση του φράγματος κατά τη διάρκεια του σεισμού	πάνω από 300.000 m3 απορριμμάτων	ροής περίπου 600 μέτρων έχουν χυθεί στο ποτάμι, και καλλιεργήσιμες εκτάσεις έχουν μολυνθεί
9 αυγούστου 996	El Porco, Βολιβία	Comsur	ψευδάργυρο , μόλυβδο, άργυρο	αποτυχία του φράγματος	400.000 τόνοι	300 χλι ποταμού έχουν μολυνθεί
4 Μαρτίου 996	Marcopper, Marinduque Island, Φιλιππίνες	Placer Dome Inc	χαλκός	Απώλεια απορριμμάτων από τάφρο αποθήκευσης μέσω παλιάς	1,6 εκατομμύρια m3	Εκκένωση 120 κατοικίες, 1 χλι. από το κανάλι του ποταμού πε

				σήραγγας αποχέτευσης		γεμίζει με απορρίμματα, 80 εκατομμύρια δολάρια ζημιά
εκέμβριος 995	Golden Cross, Νέα Ζηλανδία	Coeur d'Alène	χρυσός	κίνηση του φράγματος που περιέχει 3 εκατομμύρια τόνους απορριμμάτα	Μηδέν (μέχρι τώρα)	Μηδέν (μέχρι τώρα)
Σεπτέμβρη 995	Surigao del Norte, Φιλιππίνες	Manila Mining Corp.	χρυσός	Αποτυχία θεμελίωσης	50,000 m3	12 άνθρωποι σκοτώθηκαν, ρύπανση τα ακτών
9 Αυγούστου 995	Omai, Γουιάνα	Cambior A.E. εξωτερική σύνδεση, Καναδάς, Golden Star Resources A.E., Κολοράντο, ΗΠΑ	χρυσός	αποτυχία από την εσωτερική διάβρωση του φράγματος	4,2 εκατομμύρια m3 ιλύος κυανίου	80 χιλιόμετρα από Essequib River κηρύχθηκε ζών περιβαλλοντικής καταστροφής
9 Ιανουαρίου 994	Hopewell Mine, Hillsborough County, Florida, USA	IMC-Agrico	φωσφορικό άλας	αποτυχία του φράγματος	Σχεδόν 1,9 εκατομμύρια m3 νερού από άργιλο καθίζησης	χύθηκε στον κοντινό υδροτόπου και ο ποταμός Alafia, Keysville πλημμύρισε
10 Οκτωβρίου 994	Payne Creek Mine, Polk County, Florida, USA	IMC-Agrico	φωσφορικό άλας	αποτυχία του φράγματος	6,8 εκατομμύρια m3 νερού από άργιλο καθίζησης	Η πλειοψηφία των διαρροών που περιέχονται σε παρακείμενη περιοχή εξόρυξης, 500.000 m ³ τίθενται στον Hickey Branch παραπόταμο του Payne Creek

εκτώβριος 1994	Fort Meade, Φλόριντα, ΗΠΑ	Cargill	φωσφορικό άλας		76.000 m3 νερού	Χύθηκε σε Peace River κοντά στο Fort Meade
αύγουστος 1994	IMC-Agrico, Florida, USA	IMC- Agrico	φωσφορικό άλας	Τρύπα άνοιξε σε σωρό φωσφογύψου		Απελευθέρωση του γύψου και νερού σε υπόγεια ύδατα
2 εβρουαρίου 1994	Αρμονία, Merriespruit, Νότια Αφρική	Harmony Gold Mines	χρυσός	Φράγμα προσβλήθηκε μετά από δυνατή βροχή	600,000 m3	Απορρίμματα ταξίδεψαν χιλιόμετρα κατάντη, 1 άνθρωποι σκοτώθηκαν, εκτεταμένες ζημιές σε κατοικημένες δήμους
4 εβρουαρίου 1994	Olympic Dam, Roxby Downs, Νότια Αυστραλία	WMC E.P.E.	χαλκό, ουράνιο	διαρροή των απορριμμάτων φράγματος κατά 2 έτη ή περισσότερο	απελευθέρωση μέχρι 5 εκατ. m3 μολυσμένο νερό σε υπέδαφος	
εκτώβριος 1994	Gibsonton, Florida, USA	Cargill	φωσφορικό άλας			Ψάρια σκοτώθηκαν όταν το όξινο νερό χύθηκε στο Archi Creek
1993	Marsa, Περού	Marsa Mining Corp.	χρυσός	αποτυχία φράγματος λόγω υπερπήδησης		6 νεκροί
Μαρτίου 1992	Maritsa Istok 1, κοντά σε Stara Zagora, Βουλγαρία		τέφρα χόβολη	αποτυχία από τις πλημμύρες της παραλίας	500,000 m3	
επιδείξιμος 1992	Padcal, Luzon,	Philex Mining	χαλκός	Η κατάρρευση του τοίχου του	80 εκατομμύρια τόνοι	

