

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ – ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ»



ΑΝΑΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (FUSEGATES) ΣΕ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΕΣ  
ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ- Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΥΠΕ ΛΟΥΡΟΥ



**ΒΑΜΒΟΥΡΕΛΛΗΣ ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ**

Επιβλέπων: Λέκτορας Ι. Π. Στεφανάκος

Αθήνα, Νοέμβριος 2012



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής εργασίας μου θεωρώ ότι οφείλω να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν στην πραγματοποίησή της, περισσότερο ή λιγότερο, καθοριστικά ή συνεπικουρικά.

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, λέκτορα της σχολής Πολιτικών Μηχανικών κ. Ιωάννη Στεφανάκο, που δέχτηκε να με καθοδηγήσει στην εκπόνηση της εργασίας για δεύτερη φορά, η πρώτη ήταν στο προπτυχιακό επίπεδο. Η βοήθειά του ήταν καθοριστική και η συνεργασία μας ειλικρινής και αποτελεσματική.

Τις ευχαριστίες μου οφείλω και στον λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών κ. Νικόλαο Μουτάφη για τη βοήθεια και τις πληροφορίες που μου παρείχε για τους ελέγχους ευστάθειας του φράγματος Λούρου και το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής του έργου.

Σημαντική βοήθεια μου προσέφερε ο επίκουρος καθηγητής της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών κ. Δαμίγος Δημήτριος στην κατάρτιση του επιχειρηματικού πλάνου για την εγκατάσταση ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων στον υπερχειλιστή του ΥΠΕ Λούρου. Ευχαριστώ ακόμα τον καθηγητή της σχολής μας κ. Δημήτριο Κουτσογιάννη για τις συμβουλές του σχετικά με τις υδρολογικές συνθήκες της λεκάνης απορροής του Λούρου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους και όλες όσες με στήριξαν τον τελευταίο χρόνο στην προσπάθειά μου να εκπονήσω αυτήν την εργασία με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, δεδομένου ότι μεσολάβησαν εννιά μήνες που με απομάκρυναν από την Αθήνα για την εκπλήρωση της στρατιωτικής μου θητείας.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	8
EXTENDED ABSTRACT .....	10
INTRODUCTION .....	10
FUSEGATE TECHNOLOGY.....	10
Design of fusegates.....	10
Operation conditions .....	11
Operational reliability.....	11
FUSEGATE SYSTEMS IN EXISTING DAMS .....	12
1. Hydraulic operation conditions of the spillway – discharge coefficient.....	12
2. Discharge capacity of fusegate system.....	12
3. Spillway stability.....	12
4. Dam stability .....	12
5. Earth or rockfill dam clay core and slope stability.....	12
6. Reservoir banks stability .....	12
7. Hydroturbines operation conditions.....	12
8. Infrastructures and populations in the area around .....	12
9. General and economic benefits .....	12
FUSEGATE SYSTEM IN LOUROS RIVER DAM.....	12
Louros River Dam .....	12
Fusegate installation .....	13
CONCLUSION.....	13
1. ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΕΣ .....	14
2. ΑΝΑΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (FUSEGATES) .....	18
2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ .....	18
Τεχνικά χαρακτηριστικά fusegates.....	18

Στεγανοποίηση.....	19
2.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	20
Κανονικές συνθήκες λειτουργίας.....	20
Διαδικασία Ανατροπής .....	21
2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ.....	22
Ολίσθηση .....	22
Ανατροπή.....	23
Καμπύλες ευστάθειας.....	29
2.4 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ.....	30
Εξασφάλιση έναντι ανατροπής σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας.....	31
Εξασφάλιση κατάντη πληθυσμών: κατώτατη στάθμη ανατροπής.....	31
Ανώτατη στάθμη ευστάθειας .....	32
Ενίσχυση Αξιοπιστίας.....	32
Μη ομαλές συνθήκες λειτουργίας .....	32
Επίδραση εξωτερικών παραγόντων .....	34
2.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΤΡΕΠΟΜΕΝΩΝ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΩΝ .....	39
Είδη fusegates .....	39
Χαρακτηριστικά παροχетеυτικότητας .....	41
Στοιχεία σχεδιασμού των fusegates.....	43
Στοιχεία κατασκευής των fusegates.....	44
2.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ FUSEGATES .....	48
2.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ FUSEGATES .....	49
3. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ FUSEGATES ΣΕ ΥΠΑΡΧΟΝ ΦΡΑΓΜΑ .....	52
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	52
3.2 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ .....	53
Συντελεστής παροχетеυτικότητας .....	53
Παροχетеυση πλημμυρών από το σύστημα fusegates .....	54
3.3 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ .....	55

Απαιτούμενοι έλεγχοι.....	55
Φορτία στο τεχνικό υπερχειλίσης.....	57
3.4 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	58
Απαιτούμενοι έλεγχοι.....	58
Φορτία στο φράγμα .....	60
3.5 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΥΡΗΝΑ ΚΑΙ ΠΡΑΝΩΝ ΣΕ ΓΕΩΦΡΑΓΜΑ .....	61
Έλεγχος υγρασίας και ρωγμάτωσης πυρήνα.....	61
Ευστάθεια πρανών γεωφράγματος .....	63
3.6 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ .....	65
3.7 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΣΕ ΥΗΕ.....	65
Ύψος Πτώσης .....	66
Βαθμός απόδοσης.....	66
3.8 ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΚΑΙ ΠΛΗΘΥΣΜΟΙ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ .....	67
3.9 ΠΟΣΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ .....	67
Ποσοτικό όφελος .....	68
Οικονομικό όφελος .....	69
4. ΣΥΣΤΗΜΑ FUSEGATES ΣΤΟΝ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ ΤΟΥ ΥΗΕ ΛΟΥΡΟΥ .....	70
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ .....	70
4.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ FUSEGATES .....	72
4.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ .....	73
Συντελεστής Παροχετευτικότητας .....	74
Παροχέτευση πλημμυρών .....	75
Συμπεράσματα .....	79
4.4 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ – ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ .....	80
Φορτία στο φράγμα .....	80
Έλεγχος σε ολίσθηση .....	85
Έλεγχος σε ανατροπή .....	85
Ανάλυση ευστάθειας - αποτελέσματα .....	86

4.5 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ .....	87
4.6 ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΚΑΙ ΠΛΗΘΥΣΜΟΙ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ .....	88
4.7 ΠΟΣΟΤΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ.....	89
Χωρητικότητα ταμειευτήρα .....	89
Παροχτευτικότητα υπερχειλιστή .....	89
Παραγωγή Ενέργειας .....	90
Ύδρευση – Άρδευση .....	91
Άλλες χρήσεις.....	92
4.8 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ .....	92
Παράμετροι επιχειρηματικού σχεδίου .....	93
Ταμειακές ροές.....	94
Καθαρή Παρούσα Αξία .....	94
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης.....	95
Αξιολόγηση του επιχειρηματικού σχεδίου .....	95
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	96
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	100
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	102
Π1: ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΣΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ ΛΟΥΡΟΥ .....	104
Π2: ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΡΗΜΑΤΟΡΟΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΤΡΕΠΟΜΕΝΩΝ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ ΤΟΥ ΥΠΕ ΛΟΥΡΟΥ .....	114



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τεχνολογία των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων ασφαλείας (fusegates) χρησιμοποιείται για την αύξηση της χωρητικότητας ταμιευτήρων και τη βελτίωση του ελέγχου των πλημμυρών και της παροχευτικής ικανότητας υπερχειλιστών σε υπάρχοντα ή νέα φράγματα. Τα fusegates είναι ελεύθερα επικαθήμενα θυροφράγματα μίας χρήσης, τα οποία τοποθετούνται κατά μήκος της στέψης του υπερχειλιστή, σχηματίζοντας ένα στεγανό διάφραγμα. Είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να ανατρέπονται ανά ομάδες σε πολύ μεγάλα πλημμυρικά γεγονότα, ενώ σε κανονικές συνθήκες ή σε συνήθεις πλημμύρες το νερό υπερχειλίζει με τα θυροφράγματα να διατηρούν τη θέση τους.

Η τεχνολογία των fusegates έχει εφαρμοστεί σε εκατοντάδες έργα ανά τον κόσμο. Στην Ελλάδα σύστημα ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων έχει τοποθετηθεί στο Υδροηλεκτρικό Έργο Καστρακίου (ΥΗΕ) της ΔΕΗ (2009) και στο Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο (ΜΥΗΕ) της Δαφνοζωνάρας, στον Αχελώο ποταμό, ιδιοκτησίας ΤΕΡΝΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΕ. Υπάρχουν αρκετά φράγματα σε λειτουργία με ελεύθερο υπερχειλιστή στα οποία μπορεί να τοποθετηθεί σύστημα fusegates, εκ των οποίων μερικά είναι ΥΗΕ της ΔΕΗ και τα υπόλοιπα είναι άρδευσης-ύδρευσης και υπάγονται κατα κύριο λόγο στο Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (ΥΠ.ΑΓ.Α.Τ.).

Για την τοποθέτηση ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων απαιτείται έλεγχος ευστάθειας του υπερχειλιστή, του φράγματος και των πρανών του ταμιευτήρα για τα νέα υδροστατικά φορτία, έλεγχος των συνθηκών υδραυλικής λειτουργίας του υπερχειλιστή με/χωρίς fusegates, έλεγχος της συμπεριφοράς του πυρήνα στην περίπτωση γεωφράγματος, μελέτη της επίδρασης σε πληθυσμούς και υποδομές στη γύρω περιοχή και αποτίμηση του ποσοτικού και οικονομικού οφέλους. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα τοποθέτησης fusegates στο Υδροηλεκτρικό Έργο του Λούρου, που έχει πληρωθεί κατά 80% με φερτά.

Η τοποθέτηση ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων αναμένεται να αυξήσει τον ωφέλιμο όγκο του ταμιευτήρα κατά  $225.000\text{m}^3$  και την παραγωγή ενέργειας κατά  $2.150.000\text{kWh}/\text{έτος}$ , επαναφέροντας την αποθηκευτική ικανότητα του ταμιευτήρα. Η ευστάθεια φράγματος και υπερχειλιστή δεν αναμένεται να επηρεαστεί από την ανύψωση της Ανώτατης Στάθμης Λειτουργίας, σύμφωνα με τους ελέγχους ευστάθειας. Από οικονομικής πλευράς, η επένδυση κρίνεται συμφέρουσα, όπως προκύπτει από το επιχειρηματικό σχέδιο ενώ η διάρκεια ζωής του φράγματος αναμένεται να παραταθεί κατά 30 χρόνια τουλάχιστον.



## EXTENDED ABSTRACT

### INTRODUCTION

Dam safety mainly depends on the reliable operation of the spillway in normal or extreme critical conditions. Ungated spillways increase dam safety; however the cost of wasting water and reservoir storage is considerable. Fusegates are used to increase, even maximize, reservoir storage, spillway capacity or both. A fusegate system is installed on the spillway crest followed by the necessary technical works to floaten the surface of the crest. Fusegates are the mechanical equivalent of a fuseplug, held in place by gravity. For a medium range of reservoir levels water flows over the gates, however the gates start to overturn after a predetermined value of water level. The entire system will have tipped until the maximum design reservoir level has been reached.

The scope of this postgraduate thesis is an extensive presentation of fusegates technology, an investigation of the necessary parameters to be examined for the installation of a fusegate system on the spillway crest of an existing dam and a project study of such an installation to the Hydroelectric Plant (HEP) of Louros River in the county of Preveza, near the town of Filippiada.

### FUSEGATE TECHNOLOGY

#### Design of fusegates

Fusegates are the mechanical equivalent of a fuseplug, as referred earlier. While a fuseplug fails entirely when operating, in a fusegate system only the number of gates needed to pass a flood are operational. Additionally, tipping levels can be more precisely determined to a fusegate system.

A typical fusegate is an L shaped construction and consists of three components: a bucket made of metal or reinforced concrete, a base with a watertight chamber and an intake well connected to the watertight chamber. Lugs cast in the spillway sill at the downstream edge of the gate prevent from sliding and allow the gate to overturn rotating about the downstream edge when operating. Drainage holes in the chamber discharge normal water leakages from the fusegate/sill interface. The height of inlet wells varies depending on the tipping level of the fusegate. Water flows through the inlet well into the watertight chamber of the fusegate base after a certain headwater level, increases the uplift

pressure into the chamber until the upstream edge of the fusegate lifts off the spillway sill and causes the overturning of the gate. Upstream seals prevent leakage through the fusegate/sill interface into the chamber in normal conditions. Ballasts placed on the base of fusegates prevent from overturning in critical conditions below the normal tipping level of the gates.

### **Operation conditions**

A typical fusegate installation consists of multiple gates. During a flood event only the gates needed to discharge the flood are operational. Thus, design flow varies for the several groups of installed fusegates. The well crests are arranged so that adjacent fusegates do not tilt simultaneously. For reservoir elevations up to the fusegate crest there is no discharge. For headwater level higher than the gate crest and up to the inlet well crest, water flows over the gates without affecting the stability of the system. The inlet well crest corresponds to the design flow of the gate. For discharges up to the design flow, the system functions like a labyrinth weir in which each gate represents one cycle of the labyrinth. Normally, the discharge with return period about at least one hundred (100) years is selected as the design flow of a gate.

For discharges greater than the design flow (headwater level higher than the inlet well crest), water begins to flow through the well into the watertight chamber in the base of the fusegate. When the inflow overpasses the outflow of the drain holes, water level in the chamber and uplift pressure increase. Due to the increase of the uplift pressure up to a certain value, the upstream edge of the fusegate lifts off the spillway sill and water flows into the chamber directly from the reservoir. This happens when overturning and restoring moments about the downstream edge are equalized. In these conditions the gate finally overturns by rotating about its downstream edge. Each group of fusegates is set to overturn at a progressively higher reservoir level. The last group of gates tips for the maximum design discharge, usually equal to the maximum probable flood of the area.

### **Operational reliability**

Fusegates are self-operating units needing no mechanical or electrical input. Due to the independent operation of each fusegate, the possibility of the whole system failure is negligible. Fusegates are tested in several operational conditions. Safety against overturning in normal conditions is provided. Operation in extreme critical conditions such as drain hole and inlet well blockage or destroyed upstream seals is foreseen by determining a minimum tipping level and an ultimate stability level for the fusegates. Floating debris, wave, ice and earthquake effects on the operational reliability of the fusegates are not considerable.

## FUSEGATE SYSTEMS IN EXISTING DAMS

Fusegates may be installed on the spillway crest of new or existing dams. In new dams installing fusegates does not require any special study because determination of the Maximum Power Pool of the reservoir takes into consideration the fusegate system. However, installing fusegate system on the spillway crest of an existing dam requires further study of certain parameters because in most of cases the Maximum Operation Level increases. Thus the loads stressing the dam, the spillway and other dam sections in normal and extreme critical conditions increase and need to be studied. The parameters that are influenced by the fusegate installation and need to be examined are:

1. Hydraulic operation conditions of the spillway – discharge coefficient
2. Discharge capacity of fusegate system
3. Spillway stability
4. Dam stability
5. Earth or rockfill dam clay core and slope stability
6. Reservoir banks stability
7. Hydroturbines operation conditions
8. Infrastructures and populations in the area around
9. General and economic benefits

## FUSEGATE SYSTEM IN LOUROS RIVER DAM

### **Louros River Dam**

Louros River Dam is located near the town of Filippiada, in the county of Preveza, approximately 420 kilometers away from Athens. It is a solid gravity dam made of reinforced concrete, built in the ages 1951-1954. The dam is arch shaped with crest elevation at +100,50 m, maximum reservoir volume 1.075.000m<sup>3</sup>, maximum reservoir surface 0,15 km<sup>2</sup> and is exclusively used as Hydroelectric Project of 10MW maximum capacity. The dam has an ungated chute spillway 77m long, located on its main body with crest elevation at +96,00m. The spillway crest elevation corresponds to the Maximum Power Pool of the reservoir. Maximum Flood Level is at +99,75m and corresponds to a design flood of 940m<sup>3</sup>/s. Extended sediment transport phenomena in the area have

reduced reservoir volume and production of hydroelectric power. Due to the advanced age of the dam few designs and info about flood control system are available.

### **Fusegate installation**

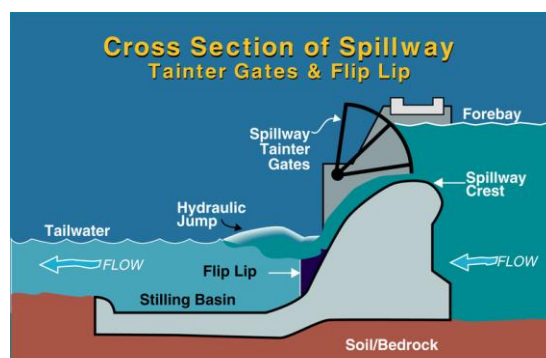
It is proposed to install a fusegate system on the spillway crest of the Louros River Dam in order to increase the annihilated reservoir storage. The proposed fusegate installation consists of 28 labyrinth gates of 1,50m height and 2,75m crest length and will also increase the spillway capacity. The Maximum Power Pool will rise from +96,00m to +97,50m high. All parameters are investigated and it is proved that operational reliability rests unaffected and in some cases increases. Discharge capacity of the spillway is improved, spillway, dam and reservoir banks stability are not affected. In the area around the dam site neither infrastructures nor populations face any problem by the rise of the reservoir elevation. Furthermore the reservoir volume will increase by 225.000m<sup>3</sup> and it is expected that Hydroelectric Power production will rise by 2.150.000KWh annually. According to the business plan of the investment there will be a considerable economic benefit.

### **CONCLUSION**

Taking into consideration international references and the investigation of installing fusegate system on the spillway crest of Louros Dam, it can be safely concluded that fusegate technology is a reliable and economic choice. Fusegates are used to increase reservoir storage, spillway discharge capacity or both and have high operational reliability either in normal or in extreme critical conditions. The gates are self-operating units needing no mechanical or electrical input and the risk of a whole system failure is negligible. Besides, maintenance cost is very low. Installing fusegates on a dam spillway requires a good knowledge of the hydrologic conditions of the area around. The proposed fusegate installation on HEP of Louros River increases reservoir volume, hydroelectric power production and is a profitable choice without affecting the safety of the dam or other sections.

## 1. ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΕΣ

Το σύστημα υπερχειλίσης είναι μία από τις πλέον σημαντικές κατασκευές σε ένα φράγμα. Λειτουργία του είναι η αποτελεσματική παροχέτευση πλημμυρικών όγκων από τη λεκάνη απορροής ανάντη ενός φράγματος προς την κατάντη περιοχή χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ασφάλεια του φράγματος. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχή λειτουργία του συστήματος υπερχειλίσης είναι η μη υπέρβαση της Ανώτατης Στάθμης Πλημμύρας (Α.Σ.Π.) κατά την εκφόρτιση των πλημμυρών. Η Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας αντιστοιχεί στην πλημμύρα σχεδιασμού του φράγματος που συνήθως είναι η πιθανή μέγιστη στην περιοχή του έργου. Η στέψη του υπερχειλιστή είναι στην Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας (Α.Σ.Λ.) του φράγματος. Όταν η στάθμη του νερού υπερβεί την Α.Σ.Λ. ξεκινάει η λειτουργία του υπερχειλιστή. Στην εικόνα 1.1 φαίνεται η τυπική διατομή υπερχειλιστή.



Εικόνα 1.1 Τυπική διατομή υπερχειλιστή (πηγή: en.wikipedia.org)



Εικόνα 1.2 Επιφανειακός πλευρικός υπερχειλιστής (φράγμα Καστρακίου)



Εικόνα 1.4 Μετωπικός υπερχειλιστής

Υπάρχουν διαφορετικά είδη υπερχειλιστών ανάλογα με τη χωροθέτηση και τη λειτουργία τους. Διακρίνονται σε επιφανειακούς (εικόνα 1.2) και υπόγειους (σε σήραγγα ή σιφωνοειδείς- εικόνα 1.3) ανάλογα με τη χωροθέτηση ως προς την επιφάνεια του φράγματος, πλευρικούς (εικόνα 1.2) και μετωπικούς (εικόνα 1.4) ανάλογα με τη χωροθέτηση της εισόδου του συστήματος στα αντερείσματα ή στον άξονα του φράγματος αντίστοιχα, σε ελεύθερους ή με θυροφράγματα (εικόνα 1.5) ανάλογα με τη δυνατότητα ελέγχου της παροχής υπερχειλίσης. Τα βασικά τμήματα ενός



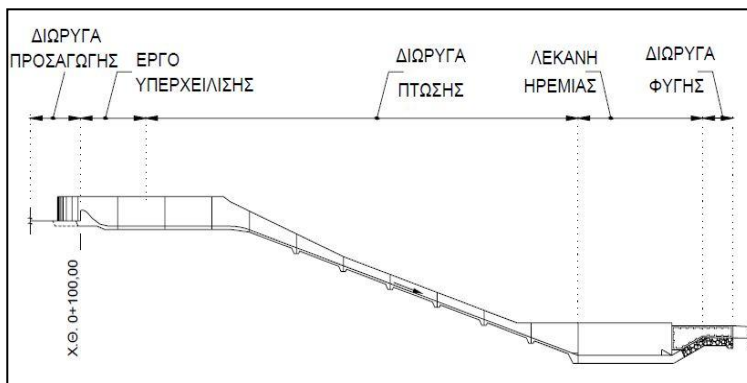
Εικόνα 1.3 Σιφωνοειδής υπερχειλιστής σε λειτουργία (φράγμα Μοντισέλο, Βορεια Καλιφόρνια)

επιφανειακού υπερχειλιστή, όπως φαίνεται στα σχήματα 1.1 και 1.2 είναι από τα ανάντη προς τα κατόντη η διώρυγα προσαγωγής, το έργο υπερχειλίσης (ogee), η διώρυγα πτώσης, ο συνδυασμός έργου εκτόξευσης – λεκάνης αποτόνωσης ή η λεκάνη ηρεμίας και η διώρυγα φυγής προς τον ρου του ποταμού/χειμάρρου.

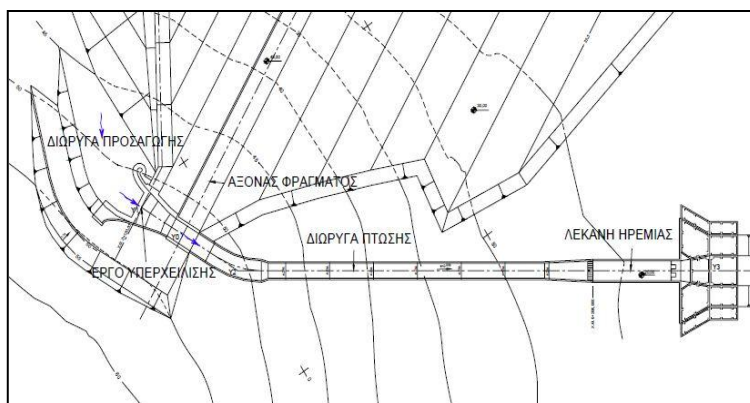


**Εικόνα 1.5** Υπερχειλιστής με θυροφράγματα (φράγμα Στράτου)

Οι επιφανειακοί υπερχειλιστές μπορεί να είναι, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ελεύθεροι ή με θυροφράγματα. Οι ελεύθεροι υπερχειλιστές αποτελούν αξιόπιστη επιλογή για την εκφόρτιση των πλημμυρών αλλά δεν επιτρέπουν την αποθήκευση της περίσσειας του νερού πάνω από την Α.Σ.Λ. και την αύξηση της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα. Αντίθετα, οι υπερχειλιστές με θυροφράγματα ανυψώνουν την Α.Σ.Λ. του



**Σχήμα 1.1** Βασικά τμήματα επιφανειακού υπερχειλιστή – Μηκοτομή (πηγή: Ν.Ι. Μουτάφης)



**Σχήμα 1.2** Βασικά τμήματα επιφανειακού υπερχειλιστή – Οριζοντιογραφία (πηγή: Ν.Ι. Μουτάφης)

ταμιευτήρα, από τη στέψη του υπερχειλιστή στη στέψη των θυροφραγμάτων, επιτρέπουν την αποθήκευση μεγαλύτερης ποσότητας νερού και βελτιώνουν τον έλεγχο των πλημμυρών, ιδιαίτερα των μεγάλων. Το άνοιγμα, μερικό ή ολικό, των θυροφραγμάτων κατά τη διάρκεια πλημμυρικού γεγονότος επιτρέπει τον έλεγχο του πλημμυρικού όγκου που παροχετεύεται προς τα κατόντη, διατηρώντας αμετάβλητη ή ανεβάζοντας λίγο την στάθμη του νερού στα ανάντη. Ωστόσο, τα θυροφράγματα βασίζονται σε ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και στην ανθρώπινη παρέμβαση για τη λειτουργία τους,



γεγονός που μειώνει την αξιοπιστία τους δεδομένου ότι σε μεγάλα πλημμυρικά γεγονότα είναι σημαντική η πιθανότητα διακοπής της ηλεκτροδότησης ή αδυναμίας πρόσβασης στο σημείο ελέγχου των θυροφραγμάτων. Χαρακτηριστικά το 30% των περιπτώσεων αστοχίας σε φράγματα οφείλεται σε αστοχία των θυροφραγμάτων.



## 2. ΑΝΑΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (FUSEGATES)

### 2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Η τεχνολογία των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων ασφαλείας (fusegates) αναπτύχθηκε το 1989 από τον Francois Lampérière ως ασφαλές και απλό σύστημα αύξησης της αποθηκευτικής ικανότητας ταμιευτήρων ή της παροχетеυτικότητας υπερχειλιστών σε υπάρχοντα ή καινούρια φράγματα. Έχει εφαρμοστεί σε περισσότερα από 50 φράγματα σε όλο τον κόσμο. Είναι τεχνολογία πατενταρισμένη στις περισσότερες χώρες από τη γαλλική εταιρεία Hydroplus International.

Τα ανατρεπόμενα θυροφράγματα είναι ελεύθερα επικαθήμενα θυροφράγματα μίας χρήσης, σχήματος L, που τοποθετούνται κατά μήκος της στέψης ελεύθερου υπερχειλιστή και έχουν τη λειτουργία στεγανού διαφράγματος (σχήμα 2.1). Είναι το μηχανικό ανάλογο ενός fuse plug (χωμάτινο φράγμα ασφαλείας που κατασκευάζεται σε ταμιευτήρες για την ανάσχεση πλημμύρας σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης – εικόνα 2.1). Διαφερούν ως προς το γεγονός ότι ενώ το fuse plug σε συνθήκες λειτουργίας αστοχεί ενιαία ως κατασκευή, τα fusegates ανατρέπονται σε ομάδες. Αναλυτικότερη περιγραφή της διαδικασίας ανατροπής δίνεται παρακάτω (κεφάλαιο 2.2).

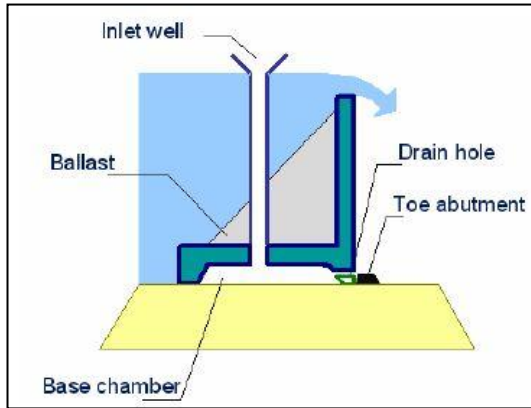


Εικόνα 2.1 Χωμάτινο φράγμα ασφαλείας (fuseplug)

### Τεχνικά χαρακτηριστικά fusegates

Τα fusegates τοποθετούνται με τη βάση του L προς τα ανάντη το ένα δίπλα στο άλλο και αντιστηρίζονται σε τάκους (toe abutments) στο δάπεδο του υπερχειλιστή για εξασφάλιση έναντι ολίσθησης σε συνθήκες λειτουργίας πριν τη στάθμη ανατροπής. Στην εικόνα 2.2 φαίνεται η τυπική διατομή ενός fusegate. Οι τάκοι επιτρέπουν την περιστροφή και ανατροπή των θυροφραγμάτων. Στη βάση των θυροφραγμάτων υπάρχει στεγανός θάλαμος (base chamber) στον οποίο εισρέει νερό από μία στάθμη κι έπειτα και οι ανωστικές πιέσεις που αναπτύσσονται ανατρέπουν το θυροφράγμα. Στο θάλαμο υπάρχουν

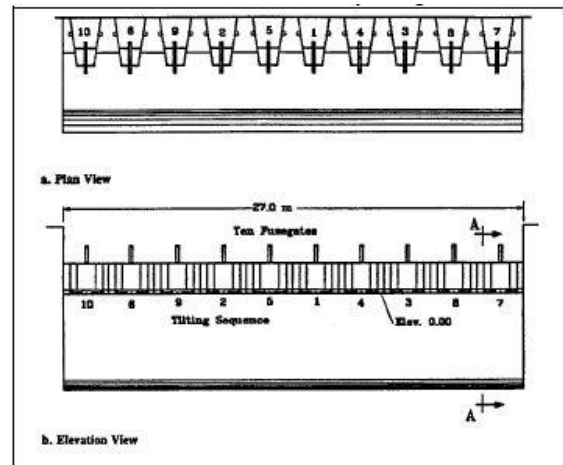
αποστραγγιστικές οπές (drain holes) για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων ποσοτήτων νερού στην περίπτωση αστοχίας της στεγάνωσης. Οι αποστραγγιστικές οπές είναι τόσο μεγάλες ώστε σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας η στάθμη του νερού στο θάλαμο να είναι κοντά στο μηδέν.



**Εικόνα 2.2** Ανατρεπόμενο θυρόφραγμα ασφαλείας (fusegate) – τυπική διατομή

Από το θάλαμο στη βάση ξεκινάει κατακόρυφη χοάνη (inlet well) με χείλος σε ύψος τέτοιο που προκύπτει από τις σχεδιαστικές ανάγκες. Συγκεκριμένα, το ύψος της χοάνης διαφέρει από θυρόφραγμα σε θυρόφραγμα και αντιστοιχεί στη στάθμη ανατροπής. Στη στάθμη αυτή ξεκινάει να εισρέει στη χοάνη νερό που καταλήγει στο στεγανό θάλαμο. Στη βάση των fusegates τοποθετούνται αντίβαρα (ballasts) με κατάλληλα υπολογισμένο βάρος για την

αντιστάθμιση των υδροστατικών πιέσεων. Τα αντίβαρα εξασφαλίζουν ότι η απαιτούμενη δύναμη για την ανατροπή σε συνήθεις συνθήκες είναι μεγαλύτερη από τις δυνάμεις που μπορούν να ασκηθούν σε μη ομαλές συνθήκες λειτουργίας πριν τη στάθμη ανατροπής.

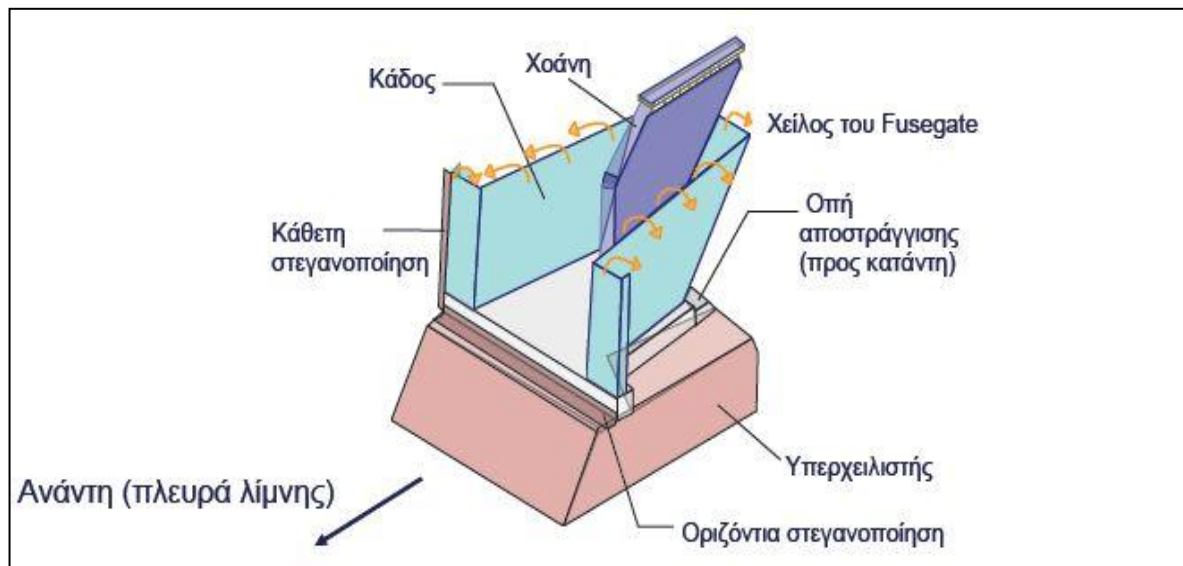


**Σχήμα 2.1** Τυπική διάταξη fusegates – κατοψη, όψη

## Στεγανοποίηση

Η στεγανότητα εξασφαλίζεται με οριζόντια και κατακόρυφα σφραγιστικά ελαστικά EPDM (Ethylene Propylene Diene Modified) στα ανάντη (εικόνα 2.3). Η οριζόντια στεγανοποίηση γίνεται μεταξύ της βάσης του θυροφράγματος και του δαπέδου του υπερχειλιστή με οριζόντια ελαστικά στεγανοποιητικά και υποστηρικτικές πλάκες από χάλυβα. Η κατακόρυφη στεγανοποίηση γίνεται μεταξύ γειτονικών θυροφραγμάτων με κάθετα ελαστικά στεγανοποιητικά και, όπως στην οριζόντια, υποστηρικτικές χαλύβδινες πλάκες. Οι πλάκες τοποθετούνται στα θυροφράγματα με ανοξείδωτες μεταλλικές βίδες. Η στεγανοποίηση

μελετάται και τοποθετείται έτσι ώστε να μην επηρεάζει τη διαδικασία διαδοχικής ανατροπής των διαφορετικών ομάδων fusegates. Το ελαστικό υλικό στεγανοποίησης έχει αυστηρά καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 2.3 Ανατρεπόμενο θυρόφραγμα ασφαλείας(fusegate) – όψη από ανάτη, θέσεις στεγανοποίησης

## 2.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

### Κανονικές συνθήκες λειτουργίας

Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας ο θάλαμος στη βάση στοιχείου fusegate παραμένει στεγανός. Εισροές προβλέπονται λόγω αστοχίας της στεγανοποίησης και παροχετεύονται από τις οπές αποστράγγισης. Όταν η στάθμη του νερού υπερβαίνει τη στέψη του υπερχειλιστή και για το διάστημα που βρίσκεται κάτω από τη στέψη των fusegates, το νερό



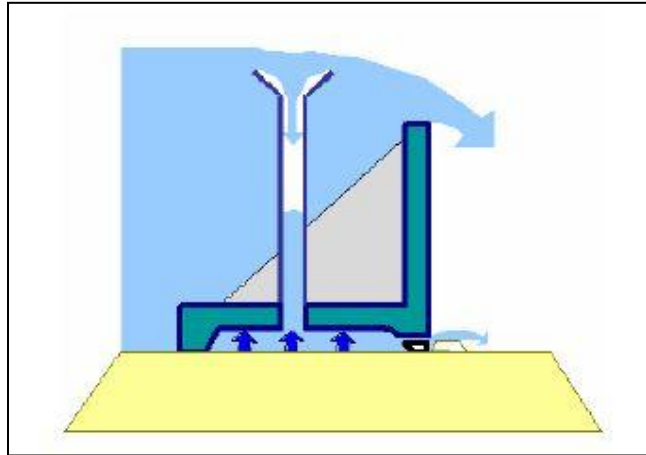
Εικόνα 2.4 Υπερχείλιση fusegates με τη στάθμη του νερού κάτω από τη στέψη του χείλους της χοάνης

δεν υπερχειλίζει καθώς το σύστημα των fusegates σχηματίζει ένα στεγανό διάφραγμα, αυξάνοντας τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα (εικόνα 2.2). Για υπόμετρα στάθμης νερού μεταξύ της στέψης του θυροφράγματος και του χείλους της χοάνης, το νερό υπερχειλίζει αλλά το θυρόφραγμα παραμένει στη θέση του και δεν ανατρέπεται (εικόνα 2.4). Τα αντίβαρα αντιστάθμισης

εξασφαλίζουν τη μη ανατροπή από τις επιπρόσθετες υδροστατικές πιέσεις και οι τάκοι αντιστήριξης δεν επιτρέπουν την ολίσθηση.

### Διαδικασία Ανατροπής

Όταν πλέον η στάθμη του νερού φτάσει στο ύψος του χείλους της χοάνης, τότε ξεκινάει η διαδικασία ανατροπής. Αρχίζει να εισρέει νερό στη χοάνη το οποίο καταλήγει στο στεγανό θάλαμο που βρίσκεται στη βάση του θυροφράγματος (εικόνα 2.5). Το νερό στο θάλαμο ασκεί ανωστικές πιέσεις που αυξάνονται με την εισροή και συμβάλλουν στην αύξηση των ροπών ανατροπής. Όταν ο θάλαμος πληρωθεί με νερό, η βάση του θυροφράγματος ανασηκώνεται περιστρεφόμενη ως προς τους τάκους. Τότε εισρέει νερό στο θάλαμο από τον ταμειυτήρα, που σύντομα υπερβαίνει την ποσότητα νερού που εισρέει στη χοάνη, οι ροπές ανατροπής υπερβαίνουν τις ροπές σταθεροποίησης και το θυρόφραγμα ανατρέπεται (εικόνα 2.6). Η διαδικασία υπερχειλίσης και ανατροπής φαίνεται παραστατικά στην εικόνα 2.7.



Εικόνα 2.5 Εισροή νερού μέσω της χοάνης στο στεγανό θάλαμο



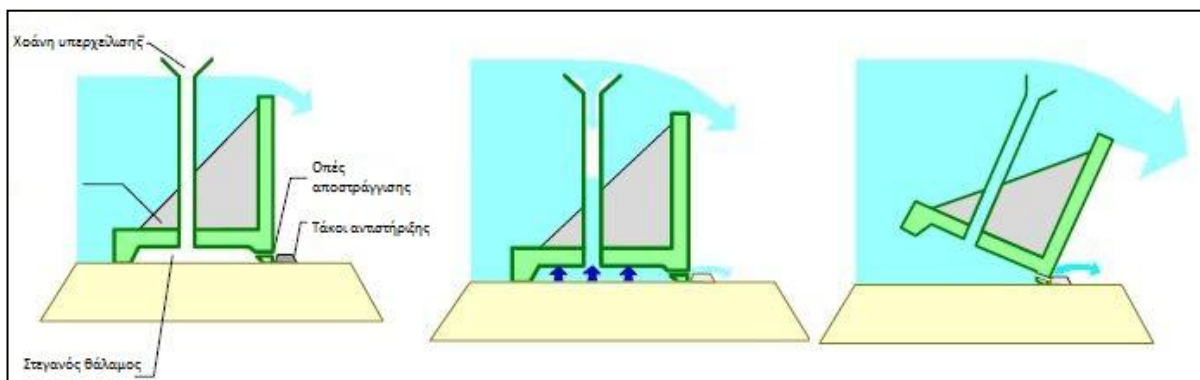
Εικόνα 2.6 Ανατροπή θυροφράγματος

Τα ανατρεπόμενα θυροφράγματα δεν ανατρέπονται ποτέ όλα μαζί για την αποφυγή παροχέτευσης μεγάλων πλημμυρικών όγκων στα κατάντη και πρόκλησης καταστροφών. Αντιθέτως, για την βαθμιαία μεταβολή της εκροής τα fusegates ανατρέπονται σε ομάδες με κριτήριο η ανατροπή κάθε ομάδας να μη δημιουργεί απότομη αύξηση της πλημμυρικής εκροής. Η σειρά ανατροπής των θυροφραγμάτων καθορίζεται από το ύψος του χείλους της

χοάνης. Το εύρος των υψών ποικίλλει και επιλέγεται με κριτήρια που έχουν να κάνουν με τον οικονομικό σχεδιασμό, την εκφόρτιση της πλημμύρας σχεδιασμού και τις ποσότητες νερού που μπορούν να παροχετευθούν στα κατάντη χωρίς να προκληθούν καταστροφές.

Συνήθως, η πρώτη ομάδα θυροφραγμάτων σχεδιάζεται να ανατρέπεται όταν η στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα αντιστοιχεί στην πλημμύρα με περίοδο επαναφοράς 100 χρόνια. Ωστόσο, υπάρχουν έργα στα οποία η πρώτη ομάδα ανατρέπεται σε πλημμύρες με μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς, έως και 1000 χρόνια, όπως συμβαίνει στον ταμιευτήρα Kaweah, στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Η τελευταία ομάδα ανατρέπεται στην πλημμύρα σχεδιασμού του έργου σε στάθμη που δεν υπερβαίνει σημαντικά την Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας του φράγματος. Τα fusegates μετά την ανατροπή τους παρασύρονται με τη ροή του νερού κατά μήκος της διώρυγας του υπερχειλιστή και απομακρύνονται στην κοίτη του ποταμού.

Το σύστημα fusegates ανατρέπεται συνεπώς σε σπάνια πλημμυρικά γεγονότα. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να μην ανατραπεί κανένα θυρόφραγμα σε όλη τη διάρκεια ζωής του έργου, γεγονός που επιτρέπει τη διαθεσιμότητα της αυξημένης χωρητικότητας του ταμιευτήρα στο διηνεκές.



*Εικόνα 2.7 Διαδικασία υπερχείλισης και ανατροπής fusegate*

### 2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

Η ανάλυση ευστάθειας ενός ανατρεπόμενου θυροφράγματος αφορά στην ανατροπή και την ολίσθηση.

#### Ολίσθηση

Η ευστάθεια έναντι ολίσθησης εξασφαλίζεται με την τοποθέτηση των κατάντη τάκων αντιστήριξης. Οι τάκοι σχεδιάζονται ώστε να αντισταθμίζουν τα οριζόντια υδροστατικά φορτία που ασκούνται στο θυρόφραγμα από την παρουσία νερού στα ανάντη (εικόνα 2.8). Με μια σχετική προσέγγιση και χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν οι δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια fusegate-υπερχειλιστή, η δύναμη ολίσθησης που οφείλεται

στα οριζόντια υδροστατικά φορτία και παραλαμβάνεται από τους τάκους υπολογίζεται από τη σχέση:

$$F_s = F_{s1} + F_{s2} = \frac{1}{2} \rho_w g h^2 W_w + \frac{1}{2} \rho_w g (H + 2h) H W$$

$$\leftrightarrow F_s = \frac{1}{2} \rho_w g H^2 \left( \frac{h^2}{H^2} W_w + W + W \frac{2h}{H} \right)$$

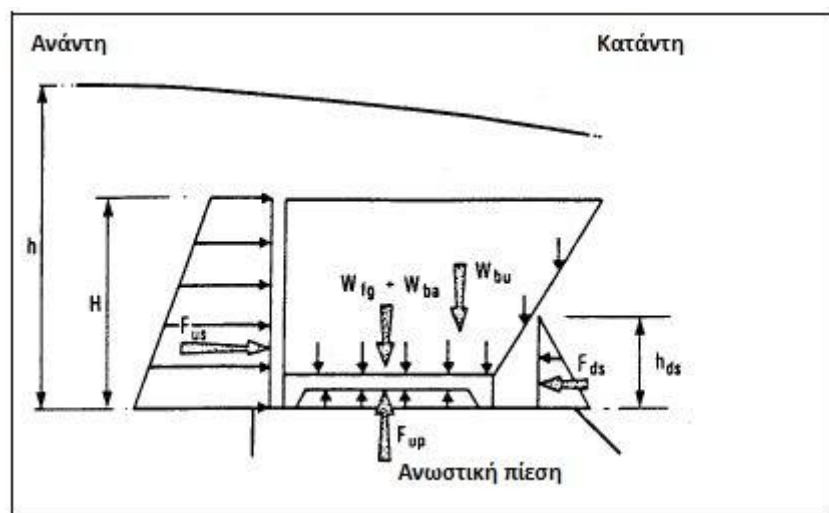
Όπου: **W** το εύρος του θυροφράγματος

**W<sub>w</sub>** το πλάτος της χοάνης

**H** το ύψος του θυροφράγματος

**h** η στάθμη του νερού

**ρ<sub>w</sub>** η πυκνότητα του νερού



Εικόνα 2.8 Φορτία που αναπτύσσονται σε fusegate

## Ανατροπή

Η ευστάθεια έναντι ανατροπής είναι περισσότερο περίπλοκη καθώς περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του σημείου ανατροπής και της συνισταμένης των ροπών σταθεροποίησης και ανατροπής. Πρακτικά, αυτό αφορά σε όλες τις δυνάμεις και τα φορτία που δρουν στο θυρόφραγμα. Οι ροπές λαμβάνονται ως προς τους τάκους αντιστήριξης, που αποτελούν τον άξονα περιστροφής του θυροφράγματος (εικόνα 2.9).

Οι ροπές σταθεροποίησης δημιουργούνται από:

1. Το βάρος του στοιχείου fusegate:



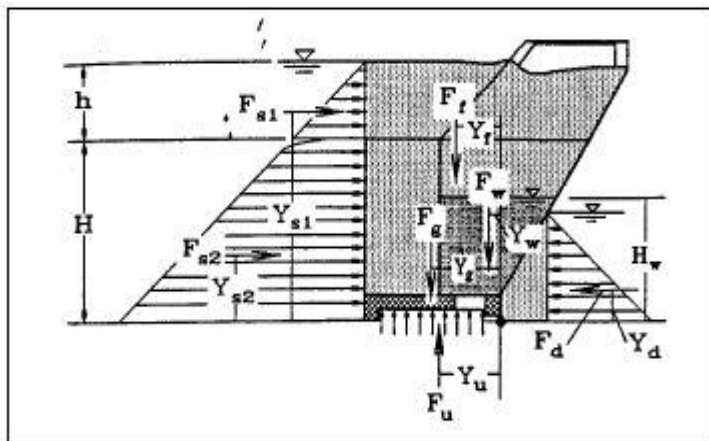
Η ροπή του βάρους είναι  $M_{fg} = W_{fg} d_{fg}$ . Στον υπολογισμό του βάρους ( $W_{fg}$ ) λαμβάνονται υπόψιν όλα τα στοιχεία του θυροφράγματος, τόσο ο κάδος που κατασκευάζεται από χάλυβα ή σκυρόδεμα όσο και η βάση του που κατασκευάζεται από χάλυβα.

2. Το βάρος του αντίβαρου αντιστάθμισης:

Η ροπή του αντίβαρου είναι  $M_{ba} = W_{ba} d_{ba}$ . Το αντίβαρο υπολογίζεται έτσι ώστε η απαιτούμενη ανωστική πίεση για την ανατροπή του θυροφράγματος σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας να είναι πάντα μεγαλύτερη από την πίεση που αναπτύσσεται σε μη ομαλές συνθήκες λειτουργίας.

3. Το κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο:

Σε συνθήκες μη υπερχειλίσης, για στάθμη νερού μεταξύ της στέψης υπερχειλιστή και fusegate το κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο ισούται με το βάρος του νερού που περικλείεται από το στοιχείο fusegate.



Εικόνα 2.9 Ροπές σε fusegate

περικλείεται από το στοιχείο fusegate. Η τιμή αυτή κινείται από 0 (στάθμη νερού στη στέψη του υπερχειλιστή) μέχρι  $W_{uw} = \rho_w g V_w$  (στάθμη νερού στη στέψη του fusegate) όπου  $V_w$  η αποθηκευτική ικανότητα του χώρου που περικλείεται στα ανάντη από το θυροφράγμα. Η ροπή από το βάρος του νερού είναι τότε  $M_{uw} = W_{uw} d_{uw}$ .

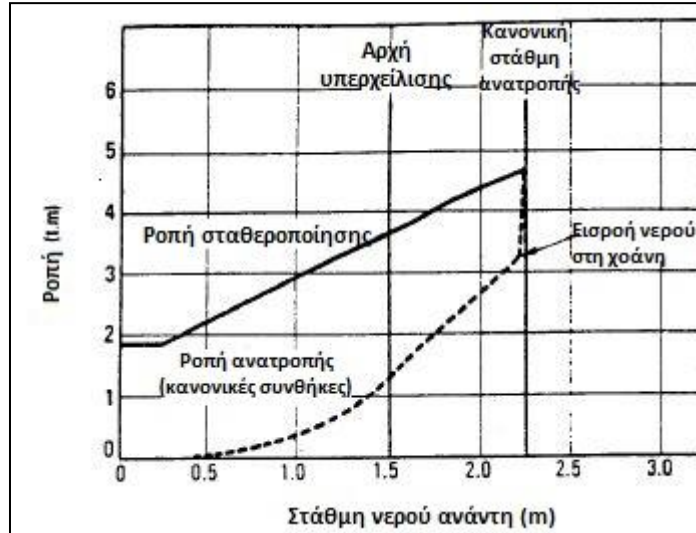
Σε συνθήκες υπερχειλίσης, για στάθμη νερού πάνω από τη στέψη του θυροφράγματος, η φλέβα του νερού ακολουθεί φθίνουσα καμπύλη προς τα κατόντη και το κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο προσδιορίζεται με εργαστηριακά πειράματα σε μοντέλα υπό κλίμακα (εικόνα 2.10).

4. Το κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο στην κατόντη πλευρά, σε συνθήκες υπερχειλίσης:

Η στάθμη του νερού στα κατόντη κυμαίνεται κατά τους Falvey και Treille (1995) στο ένα τρίτο της στάθμης του νερού στα ανάντη και η ροπή είναι  $M_{dw} = \rho_w g (H + h)^3 W_{dw} / 162$

Κατά τον Alla (1996), η στάθμη του νερού κυμαίνεται μεταξύ ενός τετάρτου και ενός πέμπτου της αντίστοιχης στα ανάντη και η ροπή είναι  $M_{dw} = 1/6 \rho_w g W_{dw} h_{dw}$  όπου  $h$  η στάθμη του νερού στα κατόντη και  $W$  το εύρος του θυροφράγματος στα κατόντη.

Η ροπή αυτή έχει μικρή συμμετοχή στη διαμόρφωση της ροπής σταθεροποίησης σε σύγκριση με τις άλλες ροπές. Στο διάγραμμα 2.1 δίνονται οι ροπές σταθεροποίησης (stabilizing moments) και ανατροπής (overturning moments).



Διάγραμμα 2.1 Ροπές σταθεροποίησης – ανατροπής σε fusegate

Οι ροπές ανατροπής δημιουργούνται από:

1. Τις υδροστατικές πιέσεις στην ανάντη πλευρά του κατακόρυφου στοιχείου του θυροφράγματος:

Αν η στάθμη του νερού είναι χαμηλότερα από τη στέψη του fusegate τότε η ροπή που οφείλεται στις υδροστατικές πιέσεις ανάντη είναι  $M_{us} = 1/6 \rho_w g W h^3$ .

Αν η στάθμη του νερού είναι πάνω από τη στέψη του fusegate τότε η ροπή είναι:

$$M_{us} = 1/6 \rho_w g W H^3 + 1/2 \rho_w g W H^3 \leftrightarrow M_{us} = 1/6 \rho_w g W H^2 (3 h - 2 H)$$

Όπου:  $h$  η στάθμη του νερού

$H$  η στέψη του θυροφράγματος

$W$  το μήκος του θυροφράγματος

$\rho_w$  η πυκνότητα του νερού

Οι υδροστατικές πιέσεις που ασκούνται στη χοάνη είναι αμελητέες και για λόγους απλοΰστευσης δε λαμβάνονται υπόψιν.

2. Τις ανωστικές πιέσεις που αναπτύσσονται από το νερό που εισρέει στο στεγανό θάλαμο στη βάση του fusegate:

Κύριος παράγοντας ανατροπής είναι η ροπή από τις ανωστικές πιέσεις. Το θυρόφραγμα αρχίζει να ανατρέπεται όταν ο θάλαμος πληρωθεί με νερό, οπότε οι ροπές ανατροπής εξισώνονται με τις ροπές σταθεροποίησης. Η ροπή λόγω ανωστικών πιέσεων εξαρτάται από τις διαστάσεις του στεγανού θαλάμου και το βάθος του νερού που έχει εισρεύσει σε αυτόν.

$$\text{Δίνεται από τη σχέση } M_{up} = \rho_w g A_{ch} H_w Y_{up}$$

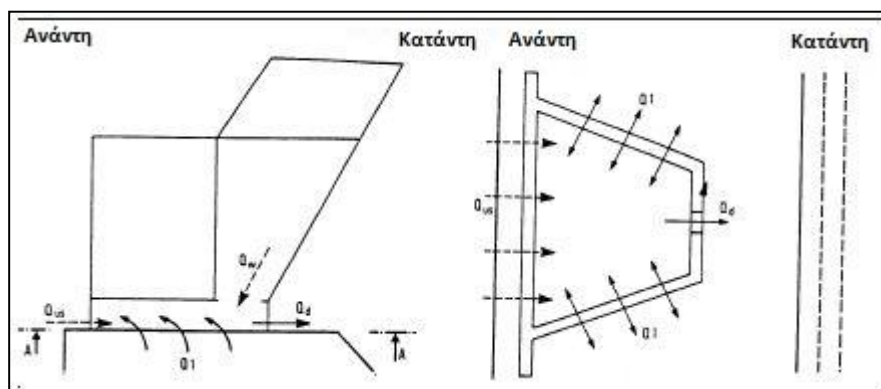
Όπου  $A_c$  η οριζόντια διατομή του θαλάμου  
 $H_w$  το βάθος του νερού στο θάλαμο  
 $Y_{up}$  ο μοχλοβραχίονας

Είναι απαραίτητη η συνεχής γνώση της κατανομής των ανωστικών πιέσεων σε κανονικές και μη ομαλές συνθήκες λειτουργίας για την ανάλυση ευστάθειας των fusegates.