	Φιλιππίνες	Corp.		φράγματος (αποτυχία θεμελίωσης)		
3 .υγούστου 991	Sullivan ορυχείο, Kimberley, Βρετανική Κολούμπια, Καναδάς	Cominco Ltd	μολύβδου / ψευδαργύρο υ	αποτυχία του φράγματος (υγροποίηση σε παλιά θεμέλια κατά την κατασκευή των στοιχειωδών)	75,000 m3	μονόπλευρο υλικό περιέχεται σε μια παρακείμενη λίμνη
5 .υγούστου 988	Stancil, Perryville, Maryland, USA		άμμο και χαλίκι	το φράγμα αστόχησε κατά τη διάρκεια του περιορισμού των απορριμμάτων μετά από δυνατή βροχή	38,000 m3	τα απορρίμματα κάλυψαν περιοχή 500 μ ²
0 Απριλίου 988	Jinduicheng, Shaanxi province, Κίνα		άμμο και χαλίκι	παράβαση του τοιχίου του φράγματος (απόφραξη υπερχειλιστή προκάλεσε το επίπεδο της λίμνης να αυξηθεί πάρα πολύ)	700,000 m3	περίπου 2 άνθρωποι σκοτώθηκαν
9 επταετίας 988	Tennessee Consolidated No.1, Grays Creek, TN, USA		άνθρακας	ο τοίχος του φράγματος αστόχησε από εσωτερική διάβρωση, που προκαλείται από την αποτυχία ενός σωλήνα στην έξοδο	250,000 m3	
988	Riverview, Florida, USA	Gardinier (now Cargill)	φωσφορικό άλας	Διαρροή οξέος		Χιλιάδες ψάρι ξεβράστηκαν στις εκβολές του ποταμού Alafia