Στο σχήμα 2.2 δίνεται το εύρος των τιμών της ανωστικής πίεσης σε κανονικές συνθήκες ανατροπής θυροφράγματος. Μαθηματικό μοντέλο που έχει αναπτυχθεί μετά από πειράματα σε μοντέλα υπό κλίμακα (εικόνα 2.10) προσδιορίζει αναλυτικά με σχετική ακρίβεια την κατανομή τόσο σε κανονικές όσο και σε προβλέψιμες μη ομαλές συνθήκες λειτουργίας. Η κατανομή των ανωστικών πιέσεων προκύπτει από το άθροισμα εισροών και εκροών στο στεγανό θάλαμο. Οι εισροές λαμβάνονται με θετικό πρόσημο και οι εκροές με αρνητικό. Στην εικόνα 2.11 δίνονται σχηματικά οι εισροές και εκροές σε ένα fusegate.



Εικόνα 2.10 πειραματική διάταξη fusegates – μοντέλα υπό κλίμακα

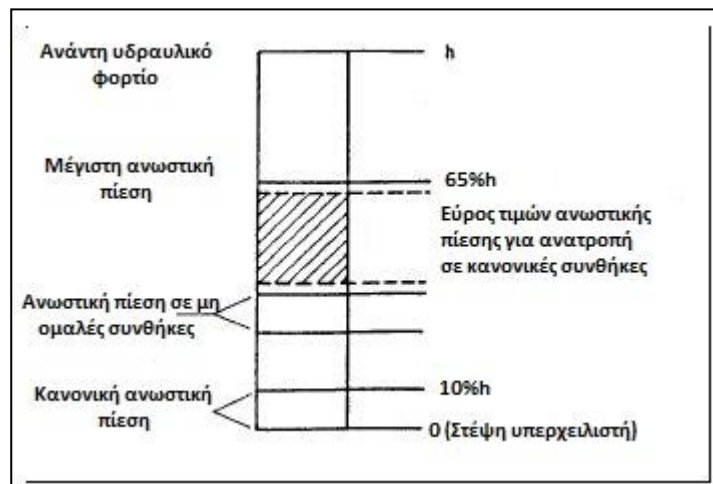


Εικόνα 2.11 Εισροές - εκροές στο στεγανό θάλαμο ανατρεπόμενου θυροφράγματος

Οι ροές στο θάλαμο έχουν ως εξής:

1. Ροή ( $Q_1$ ) στην κατάντη πλευρά του fusegate μέσω της διεπιφάνειας fusegate και στέψης υπερχειλιστή:

Η ροή αυτή είναι άλλοτε από τα κατάντη προς το θάλαμο (εισροή) και άλλοτε από το θάλαμο προς τα κατάντη (εκροή). Εισροή γίνεται όταν υπερχειλίζει το θυρόφραγμα (στάθμη νερού στα ανάντη μεγαλύτερη από τη στέψη του θυροφράγματος) και από τα κατάντη εισρέει νερό σε μικρή ποσότητα στο θάλαμο μέσω της διεπιφάνειας. Εκροή γίνεται όταν ξεκινάει η ανατροπή του fusegate οπότε και εκρέει πλευρικά προς τα κατάντη ποσότητα νερού μεγαλύτερη από αυτήν που μπορούν να παροχετεύσουν οι αποστραγγιστικές οπές.



**Σχήμα 2.2** Εύρος τιμών ανωστικής πίεσης στο θάλαμο fusegate για ανατροπή σε κανονικές συνθήκες

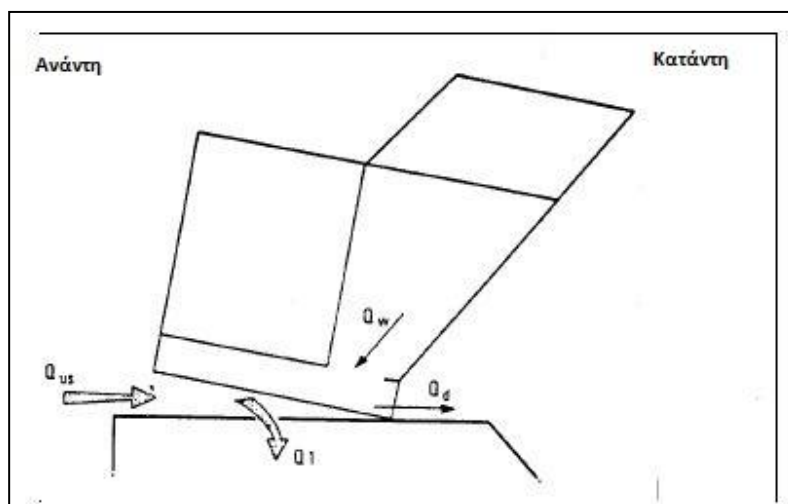
2. Εισροή ( $Q_{us}$ ) από τον ταμιευτήρα στο θάλαμο μετά από αστοχία του σφραγιστικού ελαστικού EPDM:

Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας η εισροή είναι μηδενική. Σε περιπτώσεις αστοχίας του EPDM η εισροή μπορεί να προκαλέσει την ανατροπή του fusegate σε λάθος στιγμή (βλέπε υποκεφάλαιο 2.4 για μη ομαλές συνθήκες λειτουργίας). Σε μεγάλα πλημμυρικά γεγονότα, όταν ενεργοποιείται η λειτουργία της χοάνης και οι ανωστικές πιέσεις φτάνουν μία προκαθορισμένη τιμή, η ανάντη πλευρά του στοιχείου fusegate ανασηκώνεται από το δάπεδο του υπερχειλιστή, καταστρέφει το EPDM και αρχίζει να εισρέει μεγάλη ποσότητα νερού από τον ταμιευτήρα στο θάλαμο. Η ποσότητα αυτή σύντομα υπερβαίνει την ποσότητα του νερού που εισρέει στη χοάνη και το θυρόφραγμα ανατρέπεται (εικόνα 2.12).

3. Εκροή ( $Q_d$ ) από το θάλαμο προς τα κατάντη μέσω των αποστραγγιστικών οπών:

Οι αποστραγγιστικές οπές είναι αρκετά μεγάλες ώστε να παροχετεύουν το νερό που εισρέει στο θάλαμο σε κανονικές συνθήκες και η στάθμη του νερού στο θάλαμο να παραμένει πρακτικά μηδενική. Οι πιέσεις στο θάλαμο σε αυτές τις συνθήκες λέγονται συνήθεις ανωστικές πιέσεις.

Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας η εκροή είναι ίση με την εισροή. Όταν ο θάλαμος πληρώνεται με νερό και ξεκινάει η ανατροπή του θυροφράγματος η εκροή αυτή είναι αμελητέα σε σχέση με την εκροή προς τα κατόντη μέσω της διεπιφάνειας fusegate - υπερχειλιστή. Στην περίπτωση παρουσίας νερού στα κατόντη θυροφράγματος είναι πιθανή η εισροή νερού από τις οπές αποστράγγισης στο θάλαμο.



Εικόνα 2.12 Εισροές - εκροές στο θάλαμο στη φάση της ανατροπής

4. Εισροή ( $Q_w$ ) στο θάλαμο μέσω της χοάνης όταν ενεργοποιείται η λειτουργία της:

Όταν η στάθμη του νερού στα ανάντη φτάσει στο ύψος του χείλους της χοάνης αρχίζει να εισρέει νερό στο στεγανό θάλαμο και η ανωστική πίεση στο θάλαμο αυξάνεται γρήγορα. Στη φάση της ανατροπής, η εισροή από τα ανάντη υπερβαίνει την εισροή από τη χοάνη λόγω της καταστροφής του σφραγιστικού ελαστικού.

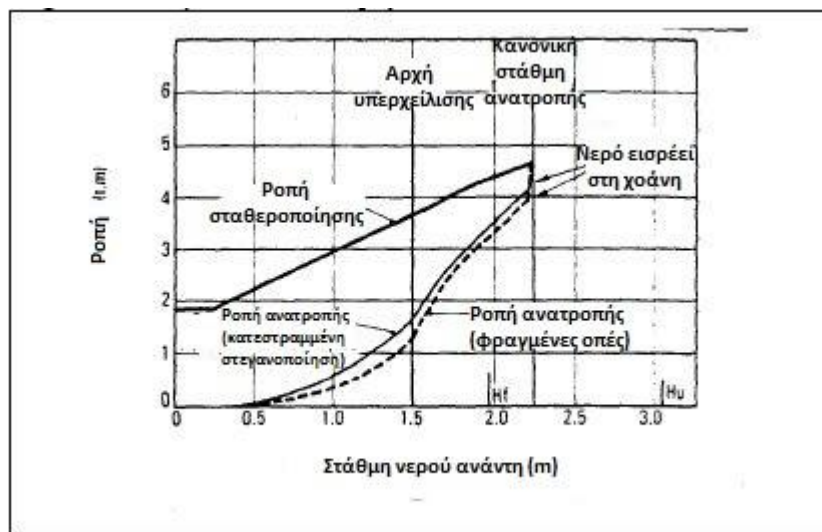
Υπάρχει μία μέγιστη τιμή στην οποία τείνει ασυμπτωτικά η ανωστική πίεση. Η ανωστική πίεση γίνεται μέγιστη τη στιγμή που ξεκινάει η ανατροπή του θυροφράγματος. Αυτή η χρονική στιγμή έχει προσδιοριστεί με πειραματικές δοκιμές σε μοντέλα υπό κλίμακα και είναι η στιγμή στην οποία το θυροφράγμα έχει περιστραφεί τόσο ώστε η πλευρική δίοδος εκροής να είναι περίπου δέκα φορές μεγαλύτερη από τη συνολική διατομή των αποστραγγιστικών οπών. Στη θέση αυτή αναπτύσσεται η μέγιστη ανωστική πίεση στο στεγανό θάλαμο και ισούται με τη μέση τιμή μεταξύ των υδροστατικών πιέσεων ανάντη και

κατάνη του θυροφράγματος. Η μέγιστη ανωστική πίεση προσδιορίστηκε για λαβυρινθοειδή θυροφράγματα.

### Καμπύλες ευστάθειας

Στην ανάλυση ευστάθειας απαραίτητο εργαλείο είναι οι καμπύλες ευστάθειας που δείχνουν τις ροπές σταθεροποίησης και ανατροπής των fusegates συναρτήσει της στάθμης του νερού στον ταμιευτήρα σε κανονικές και μη ομαλές συνθήκες λειτουργίας. Η διαφορά μεταξύ των ροπών σταθεροποίησης και ανατροπής ορίζει το περιθώριο ασφάλειας. Όταν η ροπή ανατροπής εξισώνεται με τη ροπή σταθεροποίησης ξεκινάει η ανατροπή του θυροφράγματος (Διάγραμμα 2.2).

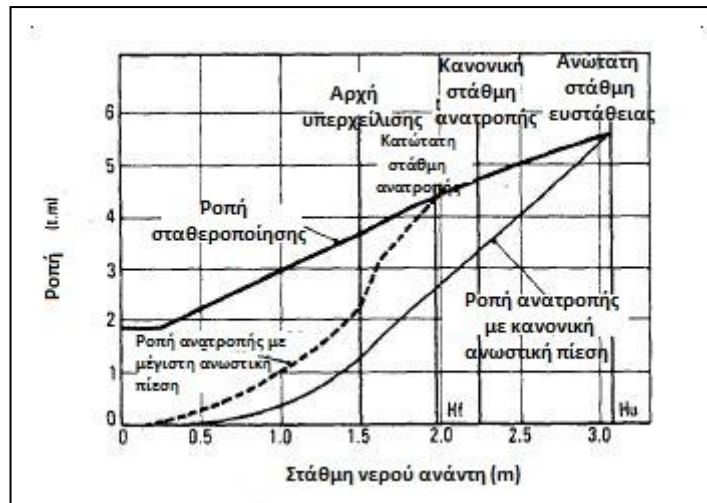
Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, όταν εισρέει νερό στο θάλαμο από τη χοάνη οι ανωστικές πιέσεις αυξάνονται γρήγορα μειώνοντας το περιθώριο ασφάλειας μέχρι την προκαθορισμένη στάθμη ανατροπής. Από τη στιγμή που ξεκινάει να εισρέει νερό στη χοάνη μέχρι τη στιγμή που το θυροφράγμα ανατρέπεται η στάθμη του νερού στα ανάντη ανεβαίνει κατά ύψος ίσο με 2 ή 3% περίπου του ύψους του θυροφράγματος. Η καμπύλη της μέγιστης ανωστικής πίεσης δεν υπερβαίνεται ποτέ καθώς η ανατροπή γίνεται όταν η στάθμη του νερού φτάνει την ελάχιστη στάθμη ανατροπής.



Διάγραμμα 2.2 Καμπύλη ευστάθειας fusegate – ροπές σταθεροποίησης και ανατροπής

Σε μη ομαλές συνθήκες, οι καμπύλες ευστάθειας προβλέπουν τη λειτουργία του fusegate με πλήρως φραγμένες οπές αποστράγγισης, κατεστραμμένα σφραγιστικά ελαστικά ή φραγμένη χοάνη. Απεικονίζουν γραφικά τις ροπές σταθεροποίησης και ανατροπής για αυτές τις συνθήκες καθώς και το σημείο ανατροπής, όπως στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Ακόμα και στις μη ομαλές συνθήκες πρέπει να εισρεύσει νερό από

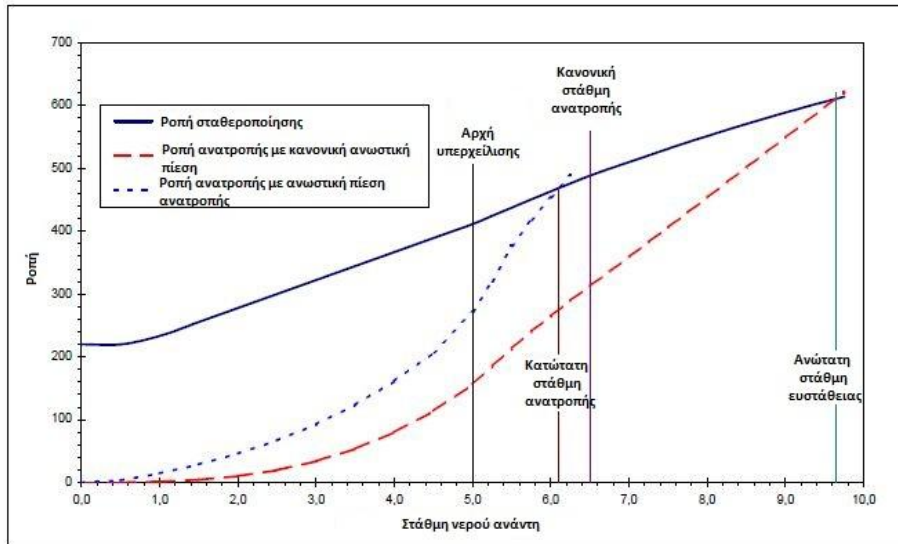
τη χοάνη στο θάλαμο για να ανατραπεί το στοιχείο fusegate και υπάρχει περιθώριο ασφαλείας από τη στάθμη εισροής μέχρι τη στάθμη ανατροπής (διάγραμμα 2.3).



**Διάγραμμα 2.3** Καμπύλη ευστάθειας fusegate – περιθώρια ασφαλείας και στάθμες ανατροπής

## 2.4 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

Τα ανατρεπόμενα θυροφράγματα είναι αυτόνομες μονάδες χωρίς ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό ή απαίτηση προσωπικού για τη λειτουργία τους. Αυτός είναι καθοριστικός παράγοντας για την αξιοπιστία των fusegates, αφού σε μεγάλα πλημμυρικά γεγονότα μπορεί να υπάρχει διακοπή στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος ή αδυναμία προσέγγισης στο χώρο ελέγχου των θυροφραγμάτων. Οι καμπύλες ευστάθειας δείχνουν τους παράγοντες ασφαλείας που ενσωματώνονται στη λειτουργία των fusegates (διάγραμμα 2.3, 2.4)



**Διάγραμμα 2.4** Καμπύλη ευστάθειας fusegate – περιθώρια ασφαλείας

### Εξασφάλιση έναντι ανατροπής σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας

Η στάθμη του νερού ανάντη είναι κάτω ή λίγο πάνω από τη στέψη των fusegates στο συντριπτικά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια της επιχειρησιακής λειτουργίας τους. Ο συντελεστής ασφάλειας έναντι ανατροπής των fusegates σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, για στάθμη νερού στα επίπεδα που αναφέρθηκε προηγουμένως και για μέσα πλημμυρικά γεγονότα είναι μεγαλύτερος από 2 και παραμένει σε τιμές κοντά στο 1,5 ακόμα και λίγο πριν από την εισροή νερού στη χοάνη. Αυτό προκύπτει από τη σύγκριση των ροπών σταθεροποίησης και ανατροπής στις καμπύλες ευστάθειας των fusegates κατά τη διάρκεια της επιχειρησιακής λειτουργίας τους (διάγραμμα 2.4).

### Εξασφάλιση κατάντη πληθυσμών: κατώτατη στάθμη ανατροπής

Πιθανή ανατροπή των fusegates σε αστοχία τους και χωρίς να προβλέπεται λόγω μεγάλης πλημμυρικής εισροής μπορεί να παροχετεύσει στα κατάντη μεγάλες ποσότητες νερού με καταστροφικές συνέπειες για πληθυσμούς και υποδομές που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή. Για το λόγο αυτό τα ανατρεπόμενα θυροφράγματα έχουν καθορισμένη μία κατώτατη στάθμη ανατροπής (minimum tipping level), κάτω από την οποία δε μπορούν να ανατραπούν. Η στάθμη αυτή μπορεί να είναι κοντά στην κανονική στάθμη ανατροπής και συνήθως κυμαίνεται στο 60 με 80% αυτής. Όσο η στάθμη του νερού παραμένει κάτω από την κατώτατη στάθμη ανατροπής, τα fusegates θα επιστρέψουν στην αρχική θέση σε συνθήκες αστοχίας που θα έχει σαν αποτέλεσμα την πλήρωση του θαλάμου με νερό. Ο καθορισμός της κατώτατης στάθμης γίνεται με τα αντίβαρα αντιστάθμισης. Διαφορετικά αντίβαρα αντιστάθμισης επιτρέπουν τον καθορισμό της κατώτατης στάθμης ανατροπής σε μεγάλο εύρος και εξασφαλίζουν τη μη ταυτόχρονη ανατροπή πολλών fusegates.



## **Ανώτατη στάθμη ευστάθειας**

Πολλές περιπτώσεις αστοχίας φραγμάτων οφείλονται σε αστοχία θυροφραγμάτων που δεν άνοιξαν την κατάλληλη στιγμή και το νερό υπερπήδησε το φράγμα προκαλώντας πλημμύρα και καταστροφές στα κατόντη. Η εξασφάλιση στην τεχνολογία των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων ότι δε θα συμβεί παρόμοιο γεγονός είναι ο καθορισμός ανώτατης στάθμης πάνω από την οποία το στοιχείο fusegate θα ανατραπεί ακόμα και αν η χοάνη είναι μπλοκαρισμένη. Η στάθμη αυτή λέγεται ανώτατη στάθμη ευστάθειας (ultimate stability level). Η ανατροπή του fusegate γίνεται λόγω της ανάντη υδροστατικής πίεσης. Σε μελέτες τοποθέτησης ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων σε υπερχειλιστή εξετάζεται η πιθανότητα λειτουργίας μεγάλης ομάδας ή όλων των fusegates με φραγμένη χοάνη για την εκφόρτιση σπάνιων πλημμυρών ή ακόμα και της πλημμύρας σχεδιασμού. Ωστόσο, αυτό έχει πρακτικά μηδενική πιθανότητα να συμβεί δεδομένου ότι σε έναν υπερχειλιστή τοποθετούνται πολλά στοιχεία fusegates με ανεξάρτητη λειτουργία μεταξύ τους.

## **Ενίσχυση Αξιοπιστίας**

Υπάρχουν διάφορες σχεδιαστικοί παράμετροι (αναλυτικά για το σχεδιασμό των fusegates βλέπε υποκεφάλαιο 2.5) που μπορούν μεταβάλλοντας την τιμή τους να ενισχύσουν την επιχειρησιακή αξιοπιστία των θυροφραγμάτων. Τέτοιες είναι το ύψος της χοάνης και τα αντίβαρα αντιστάθμισης.

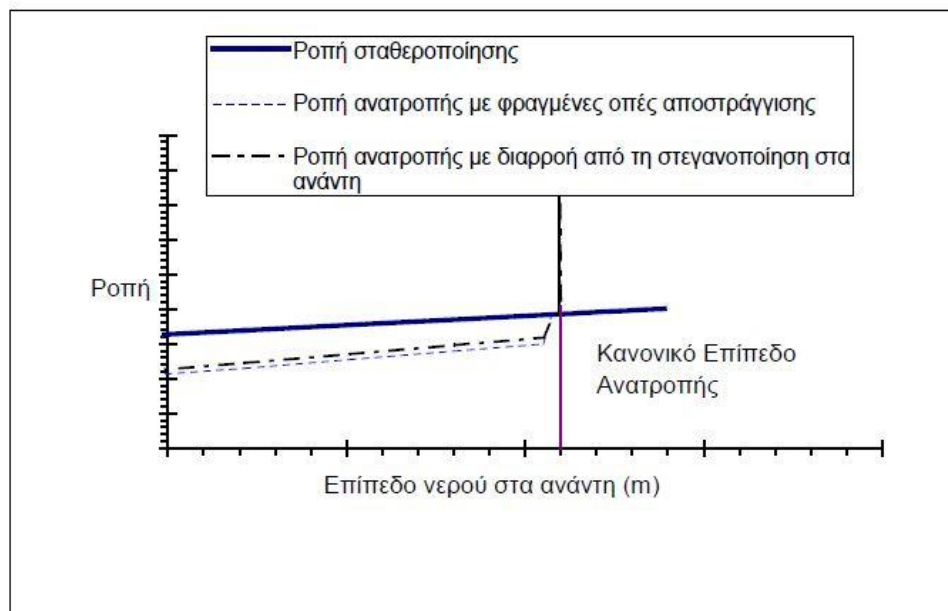
Η διακύμανση του ύψους της χοάνης σε ένα συγκεκριμένο εύρος εξασφαλίζει τη μη ταυτόχρονη ανατροπή δύο ή περισσότερων θυροφραγμάτων. Αυτό συμβαίνει γιατί το υψος νερού που υπερβαίνει το χείλος της χοάνης και απαιτείται για να προκαλέσει την ανατροπή του fusegate είναι ίσο με το 2 ή 3% του ύψους του θυροφράγματος. Οπότε η διακύμανση του ύψους της χοάνης σε αυτό το εύρος επιτρέπει τη διαμόρφωση της κανονικής στάθμης ανατροπής σε διαφορετικές τιμές για κάθε στοιχείο fusegate.

Η επιλογή διαφορετικών αντίβαρων αντιστάθμισης παρέχει την ίδια δυνατότητα με τη διακύμανση του ύψους της χοάνης. Η απαιτούμενη ποσότητα υπολογίζεται από τις καμπύλες ευστάθειας.

## **Μη ομαλές συνθήκες λειτουργίας**

Οι αρχές λειτουργίας και η διαδικασία ανατροπής των fusegates σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας περιγράφηκε παραπάνω. Υπάρχουν ωστόσο και μη ομαλές συνθήκες λειτουργίας, όπου η στάθμη ανατροπής μεταβάλλεται και οι οποίες απαιτούν ξεχωριστή μελέτη. Η συμπεριφορά των fusegates μεταβάλλεται και η ανατροπή τους γίνεται σε διαφορετική στάθμη νερού από την αρχικά σχεδιασμένη για την ανάσχεση της ίδιας πλημμύρας.

Μια κατηγορία συνθηκών μη ομαλής λειτουργίας είναι η λειτουργία θυροφράγματος με φραγμένες οπές αποστράγγισης ή με κατεστραμμένα ανάντη σφραγιστικά ελαστικά. Στην πρώτη περίπτωση το νερό που εισρέει στο θάλαμο δεν μπορεί να παροχετευθεί στα κατάντη ενώ στη δεύτερη μεγάλη ποσότητα νερού εισρέει από τα ανάντη στο θάλαμο πριν η στάθμη του νερού φτάσει το χείλος της χοάνης. Αυτή η ποσότητα δε μπορεί να παροχετευθεί αποτελεσματικά στα κατάντη από τις οπές. Και στις δύο περιπτώσεις ο στεγανός θάλαμος πληρούται με νερό πιο γρήγορα από την αρχικά προβλεπόμενη στιγμή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανατροπή του θυροφράγματος σε χαμηλότερη στάθμη. Όμως, η στάθμη ανατροπής σε αυτές τις συνθήκες βρίσκεται πολύ κοντά στην κανονική στάθμη ανατροπής, όπως έχει προκύψει από πειραματικές δοκιμές σε μοντέλα υπό κλίμακα και δείχνεται στο διάγραμμα 2.5.

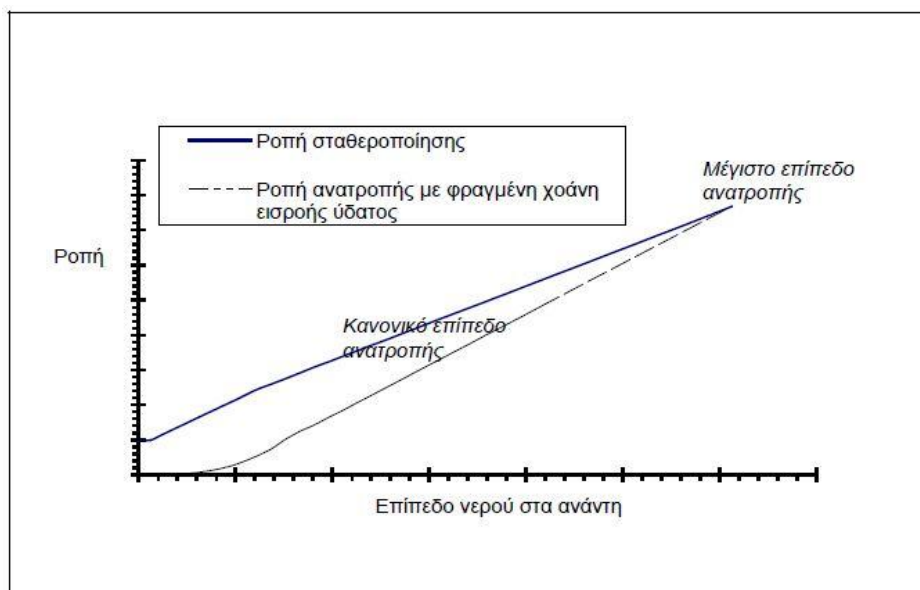


**Διάγραμμα 2.5** Καμπύλη ευστάθειας fusegate – λειτουργία σε μη ομαλές συνθήκες  
(φραγμένες οπές αποστράγγισης, κατεστραμμένα σφραγιστικά ελαστικά)

Δεύτερη κατηγορία μη ομαλών συνθηκών λειτουργίας είναι η λειτουργία με φραγμένη τη χοάνη. Στην περίπτωση αυτή δεν εισρέει νερό στο θάλαμο ακόμα και όταν η στάθμη του νερού υπερβεί το χείλος της χοάνης. Η ανατροπή του θυροφράγματος γίνεται λόγω των υδροστατικών πιέσεων στα ανάντη και εξαρτάται από τα αντίβαρα αντιστάθμισης που έχουν τοποθετηθεί στο θυροφράγμα. Η ανατροπή γίνεται λοιπόν σε μεγαλύτερη στάθμη (διάγραμμα 2.6). Η επιλογή των αντιβάρων γίνεται κατά τρόπο που η στάθμη ανατροπής να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερα και κοντά στην κανονική στάθμη ανατροπής.

## Επίδραση εξωτερικών παραγόντων

Πέρα από τις μη ομαλές συνθήκες λειτουργίας, εξωτερικοί παράγοντες επηρεάζουν τη λειτουργία των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων και μπορούν να μεταβάλλουν τη στάθμη ανατροπής. Τέτοιοι είναι ο πάγος, η πρόσκρουση επιπλεόντων αντικειμένων, ο σεισμός και οι κυματισμοί στον ταμιευτήρα. Σε γενικές γραμμές η επίδραση των εξωτερικών παραγόντων στη λειτουργία των fusegates είναι μικρή και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα fusegates σχεδιάζονται να ανατρέπονται σε στάθμη που αντιστοιχεί σε σπάνια και άρα μεγάλα ή πολύ μεγάλα πλημμυρικά γεγονότα. Η επίδραση εξαρτάται από τη θέση και τη μορφολογία του έργου και από τις συνθήκες λειτουργίας, πριν την υπερχείλιση ή κατά την εκφόρτιση μεγάλων πλημμυρών.



**Διάγραμμα 2.6** Καμπύλη ευστάθειας fusegate – λειτουργία σε μη ομαλές συνθήκες (φραγμένη χοάνη)



**Εικόνα 2.13** Πειραματικό μοντέλο για τη μελέτη της επίδρασης επιπλεόντων φερτών σε fusegates

Η επίδραση των κυματισμών στον ταμιευτήρα έχει μελετηθεί για λαβυρινθοειδή fusegates (για τα είδη των θυροφραγμάτων βλέπε αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 2.5) με πειραματικές δοκιμές σε μοντέλα υπό κλίμακα στο French National Hydraulics Laboratory (Σατού, Γαλλία) και στο Colorado State University Laboratory (Φορτ Κόλινς, ΗΠΑ). Οι δοκιμές στο εργαστήριο του Κολοράντο έγιναν με τις κατευθυντήριες

γραμμές της ICOLD (International Comitee of Large Dams - Διεθνής Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων) για τους κυματισμούς σε ταμιευτήρες (οδηγία 91). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επίδραση των κυματισμών είναι αμελητέα καθώς τα θυροφράγματα ανατρέπονται μόνο όταν η στάθμη του νερού βρίσκεται στη στάθμη ανατροπής και υπάρχει συνεχής ροή νερού στη χοάνη. Μάλιστα, επειδή η χοάνη φέρει συνήθως προστατευτικό κάλυμμα, ακόμα και κυματισμοί που υπερβαίνουν το χείλος της, παροχετεύουν μικρές ποσότητες νερού στη χοάνη χωρίς να μπορούν να δημιουργήσουν συνεχή ροή.

Ανάλογη επίδραση έχουν στη λειτουργία των fusegates επιπλέοντα αντικείμενα. Είναι σύνηθες φαινόμενο σε ταμιευτήρες να επιπλέουν αντικείμενα όπως κορμοί δένδρων ή συντρίμια. Δοκιμές στο Tennessee Valley Authority Laboratory (ΗΠΑ) σε λαβυρινθοειδή θυροφράγματα δείχνουν ότι τα επιπλέοντα αντικείμενα έχουν μικρή επίδραση σε συνθήκες υπερχειλίσσης με στάθμη νερού λίγο πάνω από τη στέψη του θυροφράγματος (εικόνες 2.13, 2.14, 2.15 και 2.16). Υπάρχει πιθανότητα να προσκρούσουν στη χοάνη, χωρίς όμως να επηρεάζουν την ευστάθεια των fusegates λόγω της μικρής ταχύτητας με την οποία παρασύρονται. Σε μεγάλες πλημμυρικές απορροές τα επιπλέοντα φερτά περνάνε πάνω από τη στέψη του θυροφράγματος, χωρίς να συναντήσουν εμπόδιο.

Μεγάλες ποσότητες επιπλεόντων φερτών μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα όπως επιπλέον φορτία και αύξηση της στάθμης του νερού ανάντη, δεν επηρεάζουν ωστόσο την ευστάθεια των fusegates λόγω του μεγάλου συντελεστή ασφαλείας έναντι ανατροπής σε κανονικές συνθήκες.

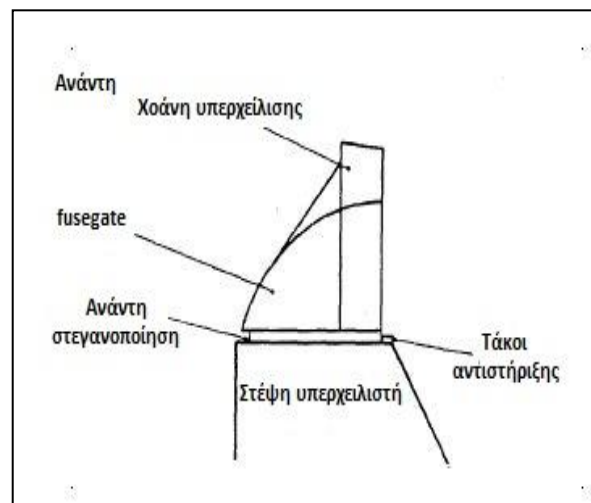
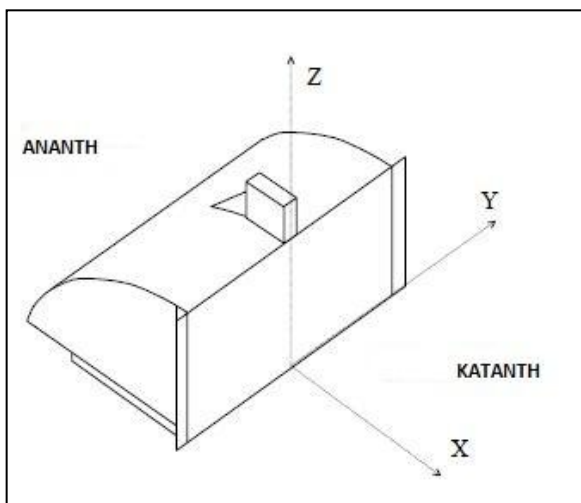


*Εικόνες 2.14, 2.15, 2.16 Πειραματικές δοκιμές του Εργαστηρίου TVA (ΗΠΑ) για τη μελέτη της επίδρασης επιπλεόντων φερτών σε λαβυρινθοειδή ανατρεπόμενα θυροφράγματα*

Η σεισμική δράση λαμβάνεται πάντα υπόψιν στο σχεδιασμό των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας και για συνήθεις πλημμύρες με στάθμη νερού λίγο πάνω ή κάτω από τη στέψη τους, τα θυροφράγματα δεν επηρεάζονται από το σεισμό. Ως επιτάχυνση μελέτης λαμβάνεται η επιτάχυνση στο δάπεδο του υπερχειλιστή που είναι μεγαλύτερη από την επιτάχυνση στο έδαφος. Σε μεγάλα

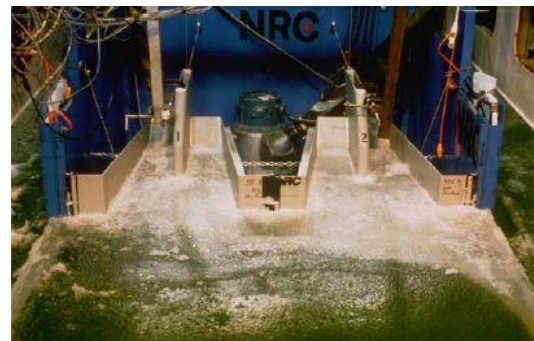
πλημμυρικά γεγονότα ωστόσο, η ευστάθεια των fusegates μπορεί να επηρεαστεί καταλυτικά σε περίπτωση σεισμού.

Η παρουσία παγετού είναι σύνηθες φαινόμενο σε φράγματα ανά τον κόσμο. Συνήθως, σε τέτοιες περιπτώσεις οι ταμιευτήρες δεν είναι γεμάτοι με νερό, υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που αυτό δεν ισχύει. Η επίδραση του παγετού στη λειτουργία των fusegates είναι πολυπαραμετρική και αφορά στο φαινόμενο της θερμικής διαστολής, στη διακύμανση της στάθμης στον ταμιευτήρα και στην επίδραση των μετακινούμενων blocks πάγου. Τα fusegates προσαρμόζονται κατασκευαστικά ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν σε συνθήκες παγετού (σχήμα 2.3, 2.4).



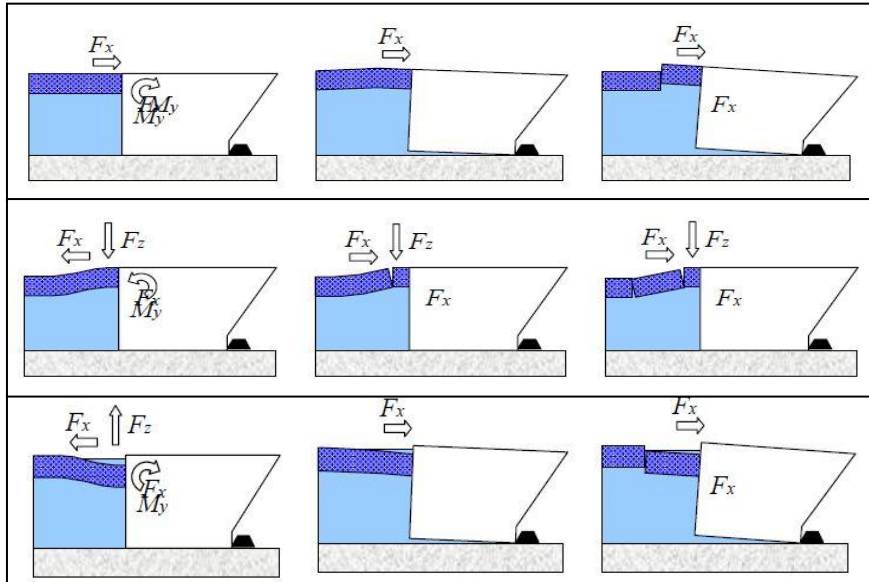
Σχήματα 2.3, 2.4 Icefusegate, 3D όψη και τυπική διατομή

Με πειραματικές δοκιμές σε λαβυρινθοειδές θυρόφραγμα υπο κλίμακα, ύψους 0,5m που έγιναν στο National Research Council's Institute for Marine Dynamics (St John's, Καναδάς) αποδείχτηκε ότι σε ακραίες συνθήκες παγετού, με τον ταμιευτήρα καλυμμένο με πάγο, η θερμική διαστολή ή η διακύμανση της στάθμης μπορεί είτε να «μπλοκάρει» και να ακινητοποιήσει τα fusegates είτε να τα περιστρέψει λίγο και μετά να επανέλθουν στην κανονική τους θέση (εικόνα 2.17). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ανατρεπόμενα θυροφράγματα έχουν την ευελιξία μερικής περιστροφής (τάξεως μεγέθους 1 cm) και κατόπιν επαναφοράς στην αρχική θέση. Με τις δοκιμές κατέστη δυνατό να



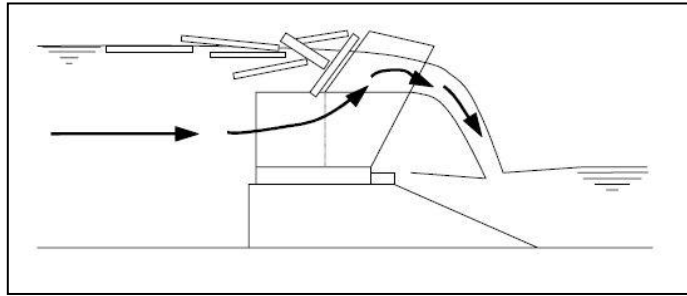
Εικόνα 2.17 Πειραματική διάταξη του Ινστιτούτου NRC (Καναδάς) για τη μελέτη της επίδρασης παγετού σε fusegates

προσδιοριστεί το πάχος του πάγου με το οποίο μπορεί να είναι επιχειρησιακά λειτουργικό ένα ανατρεπόμενο θυρόφραγμα. Στις εικόνες 2.18, 2.19, 2.20 φαίνεται η επίδραση της θερμικής διαστολής και της διακύμανσης της στάθμης του νερού στη λειτουργία ανατρεπόμενου θυροφράγματος υπό συνθήκες παγετού.



*Εικόνες 2.18, 2.19, 2.20 Επίδραση θερμικής διαστολής και διακύμανσης της στάθμης του νερού στη λειτουργία icefusegate*

Με πειραματικές δοκιμές στο Institute of Energy Structure (Μόσχα, Ρωσία) μελετήθηκε η επίδραση των μετακινούμενων blocks πάγου (εικόνα 2.21), η οποία φαίνεται ότι σε ακραίες συνθήκες παγετού είναι σημαντική όσον αφορά στην ευστάθεια των fusegates. Μέτρα για την αντιμετώπιση των συνεπειών υλοποιούνται ήδη στη Ρωσία και είναι η τοποθέτηση παγοθραυστικών κατασκευών κατά των ρού των blocks στην ανάντη πλευρά ή η αύξηση του εύρους των fusegates και άρα των αποστάσεων μεταξύ των χρανών των παρακείμενων θυροφραγμάτων.



**Εικόνα 2.21** Απορροή σε συνθήκες παγετού με συγκράτηση blocks πάγου

Σε πραγματικές συνθήκες, η λειτουργία των fusegates σε ακραίες συνθήκες παγετού έχει μελετηθεί στο φράγμα Khorobronskaya στη Ρωσία (εικόνες 2.22, 2.23, 2.24, 2.25, 2.26, 2.27). Τέσσερα από τα έξι τοποθετημένα fusegates υψους 2m έχουν ανταποκριθεί επιτυχώς σε συνθήκες παγετού με πάγο πάχους περίπου 70cm και στη συνακόλουθη απορροή μεγάλων blocks πάγου.

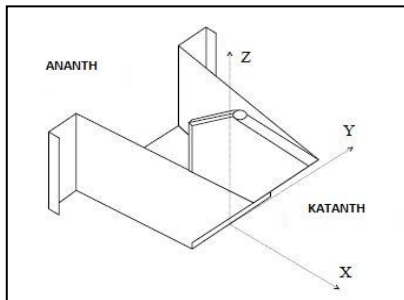


**Εικόνες 2.22, 2.23, 2.24, 2.25, 2.26, 2.27** Σύστημα icfusegates στο φράγμα Khorobronskaya (Ρωσία) σε συνθήκες παγετού

## 2.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΤΡΕΠΟΜΕΝΩΝ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

### Είδη fusegates

Τα ανατρεπόμενα θυροφράγματα κατασκευάζονται από χάλυβα, σκυρόδεμα ή συνδυασμό χάλυβα και σκυροδέματος. Διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: σε αυτά που έχουν λαβυρινθοειδή στέψη (εικόνα 2.28) και σε αυτά που έχουν ευθύγραμμη στέψη (εικόνα 2.29).

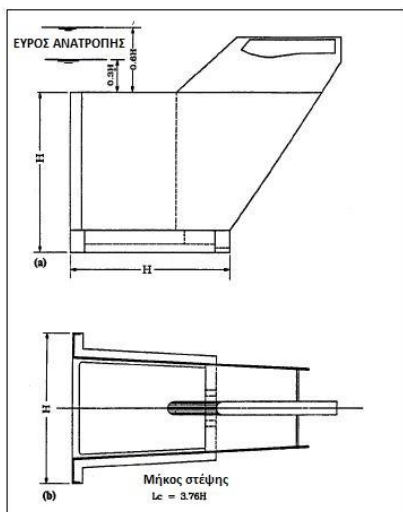


**Εικόνα 2.28** Ανατρεπόμενο θυροφράγμα λαβυρινθοειδούς στέψης



**Εικόνα 2.29** Ανατρεπόμενο θυροφράγμα ευθύγραμμης στέψης  
(πηγή: Ι.Π.Στεφανάκος)

Τα λαβυρινθοειδή θυροφράγματα κατασκευάζονται σε τρεις εκδόσεις ανάλογα με τη σχέση μήκους - ύψους στέψης και τη στάθμη ανατροπής. Είναι στενής ή ευρείας στέψης και χαμηλής ή υψηλής στάθμης ανατροπής. Με βάση τα κριτήρια αυτά κατασκευάζονται λαβυρινθοειδή θυροφράγματα στενής στέψης με χαμηλή στάθμη ανατροπής (Narrow Low



**Εικόνα 2.30** θυροφράγμα λαβυρινθοειδούς στέψης NLH

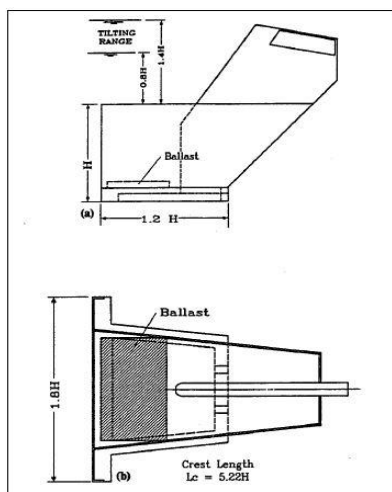
Head – NLH) (εικόνα 2.30), ευρείας στέψης με χαμηλή στάθμη ανατροπής (Wide Low Head – WLH) (εικόνα 2.31) και ευρείας στέψης με υψηλή στάθμη ανατροπής (Wide High Head – WHH) (εικόνα 2.32). Στον πίνακα 2.1 παρατίθενται οι διαστάσεις ανάλογα με το είδος του θυροφράγματος. Τα τυποποιημένα ύψη του εμπορίου είναι 1.50, 1.80, 2.15, 2.60, 3.10, 3.75, 4.50, 5.40 και 6.50m (ισχύουν και για fusegates ευθύγραμμης στέψης). Το εύρος των υψών και οι διαφορετικές εκδόσεις έχουν επιλεγεί ώστε να μπορούν να καλύψουν όλο το εύρος των απαιτήσεων και συνθηκών στην εκάστοτε εφαρμογή της τεχνολογίας των fusegates.



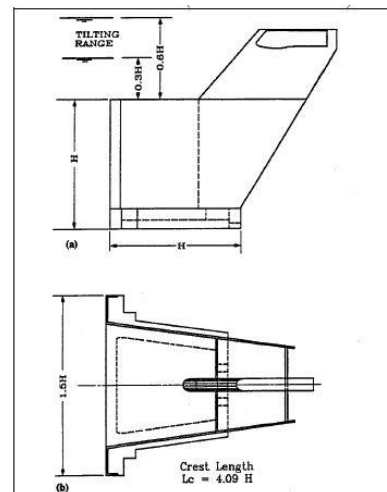
	Εύρος ανατροπής (% ύψους fusegate)	Σχέση εύρους - ύψους
Narrow Low Head (NLH)	Μεταξύ 30%H και 70%H	1,0 (+/-5%)
Large Low Head (LLH)	Μεταξύ 30%H και 70%H	1,5 (+/-5%)
Large High head (LHH)	Μεταξύ 70%H και 140%H	1,8 (+/-5%)

**Πίνακας 2.1** Διαστάσεις και εύρος στάθμεων ανατροπής για τις διάφορες εκδόσεις λαβυρινθοειδών fusegates

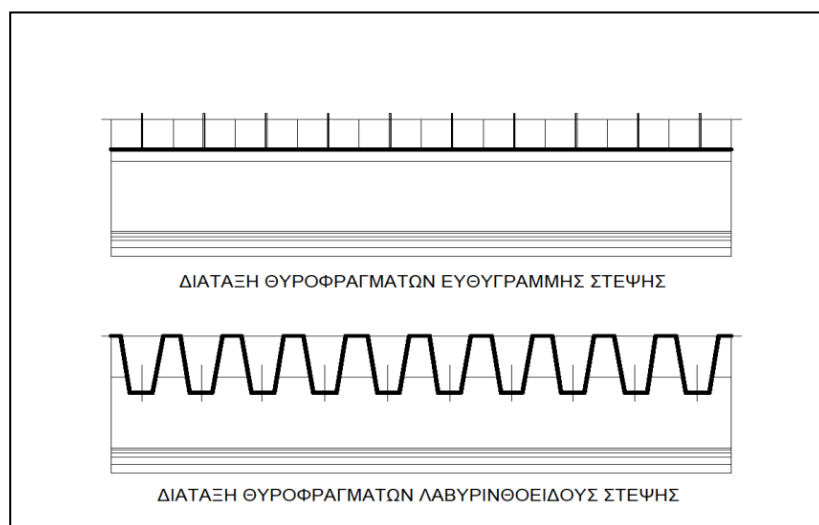
Τα λαβυρινθοειδή fusegates τοποθετούμενα στη στέψη υπερχειλιστή δημιουργούν μία λαβυρινθοειδή διαδρομή, στην οποία κάθε στοιχείο αποτελεί έναν «κύκλο» του λαβυρίνθου. Η διάταξη αυτή επιτρέπει την παροχέτευση νερού στα κατόντη 1,5 με 2,5 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στην περίπτωση συμβατικού υπερχειλιστή. Αυτό συμβαίνει γιατί η λαβυρινθοειδής στέψη δημιουργεί μεγαλύτερη δίοδο για την παροχέτευση του νερού απ' ότι η ευθύγραμμη στέψη υπερχειλιστή ή και θυροφράγματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5.



**Εικόνα 2.32** Θυροφράγμα λαβυρινθοειδούς στέψης WHL



**Εικόνα 2.31** θυροφράγμα λαβυρινθοειδούς στέψης WLH



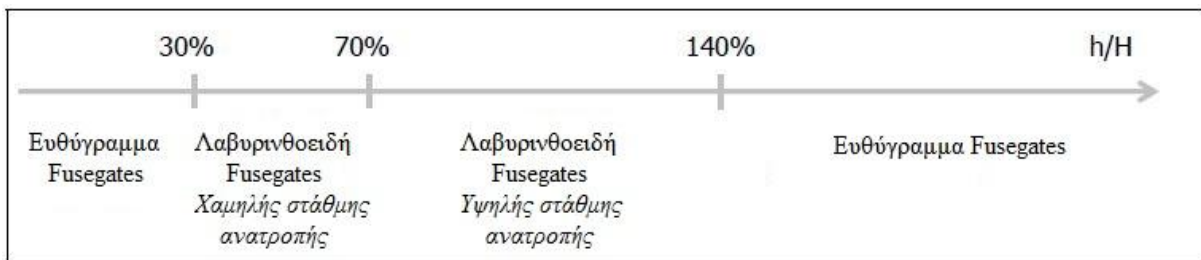
**Σχήμα 2.5** Σκαρίφημα κάτοψης ευθύγραμμης και λαβυρινθοειδούς στέψης



**Εικόνα 2.33** Διάταξη θυροφραγμάτων ευθύγραμμης στέψης στο φράγμα του Δυποτάμου (Κύπρος)

Τα fusegates ευθύγραμμης στέψης (εικόνα 2.33) έχουν τις ίδιες αρχές λειτουργίας και σχεδιασμού με τα λαβυρινθοειδή. Η μόνη διαφορά είναι στο σχήμα του κατακόρυφου τμήματος. Τοποθετούνται σε υπερχειλιστές αντί για λαβυρινθοειδή fusegates όταν η διάταξη του υπερχειλιστή δεν επιτρέπει την εγκατάσταση λαβυρινθοειδών ή όταν δεν απαιτείται μεγάλη παροχетеυτική ικανότητα, όπως για παράδειγμα σε δευτερεύοντες ή εκτάκτου

ανάγκης υπερχειλιστές. Στο σχήμα 2.6 δείχνεται το πεδίο εφαρμογής ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων ευθύγραμμης και λαβυρινθοειδούς στέψης. Τα fusegates ευθύγραμμης στέψης μπορούν να κατασκευαστούν σε οποιονδήποτε συνδυασμό διαστάσεων, με μοναδικό περιορισμό το μήκος να είναι πάντα μεγαλύτερο από το ύψος στέψης. Με κατάλληλο σχεδιασμό μπορούν να μεταφέρουν υδραυλικό φορτίο μέχρι και 350% μεγαλύτερο από το ύψος τους.



**Σχήμα 2.6** Πεδίο εφαρμογής θυροφραγμάτων ευθύγραμμης και λαβυρινθοειδούς στέψης

### Χαρακτηριστικά παροχетеυτικότητας

Στο French National Hydraulic Laboratory (Chatou, Γαλλία), στο Tennessee Valley Authority Laboratory (Norris, Tennessee, ΗΠΑ) και σε άλλα μεγάλα εργαστήρια υδραυλικής ανά τον κόσμο έχουν πραγματοποιηθεί λεπτομερή ερευνητικά προγράμματα για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών παροχетеυτικότητας ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων λαβυρινθοειδούς ή ευθύγραμμης στέψης.