Απριλίου 987	Montcoal No.7, Raleigh County, West Virginia, USA	Coal Co. (now Peabody Energ	άνθρακας	το φράγμα αστόχημα μετά την θραύση του αγωγού υπερχείλισης	87000 m ³ νερού	τα μπάζ έρρεαν για 8 χλμ κατάντη
Μαΐου 986	Itabirito, Minas Gerais, Βραζιλία	Itaminos Comercio de Minerios		κατέρρευσε ο τοιχος του φράγματος	100000 τόνοι	τα μπάζ έρρεαν για 1 χλμ κατάντη
986	Κίνα		σίδηρος	το φράγμα αστόχησε λόγω διαρροής/ασταθει ας		19 άνθρωποι σκοτώθηκαν
9 Ιουλίου 985	Stava, Trento, Italy	Prealpi Mineraia	φθορίτης	η αστοχία προκλήθηκε από τα ανεπαρκή περιθώρια ασφαλείας και τους ανεπαρκείς σωλήνες αποστράγγισης	200,000 m ³	τα μπάζ έρρεαν για 4.2χλμ με ταχυτητα90χλμ ανά ώρα 26 άνθρωποι σκοτώθηκαν κι 62 κτήρι καταστραφήκα
Μαρτίου 985	Veta de Agua No.1, Chile		χαλκός	το φραγμα αστόχησε λόγω της ρευστοποίησης του κατά τη διάρκεια του σεισμού	280,000 m ³	τα μπάζ έρρεαν για χλμ
απριου198	Cerro Negro No.4, Chile	Cia Minera Cerro Negro	χαλκός	το φράγμα αστόχησε λόγω ρευστοποίησης	500,000 m ³	τα μπάζ έρρεαν για 8χλμ
985	Olinghouse, Wadsworth, Nevada, USA	Olinghouse Mining Co.	χρυσός	το ανάχωμα κατέρρευσε λόγω κορεσμού	25,000 m ³	τα μπάζ έρρεαν γέ 5χλμ κατάντη
10εμβρίου 982	Sipalay, Negros Occidental, Philippines	Marinduque Mining and Industrial Corp.	χαλκός	αστόχησε λόγω της ολίσθησης των θεμέλιων σε αργιλικά εδάφη	28 εκ.τοννοι	εκτεταμένες πλημμύρες σε γεωργικές εκτάσεις
8 εκεμβρίου 981	Ages, Harlan County, Kentucky, USA	Eastover Mining Co.	άνθρακας	αστόχησε το φράγμα μετά από δυνατή βροχή	96,000 m ³	ο σωρός απ μπάζα ρέοντα παρέσυρε σπίτια και τ

						κατέστρεψε ολοσχερώς αλλά προκάλεσε ζημιές και απώλεια ανθρώπινης ζωής
0 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99	Balka Chuficheva, Lebedinsky, Russia		σίδηρος	αστόχησε	3,5 εκ τοννοι	τα μπάζ έρρεαν για 1, χλμ
3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99	Tyrone, New Mexico, USA	Phelps Dodge	χαλκός	το φράγμα αστόχησε εξαιτίας της ταχείας αύξησης του ύψους του φράγματος και την πρόκληση υψηλής εσωτερικής πίεσης πόρων	2 εκ μ ³	τα μπάζ έρρεαν για χλμ κατάντι πλημμυρίζοντο χωράφια
6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99	Church Rock, New Mexico, USA	United Nuclear		εσωτερική διάβρωση από εσωτερική διαρροή	40,000 m ³	σημαντική καταστροφή ιδιοκτησιών
979 η 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99	unidentified), British Columbia, Canada			εσωτερική διάβρωση από εσωτερική διαρροή	40,000 m ³	σημαντική καταστροφή ιδιοκτησιών
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99	Arcturus, Zimbabwe	Corsyn Consolidated Mines	χρυσός	υδαρή υπερχειλίση μετά από συνεχή βροχόπτωση	30,000 tonnes	1 άνθρωπος σκοτώθηκε
4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99	Mochikoshi No.1, Japan	Mochikoshi Gold Mining Company	χρυσός	αστοχία λόγω ρευστοποίησης μετά από σεισμό	80,000 m ³	1 άνθρωπος σκοτώθηκε

εβρουαρίο 1977	Homestake, Milan, New Mexico, USA	Homestake Mining Company	ουράνιο	αστοχία λόγω της καταστροφής της γραμμής σωληνώσεων	30,000 m ³	δεν υπήρχο επιπτώσεις εκτός το πεδίο το ορυχείου
Μαρτίου 976	Zlevoto, Yugoslavia		μολύβδου, ψευδαργύρο υ	αστοχία λόγω του υψηλού φρεατίου ορίζοντα και ξέσπασμα διαρροής στην όψη του αναχώματος	300,000 m ³	Μόλυναν κοντινό ποτάμι
ούνιος 975	Silverton, Colorado, USA		μέταλλο		116,000 τόνοι	η ροή τα απορριμμάτων μόλυνε περίπου 160χλμ από το ποτάμι Anima και τα παραποτάμων του, όπα επίσης σοβαρά υλικές ζημίες όχι τραυματισμοί
975 πρίλιος	Madjarevo, Bulgaria		μολύβδου, ψευδαργύρο υ, χρυσος	άνοδο των υπολειμμάτων πάνω από το επίπεδο του σχεδιασμού προκάλεσε υπερφόρτωση των σωλήνων αποστράγγισης και των υ συλλογής	250,000 m ³	
975	Mike Horse, Montana, USA		μολύβδου, ψευδαργύρο υ	αστόχησε μετά από έντονη βροχόπτωση	150,000 m ³	άγνωστο
1 [οεμβρίου 974	Bafokeng, South Africa			το ανάχωμα αστόχησε λόγω συγκεντρωμένης διαρροής και ρωγμές στις σωληνώσεις	3εκ m ³	12 άνθρωποι σκοτώθηκαν αφού ορυχείο καλύφθηκε με μπαζα

νουαρίου 974	Deneen Mica, North Carolina, USA		μαρμαρυγία	αστοχία μετά από έντονη βροχόπτωση	38,000 m ³	απορρίμματα απελευθερώθη αν σε γειτονικ ποτάμι
973	Southwestern USA		χαλκός	το φράγμα αστόχησε λόγω της μεγάλης πίεσης των πόρων	170,000 m ³	25 χλμ έρρεο τα μπάζα
6 εβρουαρίου 1972	Buffalo Creek, West Virginia, USA	Pittston Coal	άνθρακας	Αστοχία μετά από βροχόπτωση	500,000 m ³	τα μπάζ έρρεαν για 2 χλμ 12 άνθρωποι έχασ τη ζωή τους 50 σπίτια καταστράφηκα . Ακίνητα κι αυτοκινητόδρο οι ξεπέρασαν ε ζημιά τ 65εκ.δολλாரια
εκεμβρίου 971	Fort Meade, Florida, USA	Cities Service Co.	φωσφορικό άλας	λίμνη με άργιλο το φράγμα αστόχησε ,η αίτια είναι άγνωστη	9 million m ³	Τα μπάζ έρρεαν για 20κ
970	Mfulira, Zambia		χαλκός	ρευστοποίηση απορριμμάτων τα όποια εισχώρησαν σε υπόγειες εργασίες	1 εκ τόνοι	89 ανθρακωρύχοι σκοτώθηκαν
970	Maggie Pie, United Kingdom		πηλός	ανύψωση του αναχώματος μετά από έντονη βροχή	15,000 m ³	για 35 μετρ έρρεαν τ μπάζα
969	Bilbao, Spain			ρευστοποίηση μετά από έντονη βροχόπτωση	115,000 m ³	μεγάλες κατάντη φθορι και απώλει ζωών

968	Hokkaido, Japan			το φράγμα αστόχησε ,ρευστοποίηση μετά από σεισμό	90,000 m3	τα μπάζ ταξίδεψαν για 150 μετρ κατάντη
Ιάρτιος 967	Fort Meade, Florida, USA	Mobil Chemical	φωσφορικό άλας	δεν υπάρχουν πληροφορίες	250,000 m3 φωσφορικό πηλό	πετραιλεοκιλίδ φτάνει σε Peace River σκοτώνοντας τους υδρόβιοι οργανισμούς
967	United Kingdom		άνθρακας	αστόχησε κατά τη διάρκεια εργασιών ανακατάταξης		τα μπάζα κάλυψαν εκτάρια
966	East Texas, USA		γύψος	άγνωστο	76,000 - 130,000 m3 γύψου	ολίσθηση με 300 μετρά ρο χωρίς θύματα
966	Derbyshire, United Kingdom		άνθρακας	κατέρρευσε λόγω αστοχίας θεμέλιων	30,000 m3	τα μπάζ κινήθηκαν για 300 μετρ κατάντη
1 εκτωβρίου 966	Aberfan, Wales, United Kingdom	Merthyr Vale Colliery	άνθρακας	ρευστοποίηση μετά από έντονη βροχόπτωση	162,000 m3	τα απορρίμματα έρρεαν για 60 μετρά 14 άνθρωποι σκοτώθηκαν
Μαΐου 966	Mir mine, Sgorigrad, Bulgaria		μολύβδου, ψευδαργύρου, χαλκού, αργύρου, (ουράνιο	το φράγμα αστόχησε από την άνοδο της στάθμης λίμνης μετά από έντονες βροχοπτώσεις ή / και την αποτυχία του αγωγού εκτροπής	450,000 m3	ένα κύμα με μπάζα ταξιδέψαν για 8 χλμ απ την πόλη της Vratza καταστρέφοντας κατά το ήμισυ το χωριό Sgorigrad σκοτώνοντας 488 άτομα