Σύμφωνα με τους Falvey και Treille (1995), τα αποτελέσματα των ερευνών στο γαλλικό και το αμερικανικό ινστιτούτο κατέληξαν στον προσδιορισμό του συντελεστή παροχетеυτικότητας με απόκλιση μεταξύ τους της τάξεως του 4%. Ο τύπος που

χρησιμοποιείται για το συντελεστή παροχτευτικότητας είναι αυτός που πρότεινε ο Rouse (1960) για υδατοφράκτες ως εξής:

$$Q = 2/3 c_d \sqrt{2g} L_c h^{3/2}$$

Όπου **Q** η παροχή προς τα κατάντη

**L** το μήκος στέψης του θυροφράγματος

**h** η διαφορά στάθμης νερού και στέψης

**c<sub>d</sub>** ο συντελεστής παροχτευτικότητας

Καλύτερη προσέγγιση για τον προσδιορισμό του συντελεστή παροχτευτικότητας αποτελεί η σχέση:

$$c_d = c_1 ((h/H) - c_2)^{c_3}$$

Όπου **c<sub>1</sub>**, **c<sub>2</sub>**, **c<sub>3</sub>** πειραματικές σταθερές για h/H > 0.1 (Πίνακας 2.2)

**H** το ύψος του θυροφράγματος

Οι τύποι αυτοί παρότι προέκυψαν από πειραματικές διατάξεις λαβυρινθοειδών fusegates έχουν εφαρμογή και στα θυροφράγματα ευθύγραμμης στέψης. Ο συντελεστής παροχτευτικότητας μειώνεται με την αύξηση της στάθμης του νερού ανάντη, για στάθμες πάνω από τη στέψη του θυροφράγματος (διάγραμμα 2.7).

Model to (1)	C <sub>1</sub> (2)	C <sub>2</sub> (3)	C <sub>3</sub> (4)	R <sup>2</sup> (5)
WLH (NHL)	0.320 ± 0.004	0.001	-0.292 ± 0.006	1.00
WLH (TVA)	0.306 ± 0.009	0.001	-0.360 ± 0.013	0.98
NLH	0.254 ± 0.012	0.0005	-0.319 ± 0.018	0.94
WHH	0.315 ± 0.009	0.0375	-0.258 ± 0.005	0.99

Πίνακας 2.2 Πειραματικές σταθερές για τον υπολογισμό του συντελεστή παροχτευτικότητας fusegate

Σύμφωνα με τον Kocahan (2006) τα χαρακτηριστικά παροχτευτικότητας έχουν διαφοροποιήσεις για fusegates λαβυρινθοειδούς και ευθύγραμμης στέψης, όπως προέκυψε από τις έρευνες.

Για τα λαβυρινθοειδή θυροφράγματα ο τύπος είναι  $Q = A \sqrt{H} h + B H^{2/3}$

Όπου **H** το ύψος του θυροφράγματος

**h** η διαφορά στάθμης νερού και στέψης υπερχειλιστή

**A, B** συντελεστές παροχτευτικότητας εξαρτώμενοι από τη γεωμετρία των fusegates

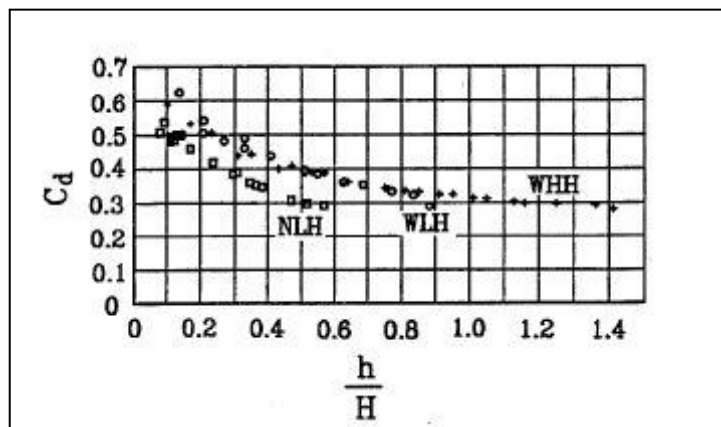
Ο τύπος αυτός διαφέρει από τον τύπο για ελεύθερους υδατοφράκτες. Η διαφοροποίηση έγκειται στην υποβαθμισμό της υδραυλικής λειτουργίας του θυροφράγματος όταν το νερό υπερχειλίζει το θυρόφραγμα και το βάθος ροής αυξάνει. Στον πίνακα 2.3

	A	B	$h_c$
Narrow Low Head (NLH)	4.836	-0.145	0.262
Large Low Head (LLH)	4.523	-0.093	0.591
Large High head (LHH)	5.606	-0.281	0.427

Πίνακας 2.3 Παράμετροι παροχτευτικότητας για λαβυρινθοειδή fusegates

δίνονται οι παράμετροι του παραπάνω τύπου για τις τρεις εκδόσεις λαβυρινθοειδών fusegates.

Στα θυροφράγματα ευθύγραμμης στέψης, τα χαρακτηριστικά παροχτευτικότητας υπολογίζονται από τη σχέση  $Q = 2/3 c_d \sqrt{2g} L_c h^{3/2}$  (Rouse, 1960). Πειράματα έχουν δείξει ότι η τιμή του  $c_d$  κυμαίνεται από 0.61 μέχρι 0.64 ανάλογα με τις διαστάσεις του θυροφράγματος και τη διαμόρφωση του υπερχειλιστή.



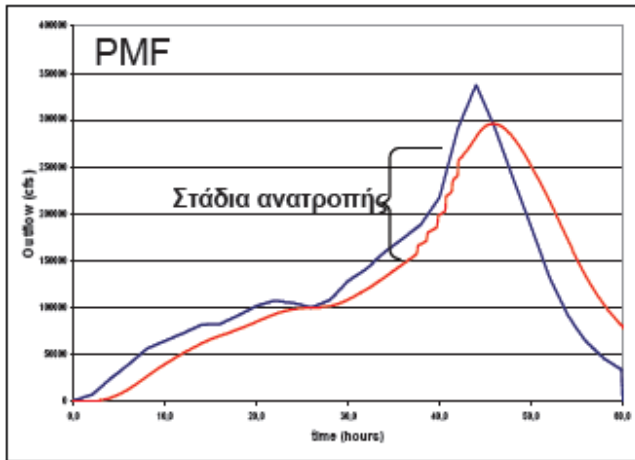
Διάγραμμα 2.7 Συντελεστής παροχτευτικότητας fusegate

### Στοιχεία σχεδιασμού των fusegates

Κατά τον Lampérière (1991) οι βασικές σχεδιαστικές παράμετροι για την επιλογή των κατάλληλων θυροφραγμάτων είναι η στάθμη και το πλάτος του υπερχειλιστή, το ύψος του θυροφράγματος, η στάθμη ανατροπής του και το πλήθος των μονάδων και ομάδων ανατροπής fusegates που θα τοποθετηθούν. Ανάλογα με την επιλογή των παραπάνω παραμέτρων προκύπτει και η στόχευση της λειτουργίας του συστήματος fusegates.

Για να εξασφαλιστεί ότι ο υπερχειλιστής θα μπορέσει να παροχτεύσει με ασφάλεια την πλημμύρα σχεδιασμού πρέπει η τελευταία ομάδα fusegates να έχει ανατραπεί σε στάθμη

που να αντιστοιχεί στην Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας ή να την υπερβαίνει ελάχιστα (διάγραμμα 2.8). Η επιλογή της στάθμης ανατροπής της τελευταίας ομάδας είναι



**Διάγραμμα 2.8** Εισροή-εκροή σε ταμιευτήρα με fusegates  
(πηγή: Ι.Π. Στεφανάκος)

αποτέλεσμα δοκιμών. Αρχικά, επιλέγεται μία στάθμη ανατροπής για την τελευταία ομάδα, από την οποία προκύπτει το ύψος και ο αριθμός των θυροφραγμάτων. Στη συνέχεια με προγράμματα πλημμυρικής διόδευσης ελέγχεται η ορθότητα της επιλογής. Αν με την εφαρμογή η στάθμη του νερού υπερβεί τη μέγιστη, τότε επιλέγεται νέα χαμηλότερη στάθμη και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι να βρεθεί στάθμη που δεν υπερβαίνει σημαντικά τη μέγιστη. Αν στην αρχική διαδικασία η στάθμη δεν υπερβαίνει τη μέγιστη τότε επιλέγεται νέα μεγαλύτερη και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι να υπερβεί τη μέγιστη. Τελικά, επιλέγεται η αμέσως χαμηλότερη τιμή αυτής που υπερβαίνει τη μέγιστη ή αυτή που δεν την υπερβαίνει σημαντικά. Με τον τρόπο αυτόν βελτιστοποιείται η λειτουργία του συστήματος fusegates χωρίς να διακινδυνεύεται η ασφάλεια του φράγματος.

Το ύψος των θυροφραγμάτων, όπως αναφέρθηκε προηγούμενα προκύπτει από την στάθμη ανατροπής του τελευταίου θυροφράγματος. Στη συνέχεια από τις τυποποιημένες σχέσεις μήκους-ύψους προκύπτει το μήκος του και με βάση το συνολικό πλάτος του υπερχειλιστή ο απαιτούμενος αριθμός θυροφραγμάτων.

Ο προσδιορισμός των διάφορων στάθμεων ανατροπής και συνεπώς του ύψους της χοάνης για κάθε στοιχείο fusegate απαιτούν την υπόθεση είτε σταθερής προσαύξησης της παροχής για την ανατροπή είτε σταθερής προσαύξησης στη στάθμη του ταμιευτήρα. Αν επιλεγεί η πρώτη υπόθεση απαιτείται να γίνει παρεμβολή στις σχέσεις παροχетеυτικότητας για διαφορετικούς συνδυασμούς θυροφραγμάτων. Αν επιλεγεί η δεύτερη υπόθεση τότε απαιτείται ο προσδιορισμός μόνο της στάθμης του ταμιευτήρα για την ανατροπή της πρώτης και της τελευταίας ομάδας. Σε κάθε περίπτωση η επιλογή των υψών πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην ανατρέπονται ταυτόχρονα γειτονικά fusegates.

### **Στοιχεία κατασκευής των fusegates**

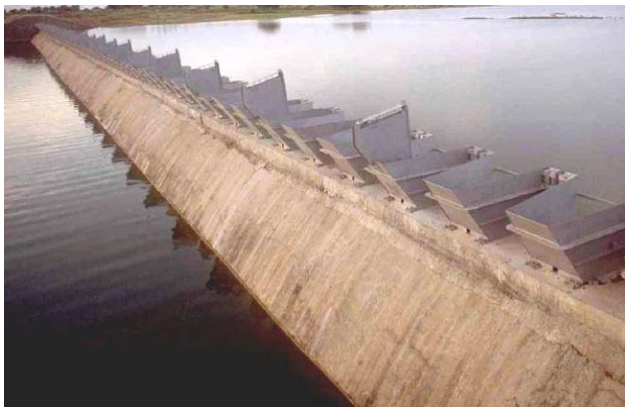
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα ανατρεπόμενα θυροφράγματα κατασκευάζονται από χάλυβα, σκυρόδεμα ή συνδυασμό χάλυβα και σκυροδέματος. Οι Στεφανάκος και

Καγιαννάς (2007) παραθέτουν λεπτομερώς κατασκευαστικά στοιχεία για fusegates από χάλυβα (Εικόνα 2.34, 2.35):

«Στην περίπτωση μεταλλικών Fusegates, η οποία είναι και η πιο συνήθης, το ασάλι είναι πάχους 6-10mm, με ελάχιστη αντοχή θραύσης  $235\text{N/mm}^2$ , ποιότητας Grade A σύμφωνα με την πιστοποίηση Lloyd's ή ST 37-2 / ST 44-2 σύμφωνα με το DIN 17100. Στο ασάλι που επιλέγεται, γίνεται δοκιμή κρούσης Charpy V σύμφωνα με το πρότυπο BS 4360.

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην ποιότητα των συγκολλήσεων. Οι συγκολλήσεις εξετάζονται με μη καταστροφικούς ελέγχους, με έλεγχο μαγνητικής ροής σύμφωνα με το πρότυπο BS 6072 ή με τη χρήση διεισδυτικών υγρών σύμφωνα με το πρότυπο BS 6443. Τυχόν ατέλειες συγκόλλησης ή αιχμηρά άκρα επιδιορθώνονται με ελαφρύ γυάλισμα/τρόχισμα.

Μετά την κατασκευή, γίνεται απολάδωση / απολίπανση κατά SSPC-PS1 και αμμοβολή κατά Sa 2.5 για την προετοιμασία των επιφανειών για βαφή. Η καθαρότητα της επιφάνειας



Εικόνα 2.35 Λαβυρινθοειδή fusegates από χάλυβα

αμμοβολής είναι σύμφωνη με το πρότυπο ISO 8501-1:1998 ή οποιοδήποτε άλλο ισοδύναμο. Το προφίλ της επιφάνειας αμμοβολής έχει 40-75μm απόσταση κορυφής-κοιλιάδας (Rz).

Μετά την αμμοβολή, οι επιφάνειες των Fusegates επικαλύπτονται με ειδική βαφή τριών στρωμάτων για αντιδιαβρωτική προστασία σε συνθήκες με πολύ υψηλή διαβρωσιμότητα C5, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 12944:1988 (Paints and Varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems). Τα στρώματα αυτά περιλαμβάνουν:

- 1ο στρώμα: αστάρι εποξικού ψευδαργύρου, ελάχιστου πάχους 75μm
- 2ο στρώμα: κύριο εποξικό, ελάχιστου πάχους 150μm
- 3ο στρώμα: πολυουρεθάνη, ελάχιστου πάχους 50μm.»



Εικόνα 2.34 Διάταξη fusegates από χάλυβα (Δυπόταμος, Κύπρος)

Τα fusegates από σκυρόδεμα αν και δεν έχουν ιδιαίτερα αυστηρές κατασκευαστικές απαιτήσεις, δεν είναι διαδεδομένα. Η συντριπτική πλειονότητα των εγκατεστημένων fusegates ανά τον κόσμο είναι από χάλυβα. Τα ανατρεπόμενα θυροφράγματα από σκυρόδεμα είναι είτε ευθύγραμμης είτε λαβυρινθοειδούς στέψης, όπως αυτά από χάλυβα (Εικόνες 2.36 και 2.37). Κατασκευάζονται από συμπαγές σκυρόδεμα, με ενίσχυση σε ορισμένες μόνο θέσεις, όπως η ανάντη παρεία της χοάνης για την αύξηση της αντοχής σε πρόσκρουση επιπλέοντων αντικειμένων ή και κομματιών πάγου, σε συνθήκες ευνοϊκές προς την ανάπτυξη παγετού στη θέση του φράγματος (Εικόνα 2.38).



**Εικόνα 2.36** Fusegates ευθύγραμμης στέψης από σκυρόδεμα (φράγμα Lyell, Αυστραλία)



**Εικόνα 2.37** Fusegates λαβυρινθοειδούς στέψης από σκυρόδεμα

Ο στεγανός θάλαμος στη βάση του θυροφράγματος μορφώνεται με ξύλινο καλούπωμα που ακουμπάει σε μεταλλική κατασκευή (Εικόνα 2.40). Πάνω από το καλούπι γίνεται η σκυροδέτηση. Μετά την πήξη του σκυροδέματος, το θυρόφραγμα ανυψώνεται μερικά εκατοστά για την αφαίρεση του καλουπιού, που απομακρύνεται με συρματόσχοινο. Με την ανύψωση ελέγχεται και

Ο έλεγχος ρωγμάτωσης του σκυροδέματος είναι απαραίτητος και εξασφαλίζεται, σύμφωνα με τους Hakin, Siers και Solomon (2002) με τη διατήρηση θερμοκρασιακών διαφορών ανάμεσα στο εσωτερικό και τα εξωτερικά όρια του σκυροδέματος κάτω από 15 °C και μέγιστη θερμοκρασία στη φάση της πήξης τους 80 °C. Για την κάλυψη των θερμοκρασιακών απαιτήσεων χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι στη φάση της κατασκευής. Η σκυροδέτηση γίνεται τις πρώτες πρωινές ώρες, οπότε οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές και χρησιμοποιείται στη μίξη παγωμένο νερό και τσιμέντο Portland με υψηλή περιεκτικότητα σε ιπτάμενη τέφρα. Στη φάση της πήξης, τα κατασκευαζόμενα στοιχεία ντύνονται με μονωτικό περίβλημα για τη διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών, που περιλαμβάνει βαμβακονήματα και εξωτερικό κάλυμμα μουσαμά (Εικόνα 2.39).



**Εικόνα 2.38** Ενίσχυση με οπλισμό στην ανάντη παρεία της χοάνης

το βάρος του θυροφράγματος και εξασφαλίζεται ότι δεν αναπτύσσονται συνδέσεις ανάμεσα στο στοιχείο fusegate και το δάπεδο του υπερχειλιστή.

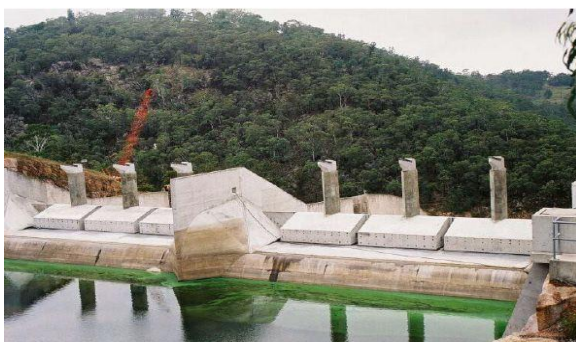


**Εικόνα 2.39** Κατασκευή βάσης fusegate από σκυρόδεμα – μονωτικό περίβλημα κατά τη φάση της πήξης



**Εικόνα 2.40** Κατασκευή στεγανού θαλάμου βάσης από σκυρόδεμα - καλούπωμα

Η χοάνη κατασκευάζεται είτε από σκυρόδεμα είτε από χάλυβα (Εικόνες 2.41 και 2.42). Όταν κατασκευάζεται από χάλυβα, κατασκευάζεται εξωτερικό περίβλημα από ενισχυμένο σκυρόδεμα, πάνω στο οποίο πακτώνεται η χοάνη. Για τη στεγανοποίηση δεν υπάρχει κάποια διαφοροποίηση στην τεχνική και τα υλικά που χρησιμοποιούνται.



**Εικόνα 2.41** Fusegates με χοάνη από σκυρόδεμα



**Εικόνα 2.42** Fusegates με μεταλλική χοάνη



## 2.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ FUSEGATES

Σύστημα fusegates μπορεί να εγκατασταθεί στη στέψη ελεύθερου υπερχειλιστή σε υπάρχον ή νέο φράγμα με υδροηλεκτρική ή αρδευτική/υδρευτική λειτουργία. Η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος γίνεται για την αποτελεσματική αύξηση της χωρητικότητας του ανάντη ταμιευτήρα ή για την αύξηση της παροχетеυτικής ικανότητας του υπερχειλιστή ή και για τα δύο (Πίνακες 2.4 και 2.5).

Φράγμα	Χώρα	Έτος ολοκλήρωσης	Αύξηση χωρητικότητας	
			hm <sup>3</sup>	% της χωρητικότητας
Beni Amrane	Αλγερία	2004	7.1	142%
Kamuzu	Μαλάουι	1999	10.6	115%
Foum El Gueiss	Αλγερία	2005	0.53	112%
Wanakbori	Ινδία	1995	42.0	100%
Dartmouth	Αυστραλία	2003	3.4	68%
Lussas	Γαλλία	1991	0.10	30%
Terminus	ΗΠΑ	2004	52.8	30%
12 φράγματα στο Gujarat	Ινδία	2004	49.0	31%
Lyell	Αυστραλία	2002	7.6	29%
Ruti	Ζιμπάμπουε	2001	25.3	20%

Πίνακας 2.4 Φράγματα με σύστημα fusegates για αύξηση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα

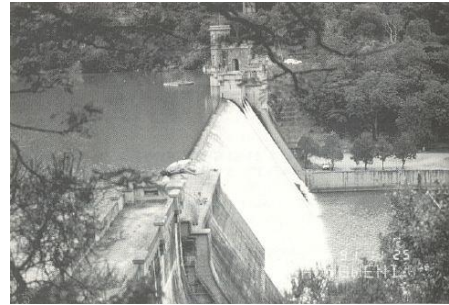
Η αύξηση της χωρητικότητας επιτυγχάνεται από το γεγονός ότι το σύστημα fusegates δημιουργεί ένα στεγανό διάφραγμα το οποίο ανατρέπεται σε πολύ σπάνια πλημμυρικά γεγονότα και επιτρέπει την άνοδο της στάθμης ανάντη πάνω από τη στέψη του υπερχειλιστή. Η παροχетеυτικότητα του υπερχειλιστή αυξάνεται όταν με κατάλληλα τεχνικά έργα στο έργο υπερχείλισης καταβιβασθεί το δάπεδό του και εγκατασταθεί σύστημα fusegates στη νέα στέψη, με ύψος θυροφραγμάτων ίσο με η διαφορά της νέας από την αρχική στέψη του υπερχειλιστή. Ανάγκη για αύξηση της παροχетеυτικότητας εμφανίζεται σε φράγματα με ασυνήθιστα μεγάλες πλημμύρες που δεν έχουν κατάλληλα σχεδιασμένο υπερχειλιστή. Στο φράγμα Shongweni (Νότια Αφρική) η τοποθέτηση fusegates αύξησε την παροχетеυτικότητα του υπερχειλιστή από 1500 m<sup>3</sup>/s σε 5000 m<sup>3</sup>/s (Εικόνα 2.43). Ο

Φράγμα	Χώρα	Έτος ολοκλήρωσης	Παροχетеυτικότητα (m <sup>3</sup> /s)	
			Πριν	Μετά
Dove Stone	Αγγλία	1995	200	280
Montsalvens	Ελβετία	1998	121	350
Saint-Herbot	Γαλλία	1992	29	85
Shongweni	Νότια Αφρική	1994	1,250	5,500
Black Rock	ΗΠΑ	2001	170	1,800
Otter Brook	ΗΠΑ	2005	1,075	1,650

Πίνακας 2.5 Φράγματα με σύστημα fusegates για αύξηση της παροχетеυτικής ικανότητας του υπερχειλιστή

συνδυασμός των δύο παραπάνω επιτυγχάνεται όταν καταβιβασθεί η στέψη του υπερχειλιστή και την ίδια ώρα η στέψη των τοποθετούμενων fusegates υπερβαίνει την αρχική στέψη.

Σύστημα fusegates μπορεί να τοποθετηθεί σε υπερχειλιστή που έχει ήδη θυροφράγματα, αντικαθιστώντας μέρος των συμβατικών θυροφραγμάτων. Άλλες εφαρμογές είναι η τοποθέτηση σε φράγματα ασφαλείας εκτάκτου ανάγκης ή δευτερεύοντες υπερχειλιστές, σε αντιπλημμυρικά φράγματα και για τον έλεγχο της ροής σε αντιπλημμυρικές λεκάνες παρακείμενες σε ποταμούς.



*Εικόνα 2.43 Φράγμα Shongweni (Νότια Αφρική)*

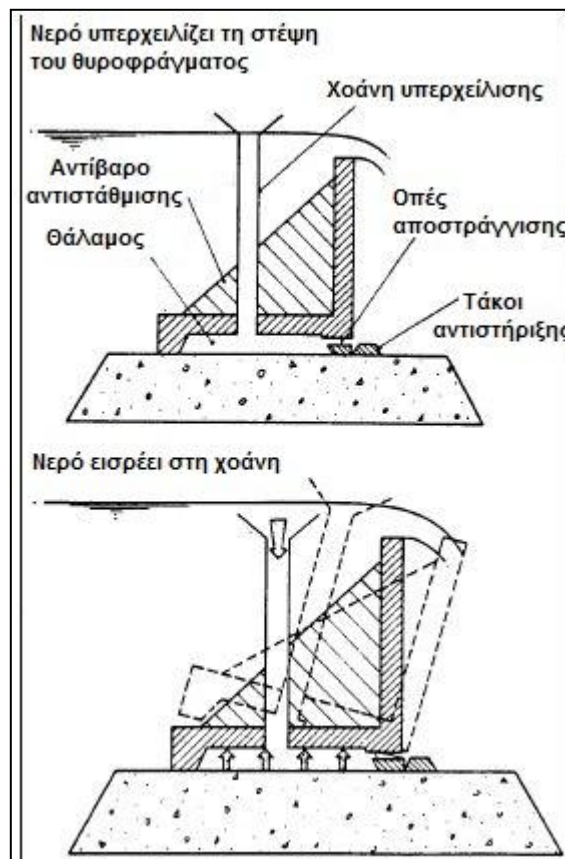
## 2.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ FUSEGATES

Τα ανατρεπόμενα θυροφράγματα παρουσιάζουν μία σειρά από πλεονεκτήματα που τα καθιστούν αξιόπιστη, άμεσα εφαρμόσιμη και οικονομική λύση σε σύγκριση με τα συμβατικά θυροφράγματα ή άλλες εναλλακτικές τεχνολογίες όπως fuse plugs, φουσκωτά φράγματα και flashbroads:

1. Αυξάνουν άμεσα τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα(Πίνακας 2.4).
2. Αυξάνουν το ύψος πτώσης των υδροτροβίλων και άρα το όφελος από την παραγωγή ενέργειας στην περίπτωση των ΥΗΕ
3. Δεν απαιτούν κάποια ουσιαστική παρέμβαση στον υπερχειλιστή συνήθως και μπορούν να τοποθετηθούν χωρίς να διακοπεί η λειτουργία του φράγματος, μειώνοντας τις δαπάνες αισθητά.
4. Είναι απλή τεχνολογία, δεν έχουν ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και δεν απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση για τη λειτουργία τους. Αυτό αυξάνει την αξιοπιστία τους σε πλημμυρικές συνθήκες που μπορεί να υπάρξει αδυναμία πρόσβασης στο χώρο του φράγματος ή διακοπή ρεύματος και μειώνει το κόστος τους (εικόνα 2.44)
5. Αυξάνουν την παροχευτικότητα του υπερχειλιστή με επεμβάσεις μικρής κλίμακας (Πίνακας 2.5).
6. Δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση πέρα από τον τακτικό έλεγχο των αποστραγγιστικών οπών, των σφραγιστικών ελαστικών, των τάκων και της χοάνης.

7. Ανατρέπονται σταδιακά σε διαφορετικές στάθμες και εκφορτίζουν βαθμιαία τα πλημμυρικά γεγονότα στα κατάντη, προς όφελος της ασφάλειας των κατάντη πληθυσμών και υποδομών.
8. Βελτιώνουν τον έλεγχο των πλημμυρών αυξάνοντας την ασφάλεια τόσο του φράγματος όσο και της κατάντη περιοχής.