8 Μαρτίου 965	Bellavista, Chile		χαλκός	αστόχησε κατά τη διάρκεια σεισμού	70,000 m3	τα μπάζα παρασυρθήκα 800 μέτρα κατάντη
8 Μαρτίου 965	Cerro Negro No.3, Chile		χαλκός	αστόχησε κατά τη διάρκεια σεισμού	85,000 m3	τα μπάζα κύλησαν για 5χλμ
8 Μαρτίου 965	El Cobre New Dam, Chile		χαλκός	ρευστοποίηση κατά τη διάρκεια του σεισμού	350,000 m3	τα μπάζα ταξίδεψαν για 150 μετρ καταστρέφοντας την πόλη το A Cobi σκοτώνοντας πάνω από 20 ανθρώπους
8 Μαρτίου 965	El Cobre Old Dam, Chile		χαλκός	ρευστοποίηση κατά τη διάρκεια του σεισμού	1.9 million m3	τα μπάζα ταξίδεψαν για 150 μετρ καταστρέφοντας την πόλη το El Cobi σκοτώνοντας πάνω από 20 ανθρώπους
8 Μαρτίου 965	Los Maquis, Chile		χαλκός	ρευστοποίηση κατά τη διάρκεια του σεισμού	35,000 m3	τα μπάζα έρρεαν για Χελμ κατάντη
965	Tymawr, United Kingdom		άνθρακας	αστόχησε λόγω υπερπίδησης		τα μπάζα
962	unidentified), Peru			ρευστοποίηση μετά από έντονη βροχόπτωση και σεισμο		
961	Tymawr, United Kingdom	-	άνθρακας	άγνωστο	-	

Κεφάλαιο 5 : Συνοπτική αναφορά στους κυριότερους τύπους αστοχίας φραγμάτων αίτια και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Τύποι αστοχίας φραγμάτων

- Υπερπήδηση νερού
- Εσωτερική διάβρωση και διασολήνωση με μεταφορά υλικού από τον πυρήνα κλπ. Επίσης και στο έδαφος θεμελίωσης
- Καθίζηση φράγματος
- Κατολίσθηση κατάντη κελύφους
- Κατολίσθηση ανάντη κελύφους λόγω γρήγορης ταπείνωσης του ταμιευτήρα
- Αστοχία φράγματος λόγω υπερφόρτισης μαλακού ασθενούς ορίζοντα



Πιο ειδικά

Χωμάτινα φράγματα

- Υπερπήδηση κατά τη διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων ,λόγω ανεπάρκειας εκχειλιστή ή λόγω κακής λειτουργίας θυροφραγμάτων
- Διάβρωση της θεμελίωσης (ανεπαρκή ζώνη φίλτρου ,καθιζήσεις και διασωλήνωση ,ρευστοποίηση)

Φράγματα από σκυρόδεμα

- Μειωμένη διατμητική αντοχή και διακλάσεις στη θεμελίωση ,διαφορικές καθιζήσεις ,διάβρωση από υψηλή διαπερατότητα.
- Υπερβολική άνωση λόγω ανεπαρκούς αποστράγγισης



Αιτίες που συνέβαλλαν σε αστογίες φραγμάτων

- Ολίσθηση
- Υποπίεσεις
- Σεισμοί
- Μετακίνηση ή ερπυσμός σε ρήγμα
- Εσωτερική διάβρωση
- Εξασθένηση της θεμελίωσης από διαβροχή – αποσάθρωση
- Αστάθεια πρανών στα αντερείσματα
- Υπερβολική παραμόρφωση της θεμελίωσης
- Υπερβολική - υποσκαφή από πλημμύρα
- Κατολισθήσεις μέσα στον ταμιευτήρα



Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των φραγμάτων

- Επίδραση στην πανίδα
- Συσσώρευση των φερτών υλικών
- Εισροή φερτών υλικών στον ταμιευτήρα
- Διάβρωση της ακτογραμμής στις θέσεις των δέλτα
- Εντατική χρήση νερού για αρδεύσεις
- Αλλαγή στο μικροκλίμα της περιοχής

Κεφάλαιο 6 : Διδάγματα κανόνες για την μέγιστη ασφάλεια και πρόληψη μελλοντικών καταστροφών

Διδάγματα

Μετά από την αναλυτική αναφορά των παραπάνω παραδειγμάτων από τις αστοχίες μεγάλων φραγμάτων διδαχθήκαμε αρκετά μαθήματα. Ένα από αυτά είναι ότι η έδραση των θεμελίων του φράγματος πρέπει να γίνεται σε στερεό υλικό. Μια αποτελεσματική κουρτίνα τσιμεντενέσεων μπορεί να είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος. Συνιστάται για την κατασκευή του μεγάλου αυτού τεχνικού έργου που είναι το φράγμα, υδρολογικός και υδραυλικός σχεδιασμός συμβατός με την τεχνολογική εξέλιξη. Καθώς ας μην ξεχνάμε την σημασία της εκτέλεσης της λεπτομερής γεωλογικής, γεωμορφολογικής, και γεωτεχνικής έρευνας. Εξειδικευμένο και κατάλληλα καταρτισμένο προσωπικό που θα έχει την επίβλεψη της διαδικασίας εκτέλεσης των εργασιών και της συντήρησης του έργου. Ακόμα είναι σκόπιμο για τον καθορισμό και την επικύρωση των μοντέλων αναφοράς να προγραμματίσουν μέτρα πρόληψης και να διαχειρίζονται καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Τέλος είναι ζωτικής σημασίας να τονίσουμε το γεγονός ότι η αστοχία ενός φράγματος είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που μπορεί να επέλθει όταν ο προκύπτει ο πιο δυσμενής συνδυασμός φαινομένων την ίδια στιγμή με καταστροφικές συνέπειες.



Κανόνες για τη μέγιστη ασφάλεια:

- Ενδεδειγμένη επιθεώρηση από εξειδικευμένο και καλά καταρτισμένο προσωπικό που θα εποπτεύει κάθε φράγμα και τον ταμιευτήρα του
- Το φράγμα και ο ταμιευτήρας θα υφίσταται επιθεώρηση σε διαστήματα όχι μεγαλύτερα των 5 ετών ,καθώς και επιθεώρηση μετά από ασυνήθη γεγονότα(ισχυρή πλημμύρα κτλ)
- Πρόγραμμα που θα αναφέρει λεπτομερώς τα δομικά στοιχεία του έργου, τη θεμελίωση τους τον ηλεκτρομηχανολογικό μηχανισμό ,τις στάθμες ανάντη και κατόντη
- Οι εκτεθειμένες επιφάνειες φράγματος πρέπει να ερευνώνται οπτικά για ρωγμές, διάβρωση, χημικές αντιδράσεις
- Κάθε 10 χρόνια κρίνεται σκόπιμος ο καταβιβασμός στάθμης για τον έλεγχο της ανάντη παρειάς ή υποβρύχια επιθεώρηση
- Ειδική μέριμνα για τη συγκράτηση φερτών υλών



Βασικά μέτρα πρόληψης είναι:

- Ο πολεοδομικός και ο χωροταξικός σχεδιασμός, εφόσον λαμβάνουν υπόψη την επικινδυνότητα και την τρωτότητα.
- Η θεσμοθέτηση και εφαρμογή πολεοδομικών ρυθμίσεων για την απαγόρευση ή τη μείωση της δόμησης σε περιοχές μεγάλης επικινδυνότητας, όπως η κατάλληλη αξιοποίηση περιοχών μεγάλης επικινδυνότητας, καθώς και η μεταφορά οικισμών και η μετεγκατάσταση επιχειρήσεων και νοικοκυριών σε ασφαλέστερες θέσεις.
- Έγκριση χωροθέτησης και έλεγχος χρήσεων π.χ. απαγόρευση της εγκατάστασης επικίνδυνων χρήσεων σε θέσεις που γειτνιάζουν με πυκνοδομημένες ζώνες.
- Αναπλάσεις περιοχών μεγάλης τρωτότητας και παροχή κινήτρων για την αναβάθμιση του επιπέδου ασφάλειας των τεχνικών έργων.
- Θέσπιση και εφαρμογή δομικών κανονισμών, προδιαγραφών, οδηγιών και συστάσεων, ώστε να επιτυγχάνεται υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας υποδομών.



Βιβλιογραφία

- Υδροδυναμικά Έργα – Φράγματα, Τσόγκας Χ. , Τσόγκα Ε.

Διαδίκτυο

- 1923 Gleno Dam Break: Case Study and Numerical Modeling Marco Pilotti¹; Andrea Maranzoni²; Massimo Tomirotti³; and Giulia Valerio⁴
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29HY.1943-7900.0000327?journalCode=jhend8>
- Impacts of the 1928 St. Francis Dam failure on geology, civil engineering, and America J. David
- Teton Dam Failure Case Study Summarized from Solava and Delatte, Lessons from the Failure of the Teton Dam
- Proceedings of the 3rd ASCE Forensics Congress, October 19 - 21, 2003, San Diego, California
<http://www.civil.uwaterloo.ca/maknight/courses/cive554650/lectures/EarthDams/Teton%20Dam%20Failure%20Case%20Study.pdf>
- The 1963 Vaiont Landslide Rinaldo Genevois¹, Monica Ghirotti² Giornale di Geologia Applicata 1 (2005) 41 –52, doi: 10.1474/GGA.2005-01.0-05.0005
<http://es.ucsc.edu/~ward/papers/Vaiont.pdf>
- Γενικές αρχές για τη σύνταξη εθνικού κανονισμού ασφάλειας φραγμάτων
- http://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCcQFjAB&url=http%3A%2F%2Frhetoricallyyours.files.wordpress.com%2F2013%2F02%2Fthe-johnstown-flood-understanding-why-the-south-fork-dam-failed2.pdf&ei=CCrOU-2iBeyO7Qaj7YGACQ&usq=AFQjCNEQQw3P2wjwD8nRHkYNFcDkF713EA&sig2=lhXrcZutk_NAnayCVUeM5Q
- <http://www.jaha.org/FloodMuseum/history.html>
- Impacts of the 1928 St. Francis Dam failure on geology, civil engineering, And America J. David Rogers, Ph.D., P.E., P.G.Missouri University of Science & Technology 2007 Annual Meeting Association of Environmental and Engineering Geologists Los Angeles California September 28, 2007

- Γεωλογικές Μελέτες Τεχνικών Έργων 8-9^ο Μάθημα: «Φράγματα», Β. Μαρίνος, Λέκτορας Α.Π.Θ., Τεχνικός Γεωλόγος MSc, DIC, PhD
- Αναγκαιότητα καθορισμού τεχνικών προδιαγραφών μελετών αστοχίας φράγματος, Α. Ι. Στάμου, Ν. Μουτάφης, Ι. Στεφανάκος
- Αστοχίες και Ατυχή Συμβάντα Ελληνικών Φραγμάτων, Ν.Ι. Μουτάφης
- Κεφάλαιο 10, Τεχνική γεωλογία και φράγματα Τμ. Πολιτικών Μηχανικών
http://www.civ.uth.gr/lessons/52%5Ckephalaio_10.pdf
- Chronology of major tailings dam failures
- <file:///F:/%CE%A0%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%BA%CE%B1%CF%82/Chronology%20of%20major%20tailings%20dam%20failures.html>