Ωστόσο, μειονέκτημα των fusegates αποτελεί το γεγονός ότι είναι μίας χρήσης και μετά την ανατροπή τους πρέπει να αντικατασταθούν, επιβαρύνοντας το κόστος τους ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αστοχίας.



**Εικόνα 2.44** Τυπική διατομή fusegate – βασικές αρχές λειτουργίας – τεχνολογία χωρίς ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό



### 3. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ FUSEGATES ΣΕ ΥΠΑΡΧΟΝ ΦΡΑΓΜΑ

#### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύστημα fusegates μπορεί να τοποθετηθεί στον υπερχειλιστή υπάρχοντος ή νέου φράγματος. Στην περίπτωση νέου φράγματος, λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό του έργου η Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας στον ταμιευτήρα όπως διαμορφώνεται με την εγκατάσταση συστήματος ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων (Εικόνα 3.1). Συνεπώς δεν απαιτείται η εξέταση πρόσθετων παραμέτρων που αφορούν στη λειτουργία του φράγματος παρά μόνο η παροχέτευση των πλημμυρών από τα θυροφράγματα προς τα κατόντη. Στην περίπτωση όμως φράγματος σε λειτουργία, η εγκατάσταση συστήματος fusegates αυξάνει την Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας και δημιουργεί νέες συνθήκες λειτουργίας στον ταμιευτήρα, στο σώμα του φράγματος, στον υπερχειλιστή αλλά και στις υδροηλεκτρικές μηχανές όταν πρόκειται για Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ). Η νέα στάθμη είναι διαφορετική από αυτήν για την οποία έχει μελετηθεί και σχεδιαστεί το έργο και συνεπώς απαιτείται η εξέταση όλων των παραμέτρων της λειτουργίας του έργου που επηρεάζονται από την εγκατάσταση του συστήματος fusegates στον υπερχειλιστή.



*Εικόνα 3.1 Σύστημα ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων εγκατεστημένο στη στέψη μετωπικού υπερχειλιστή φράγματος*

Οι παράμετροι που επηρεάζονται από την εγκατάσταση του συστήματος και τη διαμόρφωση νέας υψηλότερης Ανώτατης Στάθμης Λειτουργίας είναι:

1. Υδραυλική λειτουργία υπερχειλιστή – Συντελεστής Παροχетеυτικότητας
2. Παροχетеυση πλημμυρών από το σύστημα fusegates
3. Ευστάθεια υπερχειλιστή
4. Ευστάθεια φράγματος
5. Συμπεριφορά πυρήνα και πρανών σε γεώφραγμα
6. Ευστάθεια πρανών ταμιευτήρα
7. Συμπεριφορά υδροστροβίλων σε ΥΗΕ
8. Υποδομές και πληθυσμοί γύρω από τον ταμιευτήρα
9. Ποσοτικό και οικονομικό όφελος

### 3.2 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ

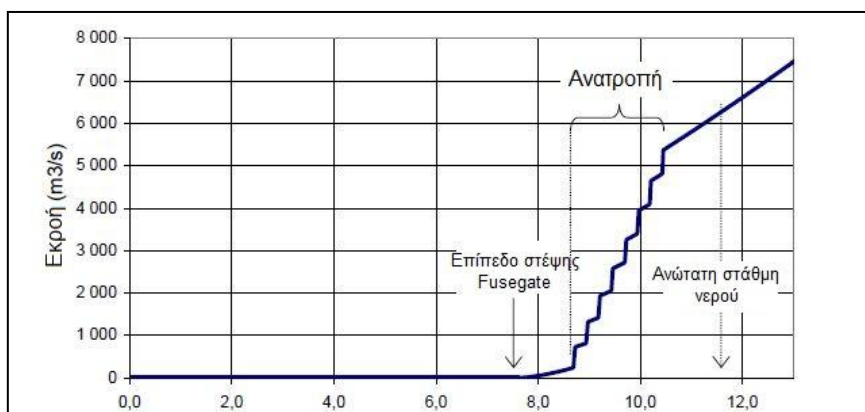
Όταν εξετάζεται η εγκατάσταση συστήματος fusegates στον υπερχειλιστή φράγματος, προσδιορίζεται αρχικά η στάθμη ανατροπής της τελευταίας ομάδας fusegates, από εκεί το ύψος των θυροφραγμάτων, κατόπιν το μήκος από τις τυποποιημένες σχέσεις ύψους – μήκους και ο απαιτούμενος αριθμός τους από το εύρος του υπερχειλιστή (βλέπε υποκεφάλαιο 2.5 για τα στοιχεία σχεδιασμού των fusegates). Μετά τον προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των θυροφραγμάτων εξετάζεται η υδραυλική λειτουργία του υπερχειλιστή με την εγκατάσταση και συγκρίνεται με τη λειτουργία χωρίς την εγκατάσταση.

#### Συντελεστής παροχетеυτικότητας

Πρώτο στοιχείο που εξετάζεται όσον αφορά στην υδραυλική λειτουργία του υπερχειλιστή είναι ο συντελεστής παροχетеυτικότητας του συστήματος. Οι τύποι που χρησιμοποιούνται είναι αυτοί που έχουν προταθεί από τον Rouse (1960) (βλέπε υποκεφάλαιο 2.5 για τα χαρακτηριστικά παροχетеυτικότητας):  $Q = \frac{2}{3} c_d \sqrt{2g} L_c h^{3/2}$  για την παροχетеυτικότητα και  $c_d = c_1 \left( \frac{h}{H} - c_2 \right)^{c_3}$  για το συντελεστή παροχетеυτικότητας. Η παροχетеυτικότητα των λαβυρινθοειδών θυροφραγμάτων είναι μεγαλύτερη από αυτήν ελεύθερου υπερχειλιστή λόγω μεγαλύτερου μήκους στέψης.

## Παροχέτευση πλημμυρών από το σύστημα fusegates

Πριν την τοποθέτηση του συστήματος των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων σε φράγμα είναι απαραίτητος ο έλεγχος της λειτουργίας του συστήματος για τις διάφορες πλημμυρικές εκροές. Συγκεκριμένα ελέγχεται η λειτουργία του συστήματος για πλημμυρικά γεγονότα πριν την ανατροπή της πρώτης ομάδας που αντιστοιχούν συνήθως σε πλημμύρες με περίοδο αναφοράς πάνω από 100 χρόνια (σπάνια πλημμυρικά γεγονότα), η εκφόρτιση πλημμυρών μετά την ανατροπή της πρώτης ομάδας fusegates και η εκφόρτιση της πλημμύρας σχεδιασμού, που συνήθως είναι η πιθανή μέγιστη της περιοχής του έργου. Εξετάζεται η μεταβολή της εκροής του υπερχειλιστή και της στάθμης του ταμειευτήρα, η σειρά ανατροπής των fusegates, η διαδοχή των στάθμεων ανατροπής και η ανάσχεση των πλημμυρών από το σύστημα των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων ασφαλείας σε συνάρτηση με τη διαδικασία ανατροπής (Διάγραμμα 3.1). Οι στάθμες ανατροπής διαφέρουν λίγο μεταξύ τους, συνήθως γύρω στα 5 cm.



**Διάγραμμα 3.1** Εκφόρτιση πλημμύρας από υπερχειλιστή με σύστημα ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων

Η εκφόρτιση των πλημμυρών γίνεται με βαθμιαία αύξηση της εκροής στα κατάντη στα χρονικά σημεία ανατροπής των fusegates και η εκροή επανέρχεται επίσης βαθμιαία στα επίπεδα της χωρίς θυροφράγματα εκροής πριν την πλημμύρα σχεδιασμού, όπως δείχνεται στο διάγραμμα 3.1. Εξετάζεται ιδιαίτερα η μεταβολή της μέγιστης στάθμης κατά τη διάρκεια της πλημμύρας σχεδιασμού από την εγκατάσταση των fusegates και η επίδραση της στην ασφάλεια του φράγματος (πχ κίνδυνος υπερπήδησης). Τέλος, ελέγχεται η δυνατότητα απρόσκοπτης απομάκρυνσης των στοιχείων fusegates μετά την ανατροπή τους από τη ροή νερού προς τα κατάντη. Εξετάζονται ως προς αυτό τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διώρυγας και του έργου αποτόνωσης του υπερχειλιστή και οι διαστάσεις των θυροφραγμάτων.

Οι ίδιες παράμετροι ελέγχονται συνήθως και για μη ομαλές συνθήκες λειτουργίας, όπως η λειτουργία των fusegates με φραγμένη χοάνη, κατεστραμμένα σφραγιστικά ελαστικά ή φραγμένες αποστραγγιστικές οπές. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αντίστοιχα από τις συνθήκες λειτουργίας χωρίς σύστημα ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων.

### 3.3 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ

Η άνοδος της Ανώτατης Στάθμης Λειτουργίας δημιουργεί νέες συνθήκες λειτουργίας στο σύστημα υπερχειλίσης και απαιτεί επανέλεγχο της ευστάθειάς του. Εξαιτίας της ανύψωσης της στάθμης του νερού, αυξάνονται οι υδροστατικές πιέσεις που καταπονούν το φορέα στην ανάντη πλευρά του. Οι νέες υδροστατικές πιέσεις παραμένουν μικρότερες από τις μέγιστες τιμές για τις οποίες έχει διαστασιολογηθεί ο υπερχειλιστής, δεδομένου ότι η νέα Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας παραμένει χαμηλότερη από την Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας. Ωστόσο, οι νέες πιέσεις ασκούνται για μεγάλα χρονικά διαστήματα, πρακτικά για όλη σχεδόν τη διάρκεια ζωής του έργου, έχουν συνεπώς μόνιμα χαρακτηριστικά και εντάσσονται στις συνήθεις φορτίσεις.

Την ίδια ώρα οι μέγιστες πιέσεις για τις οποίες έχει διαστασιολογηθεί το έργο υπερχειλίσης συνδέονται με πλημμυρικά γεγονότα και συνεπώς εντάσσονται στις ακραίες και σπάνιες φορτίσεις, που απαιτούν διαφορετικό – μικρότερο – συντελεστή ασφαλείας από τις συνήθεις, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα για τη μελέτη και στατική επίλυση φορέα. Παράλληλα, μεταβάλλονται οι συνθήκες φόρτισης στον υπερχειλιστή (Σχήμα 3.1) στη φάση της υπερχειλίσης και πριν την ανατροπή των θυροφραγμάτων. Συνεπώς απαιτείται ο επανέλεγχος της ευστάθειας του τεχνικού της υπερχειλίσης τόσο για τις συνήθεις όσο και για τις ακραίες και σπάνιες φορτίσεις.

#### **Απαιτούμενοι έλεγχοι**

Οι έλεγχοι που απαιτούνται είναι ο έλεγχος σε ανατροπή και ο έλεγχος σε ολίσθηση του τεχνικού υπερχειλίσης για συνήθεις συνθήκες λειτουργίας με (ακραίες φορτίσεις) και χωρίς (συνήθεις φορτίσεις) σεισμική καταπόνηση και για συνθηκές υπερχειλίσης πριν την ανατροπή των θυροφραγμάτων (σπάνιες φορτίσεις) χωρίς σεισμική καταπόνηση. Μετά την ανατροπή των fusegates οι συνθήκες λειτουργίας και φόρτισης στον υπερχειλιστή είναι ίδιες με αυτές για τις οποίες έχει μελετηθεί και διαστασιολογηθεί το τεχνικό υπερχειλίσης και συνεπώς δεν απαιτείται έλεγχος για την Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας.

Το τεχνικό υπερχειλίσης συμπεριφέρεται σα φράγμα βαρύτητας, οπότε για τη διερεύνηση της ευστάθειάς του μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ίδια μεθοδολογία που ακολουθείται στον έλεγχο ευστάθειας των φραγμάτων βαρύτητας. Σύμφωνα με αυτήν τη



μεθοδολογία (Στεφανάκος, 2006), οι συνδυασμοί φορτίσεων διακρίνονται σε τέσσερις (4) βασικές περιπτώσεις:

I. Συνήθεις φορτίσεις: ίδιον βάρος, ΑΣΛ ανάντη, στάθμη φυγής κατάντη, φορτία φερτών, άνωσης, παγετού.

II. Φάση κατασκευής έργου: Ίδιον βάρος, με και χωρίς σεισμική καταπόνηση.

III. Περίπτωση πλημμύρας: Ίδιον βάρος, ΑΣΠ ανάντη, στάθμη πλημμύρας φυγής κατάντη, φορτία φερτών, άνωσης, παγετού.

IV. Περίπτωση I με σεισμική καταπόνηση.

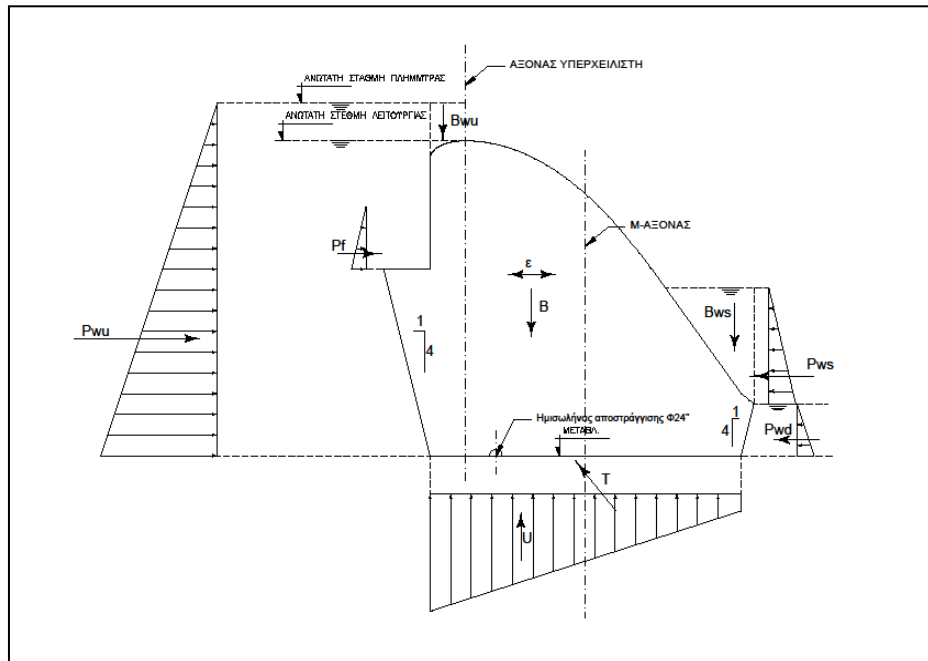
Επειδή εξεξεταται η εγκατάσταση ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων σε υπερχειλιστή φράγματος που λειτουργεί, ο συνδυασμός φορτίσεων II δε λαμβάνεται υπόψιν στη διερεύνηση.

Σύμφωνα με την ίδια μεθοδολογία απαιτείται:

- για τις συνήθεις συνθήκες φόρτισης (περίπτωση I) να μην αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις στο σώμα και τη θεμελίωση του τεχνικού υπερχείλισης, ο συντελεστής ασφάλειας για τις μέγιστες θλιπτικές τάσεις να είναι μεγαλύτερος του 3 και ο συντελεστής ασφάλειας έναντι ολίσθησης μεγαλύτερος του 3.
- για τις ακραίες και σπάνιες συνθήκες φόρτισης (περιπτώσεις III και IV) οι εφελκυστικές τάσεις είναι αποδεκτές σε περιορισμένη έκταση με διαφορετικά όμως κριτήρια σχεδιασμού από χώρα σε χώρα. Ο συντελεστής ασφαλείας για τις μέγιστες θλιπτικές τάσεις πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με 2. Ο έλεγχος σε ολίσθηση γίνεται σε ρωγματομένη διατομή, με μειωμένο ενεργό μήκος θεμελίωσης του τεχνικού υπερχείλισης, και ο συντελεστής ασφάλειας πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 2 για το συνδυασμό φορτίσεων της περίπτωσης III και από 1,5 για το συνδυασμό φορτίσεων της περίπτωσης IV. Η μείωση του ενεργού μήκους θεμελίωσης εξαρτάται από την έκταση της ζώνης εφελκυσμού.

Για τον έλεγχο ευστάθειας του τεχνικού υπερχείλισης επιλέγεται ο δυσμενέστερος συνδυασμός φορτίσεων. Στις συνήθεις συνθήκες λειτουργίας αυτός είναι με μέγιστη οριζόντια υδροστατική πίεση που αντιστοιχεί στην ΑΣΛ, κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο και μηδενική παθητική αντίσταση στα ανάντη και με μηδενική υδροστατική πίεση και κατακόρυφο φορτίο στα κατάντη, με και χωρίς σεισμική καταπόνηση (Σχήμα 3.1). Στις σπάνιες συνθήκες λειτουργίας ο δυσμενέστερος συνδυασμός φορτίσεων είναι με στάθμη στον ταμιευτήρα στη στάθμη ανατροπής της πρώτης ομάδας θυροφραγμάτων και στη λεκάνη ηρεμίας ή αποτόνωσης χαμηλότερη από τη μέγιστη (περίπτωση υπερχείλισης

χωρίς ανατροπή θυροφραγμάτων), χωρίς σεισμική καταπόνηση. Ο έλεγχος ευστάθειας γίνεται σε αντιπροσωπευτικές διατομές του τεχνικού.



Σχήμα 3.1 Φορτία σε τεχνικό υπερχείλισης με οgee (πηγή: Ι.Π.Στεφανάκος)

### Φορτία στο τεχνικό υπερχείλισης

Τα φορτία που αναπτύσσονται στο τεχνικό υπερχείλισης είναι:

1. Ίδιον βάρος τεχνικού
2. Οριζόντιες υδροστατικές πιέσεις ανάντη και κατόντη του τεχνικού
3. Κατακόρυφα υδροστατικά φορτία ανάντη και κατόντη του τεχνικού
4. Υδροστατικές πιέσεις στη θεμελίωση
5. Πλευρικές ωθήσεις φερτών υλικών στην ανάντη παρειά του τεχνικού
6. Τάσεις στη θεμελίωση
7. Σεισμική καταπόνηση
8. Δυναμικές φορτίσεις νερού από σεισμική δραστηριότητα
9. Φορτίο παγετού

### 3.4 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Η ευστάθεια φράγματος επηρεάζεται από την άνοδο της Ανώτατης Στάθμης Λειτουργίας (ΑΣΛ) μετά την εγκατάσταση συστήματος ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων. Η άνοδος της ΑΣΛ συνεπάγεται την αύξηση των υδροστατικών πιέσεων στην ανάντη πλευρά του φράγματος, οι οποίες παίρνουν τιμές μικρότερες από τις μέγιστες τιμές υδροστατικού φορτίου για τις οποίες έχει μελετηθεί και διαστασιολογηθεί ο φορέας. Έχουν όμως μόνιμα χαρακτηριστικά, εντάσσονται δηλαδή στις συνήθεις φορτίσεις στο βαθμό που τα στοιχεία fusegates ανατρέπονται σε σπάνιες πλημμύρες, ενδεχομένως και ποτέ κατά τη διάρκεια του χρόνου ζωής του έργου. Επομένως απαιτείται επανέλεγχος της ευστάθειας του φράγματος, εντάσσοντας τις νέες υδροστατικές πιέσεις στις συνήθεις συνθήκες λειτουργίας.

#### Απαιτούμενοι έλεγχοι

Τα φράγματα διακρίνονται σε αντηριδωτά, τοξωτά, βαρύτητας και γεωφράγματα (Εικόνες 3.2, 3.3, 3.4, 3.5). Για όλους τους τύπους φραγμάτων απαιτείται έλεγχος σε ολίσθηση και σε ανατροπή για συνήθεις συνθήκες λειτουργίας (στάθμη νερού στη νέα ΑΣΛ) με και χωρίς σεισμική καταπόνηση. Από τη φάση υπερχειλίσης και μέχρι την Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας (σπάνιες φορτίσεις) δεν απαιτείται έλεγχος της ευστάθειας του φράγματος γιατί οι συνθήκες λειτουργίας είναι ίδιες με αυτές για τις οποίες έχει μελετηθεί και διαστασιολογηθεί ο φορέας. Τα γεωφράγματα, χωμάτινα ή λιθόρριπτα, δεν ελέγχονται σε ολίσθηση ή ανατροπή.



*Εικόνα 3.2 Τοξωτό φράγμα  
(Hoover, ΗΠΑ)*



*Εικόνα 3.3 Γεώφραγμα  
(Ιλαρίνας, Αλιάκμονας ποταμός)*

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον έλεγχο ευστάθειας φράγματος είναι ίδια για όλους τους τύπους φραγμάτων. Στην περίπτωση των γεωφραγμάτων απαιτούνται έλεγχοι ευστάθειας των πρανών του φράγματος και τυχόν ρωγμάτωσης του πυρήνα, οι οποίοι περιγράφονται αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 3.5. Σε φράγμα μπορούν να διακριθούν τέσσερις συνδυασμοί φορτίσεων (4), όπως και στην περίπτωση του τεχνικού υπερχειλίσης:

I. Συνήθεις φορτίσεις: ίδιον βάρος, ΑΣΛ ανάντη, στάθμη φυγής κατάντη, φορτία φερτών, άνωσης, παγετού.

II. Φάση κατασκευής έργου: Ίδιον βάρος, με και χωρίς σεισμική καταπόνηση.

III. Περίπτωση πλημμύρας: Ίδιον βάρος, ΑΣΠ ανάντη, στάθμη πλημμύρας φυγής κατάντη, φορτία φερτών, άνωσης, παγετού.

IV. Περίπτωση I με σεισμική καταπόνηση.

Οι περιπτώσεις II και III δεν εξετάζονται. Η περίπτωση II αφορά στη φάση κατασκευής του φράγματος και η περίπτωση III έχει ήδη μελετηθεί και ληφθεί υπόψιν στο σχεδιασμό και κατασκευή του φράγματος.



*Εικόνα 3.4 Φράγμα βαρύτητας από σκυρόδεμα*



*Εικόνα 3.5 Αντηριδωτό φράγμα (Λάδωνας ποταμός, Αρκαδία)*

Η ανάλυση ευστάθειας σε φράγμα προβλέπει:

1. Για τις συνήθεις φορτίσεις (Περίπτωση I)

- να μην αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις στο σώμα και τη θεμελίωση του φράγματος
- ο συντελεστής ασφάλειας για τις μέγιστες θλιπτικές τάσεις να είναι μεγαλύτερος του 3 για τα φράγματα βαρύτητας και του 2 για τα τοξωτά
- ο συντελεστής ασφάλειας έναντι ολίσθησης να είναι μεγαλύτερος του 3 για τα φράγματα βαρύτητας και του 1,5 για τα τοξωτά

2. Για τις ακραίες φορτίσεις (Περίπτωση IV)

- οι εφελκυστικές τάσεις είναι αποδεκτές σε περιορισμένη έκταση με διαφορετικά όμως κριτήρια σχεδιασμού ανά χώρα.
- ο συντελεστής ασφαλείας για τις μέγιστες θλιπτικές τάσεις να είναι μεγαλύτερος του 2 σε φράγματα βαρύτητας και του 1,1 σε τοξωτά.

- ο έλεγχος σε ολίσθηση γίνεται σε ρωγματομένη διατομή, με μειωμένο ενεργό μήκος θεμελίωσης του φορέα. Το ενεργό μήκος θεμελίωσης εξαρτάται από την έκταση της ζώνης εφελκυσμού.
- ο συντελεστής ασφάλειας να είναι μεγαλύτερος του 1,5 στα φράγματα βαρύτητας και του 1,1 στα τοξωτά.

Για τον έλεγχο ευστάθειας του φράγματος επιλέγεται ο δυσμενέστερος συνδυασμός φορτίσεων, που είναι με μέγιστη οριζόντια υδροστατική πίεση που αντιστοιχεί στην ΑΣΛ, κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο και μηδενική παθητική αντίσταση στα ανάντη και με μηδενική υδροστατική πίεση και κατακόρυφο φορτίο στα κατόντη, χωρίς σεισμική καταπόνηση (συνήθεις συνθήκες λειτουργίας - Περίπτωση Ι) και με σεισμική καταπόνηση (ακραίες συνθήκες λειτουργίας – Περίπτωση ΙV). Ο έλεγχος ευστάθειας γίνεται σε αντιπροσωπευτικές διατομές, συμπεριλαμβανομένων της μεσαίας και διατομών πλησίον των αντερεισμάτων του φράγματος.

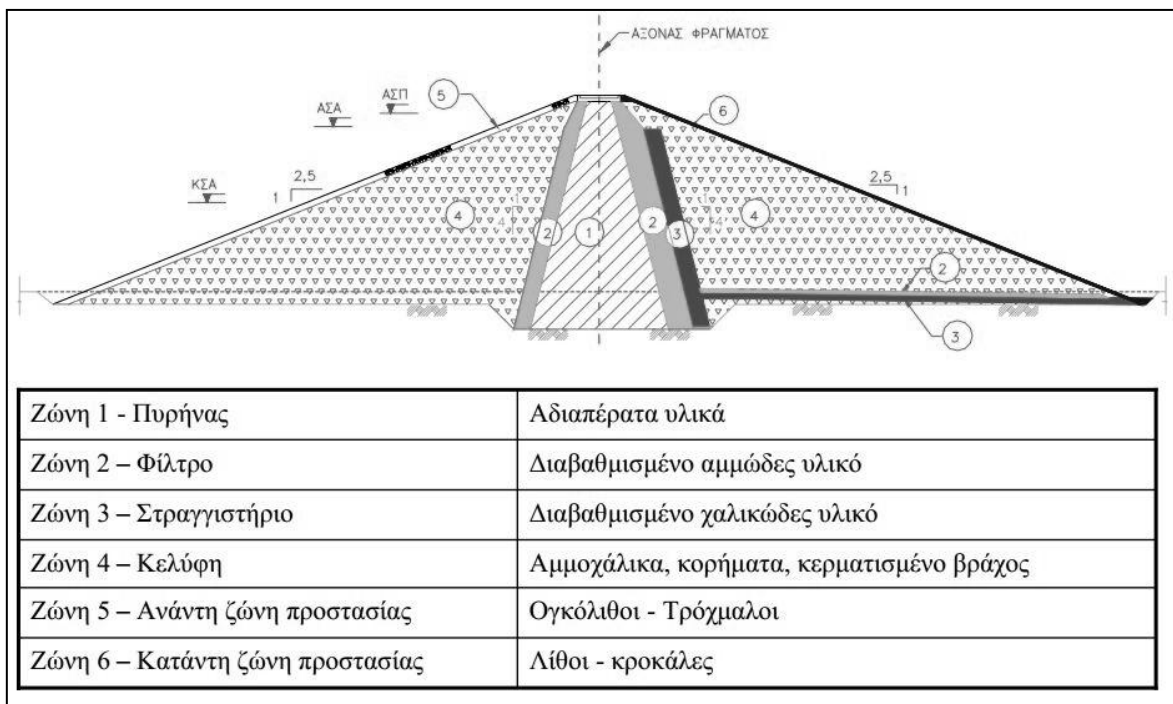
### **Φορτία στο φράγμα**

Τα φορτία που αναπτύσσονται σε ένα φράγμα είναι:

1. Ίδιον βάρος φράγματος.
2. Οριζόντιες υδροστατικές πιέσεις ανάντη και κατόντη του φράγματος
3. Κατακόρυφα υδροστατικά φορτία ανάντη και κατόντη του φράγματος
4. Υδροστατικές πιέσεις στη θεμελίωση
5. Ωθήσεις φερτών υλικών στην ανάντη πλευρά του φράγματος
6. Τάσεις στη θεμελίωση
7. Σεισμική καταπόνηση
8. Δυναμικές φορτίσεις νερού από σεισμική δραστηριότητα
9. Φορτίο παγετού

### 3.5 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΥΡΗΝΑ ΚΑΙ ΠΡΑΝΩΝ ΣΕ ΓΕΩΦΡΑΓΜΑ

Στην περίπτωση γεωφράγματος (Σχήμα 3.2), λιθόρριπτου ή χλωμάτινου, απαιτείται έλεγχος της συμπεριφοράς του πυρήνα σε τυχόν ρωγμάτωση και της ευστάθειας των πρανών για τη νέα αυξημένη Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας, μετά την τοποθέτηση συστήματος ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων. Τα γεωφράγματα είναι διαζωνισμένα με πυρήνα για την εξασφάλιση πρακτικά μηδενικής διαπερατότητας. Η άνοδος της ΑΣΛ δημιουργεί νέες συνθήκες λειτουργίας στο βαθμό που τμήμα των πρανών και του πυρήνα έρχονται σε επαφή με το νερό του ταμιευτήρα και διαβρέχονται ύστερα από αρκετά χρόνια, συνήθως δεκαετίες, από την κατασκευή και πρώτη πλήρωση του φράγματος.



Σχήμα 3.2 Τυπική διατομή γεωφράγματος με κεντρικό πυρήνα (πηγή: Ν.Μουτάφης)

#### Έλεγχος υγρασίας και ρωγμάτωσης πυρήνα

Ο πυρήνας γεωφράγματος κατασκευάζεται από λεπτόκοκκα υλικά, συνήθως αργιλικά, που διαστρώνονται και συμπυκνώνονται σε συνθήκες βέλτιστης υγρασίας. Πιθανή μείωση της υγρασίας του πυρήνα έχει ως αποτέλεσμα τη συρίκνωση των λεπτόκοκκων υλικών του μέχρι το όριο ξήρανσης και την ανάπτυξη ρωγμών. Μείωση της υγρασίας του υλικού του πυρήνα μπορεί να γίνει λόγω αύξησης της θερμοκρασίας του ή λόγω επαφής με ανανεούμενο αέρα.

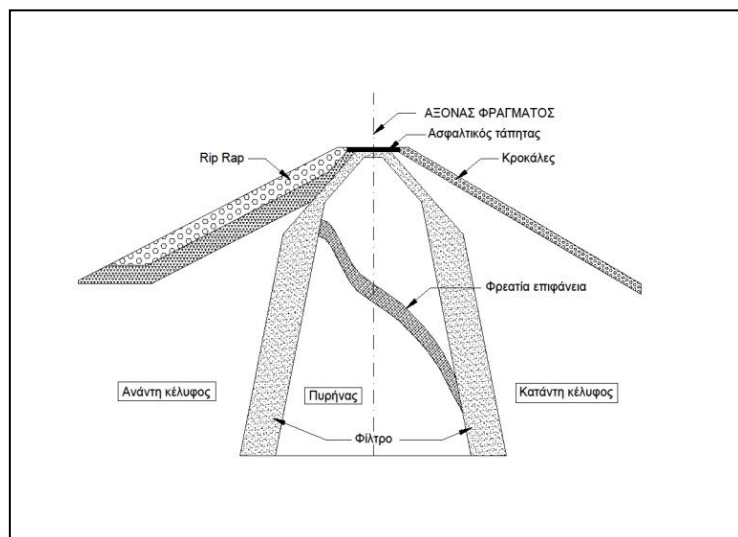
Η στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα είναι αμετάβλητη μέχρι την ανάντη παρειά του πυρήνα, εξαιτίας της μεγάλης διαπερατότητας των υλικών του ανάντη αναχώματος. Όμως, το τμήμα του πυρήνα πάνω από τη στέψη του υπερχειλιστή κατά κανόνα δεν έρχεται σε επαφή με το νερό του ταμιευτήρα εκτός από τις περιπτώσεις πλημμυρικών γεγονότων, που έχουν μικρή χρονική διάρκεια και δεν ευνοούν την εισροή νερού στον πυρήνα και την αύξηση της υγρασίας του. Συνεπώς απαιτείται έλεγχος των συνθηκών υγρασίας του τμήματος του πυρήνα πάνω από τη στάθμη υπερχείλισης.

Η απόσταση της στέψης του πυρήνα από την ελεύθερη επιφάνεια και η μεγάλη πυκνότητα του υλικού δεν επιτρέπουν τη δημιουργία δικτύου ροής στο εσωτερικό του, παρά μόνο σε μικρές ποσότητες, κυρίως στις παρειές του. Ωστόσο, οι θερμοκρασιακές μεταβολές κατά τη διάρκεια του έτους μειώνουν την υγρασία στον πυρήνα ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες που επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες εξαιτίας της εξάτμισης του νερού, επιδρώντας σωρευτικά.

Από την άλλη το νερό των βροχοπτώσεων διηθείται από την ελεύθερη επιφάνεια του φράγματος και διαβρέχει τον πυρήνα, αυξάνοντας την υγρασία του. Σε πολλά φράγματα υπάρχουν έργα οδοποιίας με ασφαλτόστρωση στη στέψη του φράγματος. Το τμήμα του πυρήνα κάτω από την πρακτικά αδιαπέρατη άσφαλτο δε δέχεται νερό και συνεπώς δεν μπορεί να αυξήσει την υγρασία του και να ανισταθμίσει τις απώλειες από τις θερμοκρασιακές μεταβολές.

Η διαφορά του νερού που εξατμίζεται από το νερό που προστίθεται στον πυρήνα καθορίζει τις μεταβολές υγρασίας στον πυρήνα και κυρίως στο τμήμα του πάνω από την αρχική στέψη του υπερχειλιστή.

Το τμήμα του πυρήνα που εμφανίζει το μεγαλύτερο κίνδυνο μείωσης υγρασίας και σχηματισμού ρωγμών είναι το άμεσα υποκείμενο στα έργα οδοποιίας (Σχήμα 3.3). Η πιθανή ανάπτυξη συστήματος ρωγμών σε συνθήκες λειτουργίας με αυξημένη ΑΣΛ επιτρέπει τη δημιουργία δικτύου ροής με αποτέλεσμα τις διαφυγές νερού προς τα κατόντη σε μεγάλες ποσότητες.



Σχήμα 3.3 Διατομή γεωφράγματος στη στέψη (πηγή: Ι.Π.Στεφανάκος)

Ρωγμές σχηματίζονται και σε συνθήκες υπέρβασης του ορίου εφελκυστικής αντοχής του πυρήνα. Εφελκυστικές τάσεις αναπτύσσονται σε διάφορες θέσεις του φράγματος και είναι αναπόφευκτες. Οι εφελκυστικές ρωγμές αντιμετωπίζονται με την κατασκευή κατάντη φίλτρου στον πυρήνα.

Συνήθως, το νερό που διηθείται από τις βροχοπτώσεις είναι περισσότερο από το νερό που εξατμίζεται λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και συνεπώς η υγρασία του πυρήνα δεν επηρεάζεται αρνητικά. Ωστόσο, ο έλεγχος υγρασίας και ρωγμάτωσης στον πυρήνα και ιδιαίτερα στο τμήμα πάνω από την αρχική στάθμη υπερχείλισης είναι απαραίτητος πριν την τοποθέτηση συστήματος fusegates.

### **Ευστάθεια πρηνών γεωφράγματος**

Τα πρηνή του αναχώματος σε γεώφραγμα αποτελούνται από χονδρόκοκκα υλικά μεγάλης διαπερατότητας χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις συμπύκνωσης. Απαιτείται ο έλεγχος ευστάθειας των πρηνών για τη νέα ΑΣΛ με όλα τα πιθανά φορτία, με και χωρίς σεισμική καταπόνηση.

Ελέγχονται δύο συνθήκες λειτουργίας:

#### **1. Συνθήκες σταθερής ροής διήθησης**

Οι συνθήκες σταθερής ροής διήθησης διαμορφώνονται με την ανάπτυξη πλήρους δικτύου ροής στον πυρήνα. Θεωρείται ότι αυτό έχει αναπτυχθεί σε ολόκληρη την επιφάνεια διατομής του πυρήνα με τις πιέσεις πόρων που δημιουργήθηκαν κατά την κατασκευή πρακτικά μηδενισμένες. Το δίκτυο ροής που εξετάζεται είναι αυτό που αντιστοιχεί στην ΑΣΛ. Η θεώρηση γίνεται προς το δυσμενέστερο, υποθέτοντας λειτουργία του ταμιευτήρα με στάθμη νερού στην ΑΣΛ. Σε συνθήκες σταθερής ροής διήθησης ελέγχονται και τα δύο πρηνή, ανάντη και κατάντη. Για την πραγματοποίηση των ελέγχων απαιτείται ο προσδιορισμός της φρεάτιας επιφάνειας του πυρήνα, που γίνεται όπως αναφέρει ο Στεφανάκος (2006) με τη μεθοδολογία του A. Casagrande.

#### **2. Συνθήκες απότομου καταβιβασμού στάθμης**

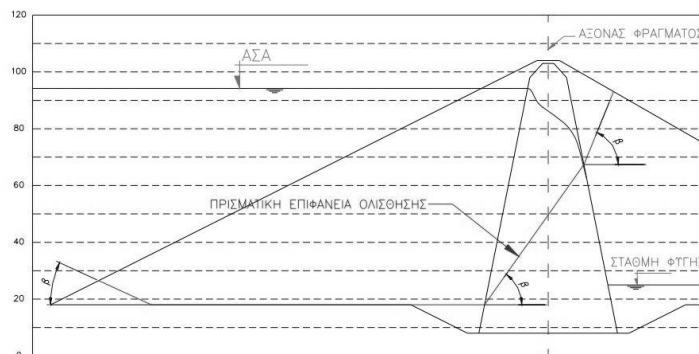
Οι συνθήκες απότομου καταβιβασμού στάθμης διαμορφώνονται όταν η στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα ταπεινώνεται απότομα από την ανώτατη στην κατώτατη ή σε άλλη ενδιάμεση. Για τον έλεγχο ευστάθειας των πρηνών σε συνθήκες απότομου καταβιβασμού, γίνεται η παραδοχή συνθηκών σταθερής ροής διήθησης, με το δίκτυο ροής πλήρως ανεπτυγμένο στον πυρήνα και να αντιστοιχεί στην ΑΣΛ. Παράλληλα, θεωρείται ότι δε μπορεί να ακολουθήσει την ταπείνωση της στάθμης του νερού στον ταμιευτήρα λόγω της χαμηλής διαπερατότητας των υλικών του πυρήνα. Ο έλεγχος γίνεται χωρίς σεισμική καταπόνηση λόγω της πρακτικά μηδενικής πιθανότητας να συμβούν ταυτόχρονα σεισμός



και εκκένωση του ταμιευτήρα Σε συνθήκες απότομου καταβιβασμού στάθμης ελέγχεται μόνο το ανάντη πρανές.

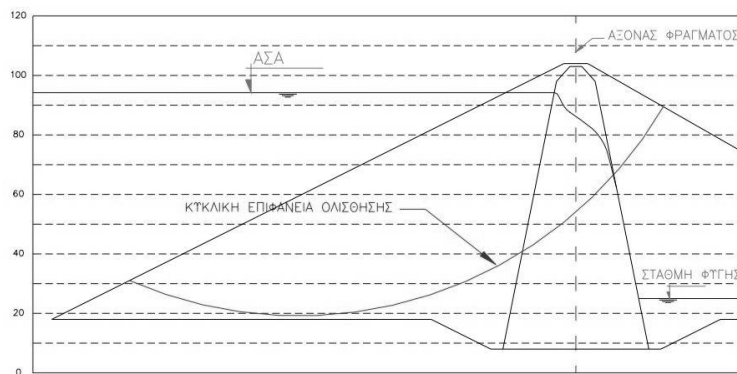
Ο έλεγχος ευστάθειας των πρανών γίνεται στη δυσμενέστερη διατομή. Δυσμενέστερη διατομή είναι αυτή με το μεγαλύτερο ύψος που έχει θεμελιωθεί σε πέτρωμα με τα δυσμενέστερα χαρακτηριστικά αντοχής. Η επιλογή της διατομής επιτρέπει τη διερεύνηση όλων των πιθανών επιφανειών ολίσθησης. Η αντοχή του πετρώματος στη ζώνη θεμελίωσης διερευνάται και λαμβάνεται υπόψιν στον έλεγχο ευστάθειας με την παραδοχή ότι οι σχηματιζόμενες επιφάνειες ολίσθησης διέρχονται από το πέτρωμα θεμελίωσης.

Οι επιφάνειες ολίσθησης προσδιορίζονται με δύο τρόπους, είτε με πρισματικές επιφάνειες ολίσθησης είτε με κύκλους ολίσθησης (μέθοδος Bishop) (Σχήματα 3.4, 3,5). Ο συντελεστής ασφάλειας είναι το πηλίκο της διαθέσιμης διατμητικής αντοχής προς την υπάρχουσα διατμητική τάση κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης. Η επιφάνεια με το χαμηλότερο συντελεστή ασφάλειας είναι η κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης. Ο συντελεστής ασφαλείας δίνει περιθώριο ασφάλειας έναντι σφάλματος στους υπολογισμούς, στον προσδιορισμό της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης και στις εκτιμήσεις για την αντοχή των υλικών στα πρανά και του πετρώματος θεμελίωσης.



Σχήμα 3.4 Κυκλική επιφάνεια ολίσθησης (πηγή: Ν.Μουτάφης)

Η ανάλυση ευστάθειας απαιτεί ο συντελεστής ασφάλειας έναντι ολίσθησης, για μία επιφάνεια ολίσθησης, να είναι μεγαλύτερος από 1,5 σε συνθήκες σταθερής ροής διήθησης χωρίς σεισμική καταπόνηση, από 1 σε συνθήκες σταθερής ροής διήθησης με σεισμική καταπόνηση και από 1,2 σε συνθήκες απότομου καταβιβασμού στάθμης. Η σεισμική φόρτιση μπορεί να γίνει με ψευδοστατικά φορτία, με τη μέθοδο των μόνιμων παραμορφώσεων ή με τη μέθοδο τάσεων – παραμορφώσεων.



**Σχήμα 3.5** Πρισματική επιφάνεια ολίσθησης (πηγή: Ν.Μουτάφης)

### 3.6 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Η ανύψωση της Ανώτατης Στάθμης Λειτουργίας είναι πιθανόν να επηρεάσει την ευστάθεια των πρανών του ταμιευτήρα. Επομένως είναι απαραίτητη η αυτοψία της περιοχής για τυχόν κατολισθητικά φαινόμενα, μετακινήσεις βραχώμαζας και φαινόμενα χαλάρωσης εδαφικών σχηματισμών. Με βάση το γεωλογικό χάρτη της περιοχής του έργου πρέπει να προσδιορισθούν η θέση και τα υψόμετρα που αναπτύσσονται τέτοια φαινόμενα, η θέση των γεωλογικών σχηματισμών με τα χαρακτηριστικά τους που ευνοούν κατολισθητικά φαινόμενα και η ιστορία των εδαφικών μετακινήσεων και κατολισθήσεων στην περιοχή κατά τη διάρκεια λειτουργίας του έργου.

Όταν ο πόδας των κατολισθήσεων, δυνητικών ή πραγματοποιημένων και οι πιθανοί κύκλοι ολίσθησης, ιδιαίτερα οι κρίσιμοι, κατακλύζονται από τον ταμιευτήρα με την ανύψωση της στάθμης στη νέα ΑΣΛ, δημιουργούνται δυσμενείς συνθήκες που ευνοούν την ενίσχυση των μετακινήσεων. Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να ληφθούν μέτρα ενίσχυσης και προστασίας των πρανών. Στην περίπτωση που βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του ταμιευτήρα ήδη από την αρχική ΑΣΛ δεν απαιτείται η λήψη πρόσθετων μέτρων.

### 3.7 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΣΕ ΥΗΕ

Η τοποθέτηση συστήματος ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων δημιουργεί νέες συνθήκες λειτουργίας για τους υδροστρόβιλους σε ένα Υδροηλεκτρικό Έργο. Αυξάνεται τόσο η Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας όσο και η Μέση Στάθμη Λειτουργίας του έργου, αυξάνοντας το μέσο και μέγιστο ύψος πτώσης.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την παραγόμενη ισχύ από υδροστρόβιλο είναι το ύψος πτώσης, ο βαθμός απόδοσης και η παροχή. Η παροχή εξαρτάται από τη γεωμετρία των αγωγών προσαγωγής, που επηρεάζει καθοριστικά τη λειτουργία των υδροστροβίλων. Χαρακτηριστικά η γεωμετρία των αγωγών στο φράγμα του Καστρακίου (μεγάλο οριζόντιο τμήμα στην αρχή) επηρεάζει αρνητικά τη λειτουργία του ΥΗΣ, προκαλώντας κραδασμούς σε μία από τις μηχανές για χαμηλές στάθμες, περί την Κατώτατη Στάθμη Λειτουργίας (ΚΣΛ) και μειώνοντας τον πραγματικό βαθμό απόδοσης.

### **Ύψος Πτώσης**

Η αύξηση του μέσου και μέγιστου ύψους πτώσης πρέπει να είναι σε αποδεκτά όρια και η νέα τιμή τουλάχιστον μικρότερη από το ονομαστικό ύψος πτώσης, για την αποφυγή κραδασμών στη λειτουργία των υδροστροβίλων. Συνεπώς, απαιτείται έλεγχος στη λειτουργία των στροβίλων για τις νέες μεγαλύτερες στάθμες. Παράλληλα, απαιτείται να ελεγχθεί η λειτουργία των αγωγών προσαγωγής για τα νέα μεγαλύτερα υδροστατικά φορτία και συγκεκριμένα η ικανότητας ασφαλούς παροχέτευσης νερού υπό νέα μεγαλύτερη πίεση στους υδροστρόβιλους.

### **Βαθμός απόδοσης**

Ο πραγματικός βαθμός απόδοσης ενός υδροστρόβιλου είναι μικρότερος από τον ονομαστικό. Ο συνολικός βαθμός απόδοσης είναι το γινόμενο των επί μέρους βαθμών απόδοσης του στροβίλου, της γεννήτριας και του μετασχηματιστή. Για σύγχρονες υδροηλεκτρικές μηχανές αυτός είναι περίπου 85%. Με την αύξηση του ωφέλιμου όγκου στον ταμιευτήρα μπορεί να αυξηθεί η διάρκεια λειτουργίας του ΥΗΣ και οι υδροστρόβιλοι να παράγουν ενέργεια για μεγαλύτερο εύρος στάθμεων. Μάλιστα για μεγαλύτερα ύψη παράγουν περισσότερη ενέργεια. Η βελτίωση της λειτουργίας του στροβίλου στις νέες συνθήκες έχει κατά κανόνα ως αποτέλεσμα τη βελτίωση του συνολικού βαθμού απόδοσης, πλησιάζοντας την ονομαστική τιμή.

Η βελτίωση της παραγωγικής ικανότητας ΥΗΣ λόγω εγκατάστασης συστήματος fusegates παρέχει πολλαπλά οικονομικά οφέλη στη λειτουργία του φράγματος και αποτελεί ένα από τα βασικά οφέλη που υπαγορεύουν την επιλογή τοποθέτησης ενός τέτοιου συστήματος. Λεπτομερείς πληροφορίες δίνονται παρακάτω, στο κεφάλαιο 3.9.

### 3.8 ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΚΑΙ ΠΛΗΘΥΣΜΟΙ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Παρατηρείται συχνά, στην περιοχή γύρω από ταμειυτήρες φραγμάτων το φαινόμενο να φτιάχνονται υποδομές, να εγκαθίστανται πληθυσμοί και να αναπτύσσονται ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως αγροτικές καλλιέργειες, αλιεία ή τουρισμός. Οι δραστηριότητες που αναπτύσσονται είναι συναφείς με τον εκάστοτε ταμειυτήρα και την παρουσία του φράγματος, όπως η ανάπτυξη του τουρισμού γύρω από τη λίμνη Πλαστήρα που συνδέεται άμεσα με το ιδιαίτερο φυσικό κάλλος της λίμνης στο φράγμα του Ταυρωπού.

Κατά κανόνα οι υποδομές και οι πληθυσμοί βρίσκονται στο πλημμυρικό πεδίο του ταμειυτήρα που κατακλύζεται σε πλημμυρικά γεγονότα από νερό, όταν αυτό υπερβαίνει την ΑΣΛ, πάνω από τη στέψη του υπερχειλιστή. Τέτοια γεγονότα προκαλούν καταστροφές, υλικές και έμψυχες κάποιες φορές, έχουν όμως παροδική διάρκεια και σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να μην παρατηρηθούν και ποτέ καθόλη τη διάρκεια ζωής του φράγματος.

Η εγκατάσταση συστήματος ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων σε υπερχειλιστή φράγματος, αυξάνει την ανώτατη και μέση στάθμη στον ταμειυτήρα μόνιμα. Αυξάνεται λοιπόν η πιθανότητα να κατακλυστούν υποδομές στην περιοχή γύρω από τις όχθες του ταμειυτήρα και να υπάρξει ανάγκη μετακίνησης πληθυσμών. Συνεπώς, πριν την τοποθέτηση συστήματος fusegates εξετάζεται αν και πόσο επηρεάζει η ανύψωση της στάθμης υποδομές και πληθυσμούς. Στη συνέχεια επιδιώκεται η συναίνεση των πληττόμενων και επηρεαζόμενων πληθυσμών με αντισταθμιστικά οφέλη και απαλλοτριώσεις. Λαμβάνεται υπόψιν τόσο το κοινωνικό κόστος από τη μεταβολή δραστηριοτήτων και τις μετακινήσεις όσο και το οικονομικό. Σε κάθε περίπτωση η σύμφωνη γνώμη των άμεσα ενδιαφερόμενων μερών είναι όχι μόνο επιθυμητή αλλά και απαραίτητη. Το όποιο κόστος ποσοτικοποιείται και συγκρίνεται με το όφελος από την εγκατάσταση συστήματος fusegates και κρίνεται η οικονομική βιωσιμότητα της επιλογής.

### 3.9 ΠΟΣΟΤΙΚΟ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ

Τελευταία παράμετρος που πρέπει να εξεταστεί είναι το ποσοτικό και οικονομικό όφελος από την εγκατάσταση του συστήματος ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων στον υπερχειλιστή φράγματος. Το όφελος συγκρίνεται με το κόστος της επένδυσης για την τελική τεχνικοοικονομική αξιολόγηση της επιλογής. Το επιχειρηματικό σχέδιο που καταρτίζεται καθορίζει αν η επένδυση είναι συμφέρουσα ή όχι.

## Ποσοτικό όφελος

Η τοποθέτηση του συστήματος fusegates αυξάνει τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα. Η υιοθέτηση της τεχνολογίας στο φράγμα του Καστρακίου, στον ποταμό Αχελώο (Αιτωλοακαρνανία) διπλασίασε τον ωφέλιμο όγκο (εικόνα 3.6). Το μέγεθος της αύξησης του συνολικού και ωφέλιμου όγκου καθορίζει τα επιμέρους οφέλη της επιλογής.

Ο προσδιορισμός του ποσοτικού οφέλους της εγκατάστασης fusegates περιλαμβάνει τον υπολογισμό της επιπλέον ποσότητας νερού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης. Σε έργα με διπλή σκοπιμότητα, αρδευτικά/υδρευτικά και υδροηλεκτρικά, η αναβάθμιση της λειτουργίας τους είναι σημαντική λόγω της αύξησης της ποσότητας νερού που μπορεί να διατεθεί για κάθε χρήση. Την ίδια ώρα σε φράγματα που λειτουργούν αποκλειστικά ως υδροηλεκτρικά, η αύξηση του όγκου μπορεί να επιτρέψει την κάλυψη και αρδευτικών/υδρευτικών αναγκών της περιοχής ή και όχι μόνο.



*Εικόνα 3.6 Ψηφιακή αναπαράσταση του συστήματος fusegates στη στέψη του υπερχειλιστή στο φράγμα Καστρακίου (πηγή: Ι.Π.Στεφανάκος)*

Παράλληλα κρίνεται σκόπιμο να διερευνηθεί η ικανότητα αποτελεσματικής διαχείρισης ακραίων πλημμυρικών γεγονότων κυρίως τους χειμερινούς μήνες που οι κατακρημνίσεις είναι μεγαλύτερες. Η αύξηση της αποθηκευτικότητας μπορεί να συγκρατήσει ποσότητες νερού που διαφορετικά θα παροχετεύονταν στα κατόντη, πλημμυρίζοντας περιοχές και προκαλώντας ενδεχομένως υλικές ζημιές.

Το σημαντικότερο όμως ποσοτικό όφελος προκύπτει από την αναβάθμιση της λειτουργίας των υδροστροβίλων σε ΥΗΣ. Ο καθορισμός του απαιτεί τον υπολογισμό του νέου μέσου και μέγιστου ύψους πτώσης, του νέου μέσου βαθμού απόδοσης των υδροστροβίλων, κατά συνέπεια και της μέγιστης ισχύος, και τον προσδιορισμό των νέων πρόσθετων λειτουργιών όπως η διόρθωση συχνότητας, η στρεφόμενη εφεδρεία, η

παραγωγή ενέργειας βάσης. Στην αναβάθμιση της λειτουργίας του ΥΗΣ συμπεριλαμβάνεται η αυξημένη διαθεσιμότητα του σταθμού και η αύξηση της παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας.

### **Οικονομικό όφελος**

Το οικονομικό όφελος προκύπτει από την οικονομική αποτίμηση του ποσοτικού οφέλους. Μπορούν να διακριθούν δύο βασικές κατηγορίες ως προς το οικονομικό όφελος, το όφελος από τη μείωση ή και αποφυγή πρόσθετων εξόδων και το όφελος από την αύξηση των εσόδων.

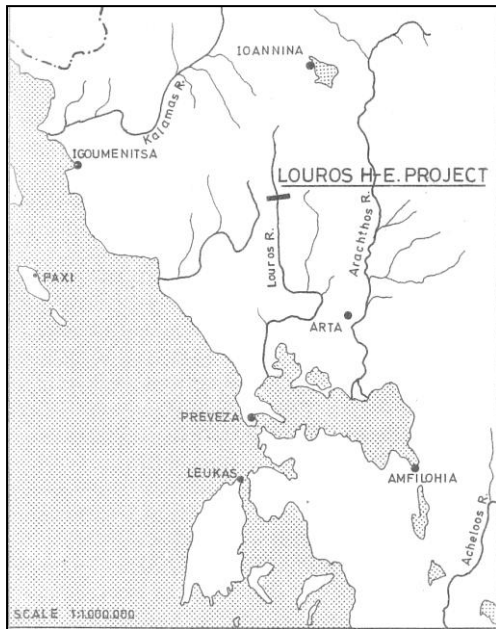
Μείωση εξόδων μπορεί να υπάρξει με την ανάσχεση πλημμυρών και την αποφυγή καταστροφών λόγω της αποθήκευσης πλημμυρικών όγκων στην περίσσεια του αποθηκευτικού χώρου. Ακόμα και η μείωση των προστίμων από την παραγωγή αερίων ρύπων από τις λιγνιτικές μονάδες, αφού μέρος της παραγωγής τους αντικατασταθίσταται από τα ΥΗΕ, μπορεί να συμβάλλει σε αυτήν την κατεύθυνση.

Η αύξηση των εσόδων προκύπτει από την εκμετάλλευση της περίσσειας του νερού για αρδευτικές/υδρευτικές ανάγκες και από την αύξηση της παραγόμενης υδροηλεκτρικής ενέργειας. Ο ΥΗΣ μπορεί να δουλεύει περισσότερες ώρες, με μεγαλύτερα ύψη πτώσης και φορτία και να έχει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης και συνεπώς να εκμεταλλεύεται μεγαλύτερο ποσοστό της εγκατεστημένης ισχύος. Με βάση τις τιμές του εμπορίου για παραγωγή αιχμής και βάσης και τις ώρες λειτουργίας υπολογίζεται το ετήσιο οικονομικό όφελος από την παραγωγή πρόσθετης υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Στη συνέχεια καταρτίζεται το επιχειρηματικό σχέδιο της προτεινόμενης επένδυσης. Με βάση το ετήσιο οικονομικό όφελος και κόστος (συντήρηση κλπ) και το επιτόκιο προεξόφλησης, αποπληθωρισμένο ή όχι, υπολογίζεται ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης και η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης. Λαμβάνοντας υπόψιν τη μεγάλη διάρκεια ζωής των φραγμάτων (100 – 150 χρόνια) προτείνεται η επένδυση να εξεταστεί για 20 έτη. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης και η καθαρή παρούσα αξία καθορίζουν αν η επένδυση είναι συμφέρουσα ή όχι.

## 4. ΣΥΣΤΗΜΑ FUSEGATES ΣΤΟΝ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ ΤΟΥ ΥΗΕ ΛΟΥΡΟΥ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ



**Εικόνα 4.1** Χάρτης της Ηπείρου που απεικονίζει τη θέση του ΥΗΕ Λούρου (πηγή: τεύχος σχεδίων έργου)

Το φράγμα του Λούρου βρίσκεται στον ομώνυμο ποταμό, στο νομό Πρέβεζας (Ηπειρος), κοντά στην πόλη της Φιλιππιάδας, περίπου 420 χιλιόμετρα από την Αθήνα (εικόνα 4.1). Είναι φράγμα βαρύτητας από σκυρόδεμα και κατασκευάστηκε από το 1951 μέχρι το 1954, από την ελληνογαλλική κοινοπραξία των εταιρειών Omnium Lyonnais και ΕΤΕΡ (εικόνα 4.2). Χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και είναι Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο (ΜΥΗΕ) ισχύος 10MW. Η λεκάνη απορροής στα ανάντη έχει επιφάνεια 319km<sup>2</sup> και ο ταμιευτήρας έχει μέγιστη επιφάνεια 0,15km<sup>2</sup> και χωρητικότητα 1.075.000m<sup>3</sup>. Εξαιτίας της παλαιότητας του έργου ελάχιστα σχέδια του φράγματος είναι διαθέσιμα ενώ δε διατίθενται

πληροφορίες για την ανάσχεση πλημμύρας και τα πλημμυρογραφήματα, παρά μόνο για την πλημμύρα σχεδιασμού του υπερχειλιστή (940m<sup>3</sup>/s) και τη μέση ετήσια εισροή στον ταμιευτήρα (19,30m<sup>3</sup>/s) (διάγραμμα 4.1, 4.2).

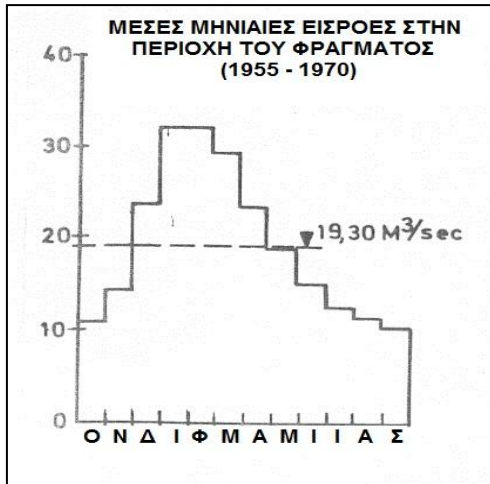
Ο άξονας του φράγματος είναι καμπύλος, με ακτίνα  $R = 46m$  και το υψόμετρο της στέψης είναι +100,50m. Παρά το καμπύλο σχήμα του άξονα, το φράγμα λειτουργεί αποκλειστικά ως φράγμα βαρύτητας και δε μεταβιβάζει φορτία στα αντερείσματα, όπως συμβαίνει στα τοξωτά φράγματα. Έχει μέγιστο ύψος 23m, μήκος 97m και όγκο 12.370m<sup>3</sup>. Το σώμα του φράγματος αποτελείται από πέντε μονόλιθους σκυροδέματος με ενδιάμεσους αρμούς συστολοδιαστολής, όπως δείχνεται στο σχήμα 4.1.



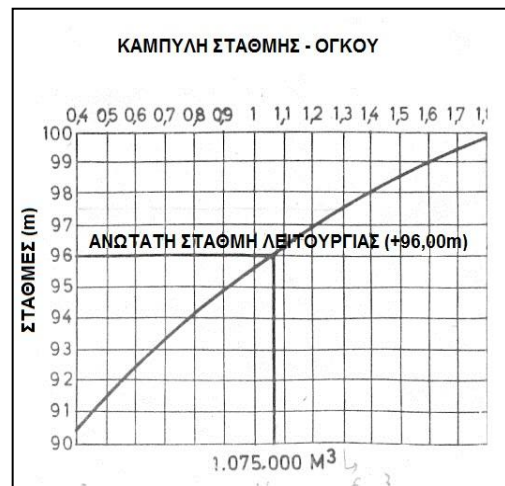
**Εικόνα 4.2** Το φράγμα του Λούρου

Ο υπερχειλιστής είναι ελεύθερος, μετωπικός με πλάτος 77m, τοποθετημένος πάνω στο φράγμα εγκάρσια στον άξονα του, καταλαμβάνοντας το μεγαλύτερο τμήμα του.

Καθοδηγητικοί τοίχοι αριστερά και δεξιά κατευθύνουν τη ροή προς τα κατόντη. Το υψόμετρο στέψης του υπερχειλιστή είναι +96,00m, που είναι και η Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας (ΑΣΛ) του ταμιευτήρα. Η Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας (ΑΣΠ) είναι +99,75m και αντιστοιχεί στην πλημμύρα σχεδιασμού ενώ η Κατώτατη Στάθμη Λειτουργίας (ΚΣΛ) είναι +92,00m.

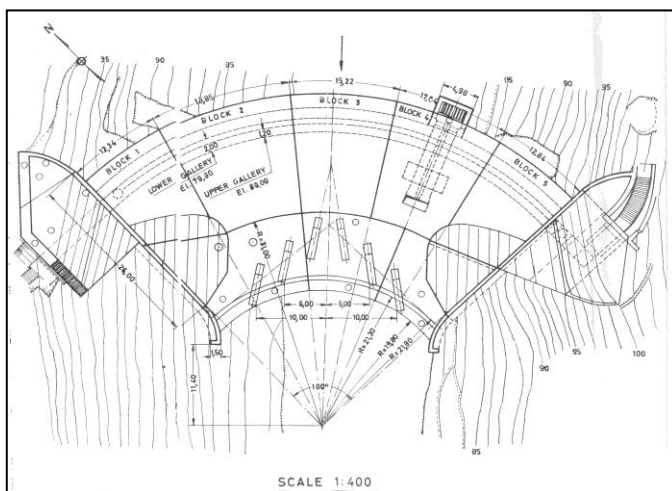


**Διάγραμμα 4.1** Μέσες μήνιες εισροές στον ταμιευτήρα του Λούρου (πηγή: τεύχος σχεδίων)



**Διάγραμμα 4.2** Καμπύλη στάθμης- όγκου του ταμιευτήρα Λούρου (πηγή: τεύχος σχεδίων)

Αμέσως κατόντη του υπερχειλιστή έχουν κατασκευαστεί έξι ορθογώνια blocks από ενισχυμένο σκυρόδεμα για την αποτόνωση της ενέργειας του νερού. Τα blocks είναι εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα για την εξασφάλιση έναντι ανατροπής λόγω της μεγάλης δύναμης του προσπίπτοντος νερού. Το νερό μετά την υπερχείλιση προσπίπτει στα blocks, ύψους 1,50m, δημιουργώντας τοπικά μικρό υδραυλικό άλμα. Η διάταξη των ορθογώνιων blocks δίνεται στο σχήμα 4.1.

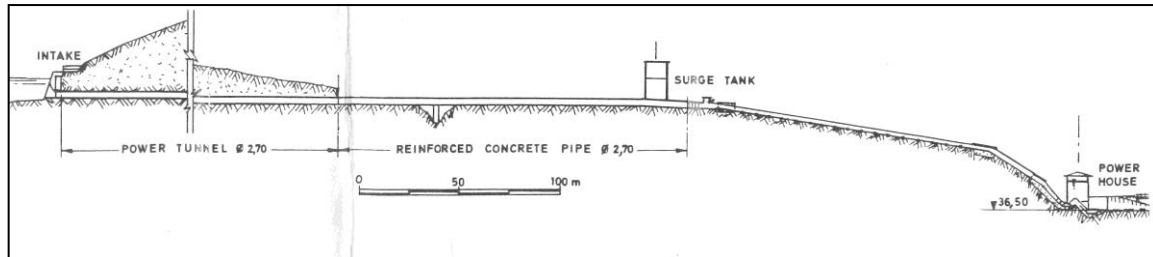


**Σχήμα 4.1** Κάτοψη φράγματος (πηγή: τεύχος σχεδίων)

Για τη διευκόλυνση της συντήρησης, τη ρύθμιση της παροχής προς τα κατόντη και την παροχέτευση των φερτών έχουν κατασκευαστεί δύο μεταλλικοί εκκενωτές πυθμένα, εγκιβωτισμένοι στο σώμα του φράγματος, με βαλβίδες κοίλης φλέβας που ανοιγοκλείνουν χειροκίνητα από την κατώτερη στοά πρόσβασης στο φράγμα (Δημόπουλος και Στεφανάκος, 2008). Στο αριστερό



αντέρεια έχει κατασκευαστεί μία υδροληψία από την οποία ξεκινάει αγωγός προσαγωγής μήκους περίπου 1800m που καταλήγει στον σταθμό παραγωγής (σχήμα 4.2). Ο σταθμός είναι εφοδιασμένος με τρεις υδροστρόβιλους οριζόντιου άξονα, τύπου Francis, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 10 MW, εκ των οποίων η επιχειρησιακά εκμεταλλεύσιμη ισχύς είναι 8,6 MW.

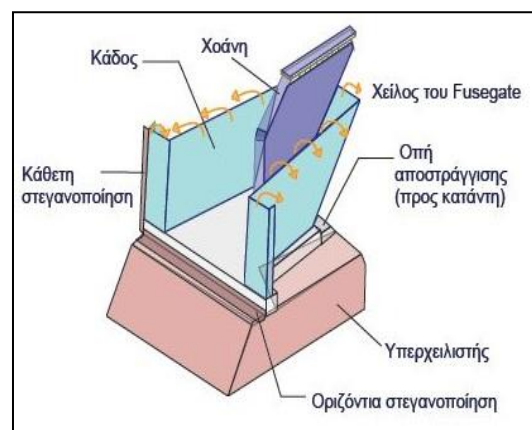


**Σχήμα 4.2** Μηκοτομή αγωγού προσαγωγής στο ΥΗΕ Λούρου (πηγή: τεύχος σχεδίων)

Στην περιοχή του έργου αναπτύσσονται εκτεταμένα φαινόμενα στερεομεταφοράς που ευθύνονται για την πλήρωση του ταμιευτήρα με φερτά και το μηδενισμό του ωφέλιμου όγκου. Οι εκκενωτές πυθμένα δεν αξιοποιήθηκαν ποτέ για την παροχέτευση των φερτών προς τα καπάνη και έχουν πλέον αχρηστευθεί. Εξαιτίας της πλήρωσης του ταμιευτήρα με φερτά λειτουργεί μόνο ένα μικρό τμήμα της υδροληψίας.

## 4.2 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ FUSEGATES

Προκειμένου να αντιμετωπιστεί ο εκμηδενισμός του ωφέλιμου όγκου και να εξασφαλιστεί η αποθηκευτική ικανότητα στο φράγμα του Λούρου προτείνεται να εγκατασταθεί σύστημα fusegates. Το σύστημα προτείνεται να αποτελείται από λαβυρινθοειδή fusegates ύψους 1,50m (εικόνα 4.3). Η επιλογή του ύψους γίνεται λαμβάνοντας υπόψιν το μέγιστο ύψος υπερχειλίστης που αντιστοιχεί στην Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας (ΑΣΠ) και είναι 3,75m. Η νέα Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας (ΑΣΛ) διαμορφώνεται στα +97,50m.



**Εικόνα 4.3** Ανατρεπόμενο θυρόφραγμα λαβυρινθοειδούς στέψης

Προτείνεται να τοποθετηθούν λαβυρινθοειδή στοιχεία fusegates ώστε να εξασφαλιστεί βελτιωμένη παροχετευτικότητα, δεδομένου ότι η λαβυρινθοειδής διάταξη αυξάνει το μήκος

υπερχειλίσης. Η επιλογή αυτή γίνεται υπό το πρίσμα της ελλιπούς γνώσης για την ανάσχεση πλημμύρας στο φράγμα του Λούρου.

Με βάση τις τυποποιημένες σχέσεις μήκους-ύψους για λαβυρινθοειδή fusegates (Kocahan, 2003) προσδιορίζεται το μήκος κάθε στοιχείου και συνεπώς ο συνολικός αριθμός θυροφραγμάτων που θα τοποθετηθούν στον υπερχειλιστή. Η στάθμη του νερού στα ανάντη μπορεί να φτάσει τουλάχιστον μέχρι 2,25m πάνω από τη στέψη των θυροφραγμάτων, αντιστοιχώντας στην αρχική ΑΣΠ του ταμιευτήρα και πριν την ανατροπή της τελευταίας ομάδας fusegates. Το ύψος αυτό αντιστοιχεί σε ποσοστό μεγαλύτερο από 70% του προτεινόμενου ύψους θυροφράγματος. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι πρέπει να τοποθετηθούν θυροφράγματα WHH (Wide High Head), μήκους 2,75m/στοιχείο. Για να καλυφθεί όλο το πλάτος του υπερχειλιστή (77m) απαιτούνται συνολικά 28 θυροφράγματα.

Οι στάθμες ανατροπής μπορούν να υπολογιστούν με προγράμματα πλημμυρικής διόδευσης και σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύσσεται στο κεφάλαιο 2.5 (Στοιχεία σχεδιασμού των fusegates). Όσον αφορά στο υλικό κατασκευής προτείνεται τα fusegates να είναι από χάλυβα και τα αντίβαρα αντιστάθμισης από σκυρόδεμα. Γνωρίζοντας τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά των προτεινόμενων θυροφραγμάτων, απαιτείται να εξεταστούν όλες οι παράμετροι λειτουργίας του φράγματος που αναμένεται να επηρεαστούν από την εγκατάσταση των fusegates και την συνεπακόλουθη αύξηση της ΑΣΛ.

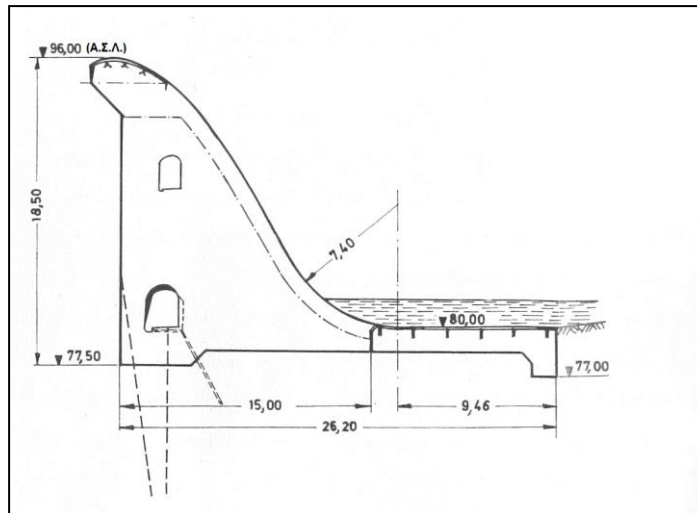
#### 4.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ

Το φράγμα του Λούρου έχει το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό ότι λειτουργεί πρακτικά ως υπερχειλιστής, δεδομένου ότι από τα 97m του συνολικού μήκους του, ο υπερχειλιστής καταλαμβάνει τα 77m (εικόνα 4.4). Ο υπερχειλιστής έχει κατασκευαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παροχετεύει την πλημμύρα σχεδιασμού στα κατάντη χωρίς αποκόλληση της ροής από το στερεό όριο (Δημόπουλος, Στεφανάκος, 2008). Η μορφή και τα χαρακτηριστικά του υπερχειλιστή (ogee crest), η ανάντη κατάκρηφη παρειά και η διαμόρφωση της κατάντη κλίσης εξασφαλίζουν μεγάλο συντε-



Εικόνα 4.4 Ο υπερχειλιστής του Λούρου σε λειτουργία

λεστή παροχетеυτικότητα  $C_d$  (σχήμα 4.3). Για την εγκατάσταση του συστήματος των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων, απαιτείται να εξετασθεί η υδραυλική λειτουργία του υπερχειλιστή και η μεταβολή του συντελεστή παροχетеυτικότητα μετά την εγκατάσταση των fusegates.



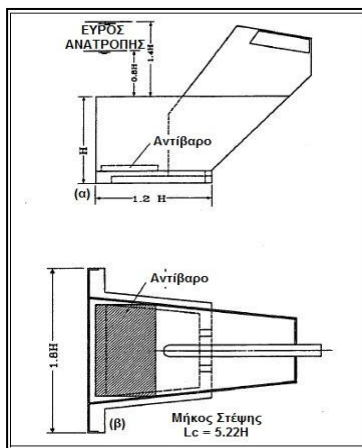
**Σχήμα 4.3** Τυπική διατομή φράγματος - υπερχειλιστή στο ΥΗΕ  
Λούρου (πηγή: τεύχος σχεδίων)

### Συντελεστής Παροχетеυτικότητα

Από τις διαθέσιμες πληροφορίες η πλημμύρα σχεδιασμού είναι  $940 \text{ m}^3/\text{s}$ , η στέψη του υπερχειλιστή (αντιστοιχεί στην ΑΣΛ) είναι στα  $+96,00\text{m}$  και το μέγιστο ύψος υπερχείλισης είναι  $3,75\text{m}$  (αντιστοιχεί στην ΑΣΠ =  $+99,75\text{m}$ ). Από τον τύπο για τον υπολογισμό της παροχής σχεδιασμού σε υπερχειλιστή, προκύπτει με το συγκεκριμένο ύψος και τη συγκεκριμένη παροχή σχεδιασμού συντελεστής παροχетеυτικότητα  $C_d = 1,68$ . Η τιμή αυτή υποεκτιμά σημαντικά τα χαρακτηριστικά παροχетеυτικότητα του υπερχειλιστή στο Λούρο για τους λόγους που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο. Μετά από δοκιμές για διάφορα φορτία σχεδιασμού και συντελεστές παροχетеυτικότητα, προέκυψε ότι με συντελεστή παροχетеυτικότητα  $C_d = 2,18$ , τιμή αντιπροσωπευτική των χαρακτηριστικών του υπερχειλιστή, το φορτίο σχεδιασμού είναι  $3,15\text{m}$  για τη μέγιστη παροχή των  $940 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Με εφαρμογή των κριτηρίων σχεδιασμού του USBR επαληθεύεται ότι ο υπερχειλιστής έχει μελετηθεί και διαστασιολογηθεί με φορτίο σχεδιασμού  $3,75\text{m}$ , αντί για  $3,15\text{m}$  όπως θα έπρεπε. Αυτή η αμέλεια δε δημιουργεί κάποιο πρόβλημα στο έργο, αντίθετα λειτουργεί υπέρ της ασφάλειας, δεδομένου ότι με συντελεστή παροχетеυτικότητα  $C_d = 2,18$  και φορτίο σχεδιασμού  $H_d = 3,75\text{m}$  ο υπερχειλιστής μπορεί να παροχетеύσει πλημμύρα μεγαλύτερη κατά 30% περίπου από την αρχικά δεδομένη.

Η παροχετευτικότητα του υπερχειλιστή μεταβάλλεται μετά την τοποθέτηση των fusegates. Η επιλογή της λαβυρινθοειδούς στέψης αναμένεται να βελτιώσει την παροχετευτικότητα του υπερχειλιστή, μεταφέροντας μεγαλύτερη παροχή στα κατάντη για το ίδιο φορτίο. Το μήκος στέψης για στοιχείο fusegate Wide High Head (WHH), όπως δίνεται από τις τυποποιημένες διαστάσεις στο σχήμα 4.4, είναι  $L_c = 5,22H$ , όπου  $H$  το ύψος του θυροφράγματος, δηλαδή περίπου 7,85m για την περίπτωση του Λούρου. Το συνολικό μήκος στέψης μετά την τοποθέτηση των 28 θυροφραγμάτων θα είναι 219m, σχεδόν τριπλάσιο από την αρχική στέψη (77m) του υπερχειλιστή.



**Σχήμα 4.4** Διαστάσεις  
λαβυρινθοειδούς fusegate WHH

Από το ίδιο σχήμα προκύπτει ότι το πλάτος στοιχείου fusegate είναι  $b = 1,2H$ . Με αυτήν τη διαστασιολόγηση τα θυροφράγματα που θα τοποθετηθούν στον υπερχειλιστή του Λούρου πρέπει να έχουν πλάτος  $b = 1,8m$ . Στη στέψη του υπερχειλιστή δεν υπάρχει οριζόντιο επίπεδο τέτοιου πλάτους. Ωστόσο, με εργασίες μικρής κλίμακας μπορεί να διαμορφωθεί κατάλληλα το δάπεδο ή διαφορετικά να τοποθετηθούν τα θυροφράγματα πάνω στο ogee με κατάλληλες εσοχές ανάντη και κατάντη. Η μικρή καμπυλότητα του άξονα του φράγματος δεν αναμένεται να δημιουργήσει κάποιο πρόβλημα στην τοποθέτηση των θυροφραγμάτων.

Ο συντελεστής παροχετευτικότητας των fusegates, υπολογιζόμενος από τις σχέσεις του Rouse (1960), όπως προτείνουν οι Falvey και Treille (1995), είναι  $C_d = 1,90$  για στάθμη πάνω από τη στέψη του θυροφράγματος  $h = 0,15m$  ( $h/H = 0,1$ ). Ο συντελεστής αυτός αντιστοιχεί σε συνθήκες οριακής υπερχειλίσης με όλα τα θυροφράγματα στη θέση τους. Για στάθμη  $h = 1,65m$  (στάθμη 3,15m στον ελεύθερο υπερχειλιστή) ο συντελεστής παροχετευτικότητας  $C_d$  είναι 0,92 ενώ για στάθμη  $h = 2,25m$  (στάθμη 3,75m στον ελεύθερο υπερχειλιστή, ύψος σχεδιασμού) είναι 0,84. Με την άνοδο της στάθμης παρατηρείται μείωση του συντελεστή παροχετευτικότητας, όπως αναμένεται εξάλλου. Ο συντελεστής  $C_d = 1,90$  είναι μικρότερος από το  $C_d$  του ελεύθερου υπερχειλιστή, όμως το μεγάλο μήκος στέψης των θυροφραγμάτων βελτιώνει την παροχετευτικότητα. Ενδεικτικά στη στάθμη  $h = 1,65m = 1,1H$ , η παροχετευτικότητα είναι  $427 \text{ m}^3/\text{s}$  έναντι παροχετευτικότητας  $356 \text{ m}^3/\text{s}$  στην περίπτωση του ελεύθερου υπερχειλιστή.

### Παροχέτευση πλημμυρών

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα οι διαθέσιμες πληροφορίες για την υδρολογική μελέτη και την ανάλυση πλημμύρας στο φράγμα του Λούρου είναι περιορισμένες. Η παροχέτευση των πλημμυρών προς τα κατάντη από τον υπερχειλιστή με εγκατεστημένο

σύστημα ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων μπορεί να εξεταστεί σε τρεις φάσεις. Η πρώτη φάση είναι η υπερχειλίση με όλα τα θυροφράγματα στη θέση τους με στάθμη από την στέψη των θυροφραγμάτων μέχρι τη στάθμη ανατροπής της πρώτης ομάδας fusegates. Η δεύτερη είναι η υπερχειλίση μετά την ανατροπή της πρώτης ομάδας και μέχρι πριν την ανατροπή της τελευταίας και η τρίτη είναι η λειτουργία του υπερχειλιστή μετά την ανατροπή όλων των θυροφραγμάτων.

Η ανατροπή των λαβυρινθοειδών θυροφραγμάτων WHH γίνεται μεταξύ των στάθμων που αντιστοιχούν κατά προσέγγιση στο 70% και το 140% του ύψους τους πάνω από τη στέψη. Στο Λούρο οι στάθμες αυτές είναι 1,05m (υψόμετρο +98,55m) και 2,10m (υψόμετρο +99,60m) πάνω από τη στέψη των θυροφραγμάτων. Η πρώτη ομάδα θυροφραγμάτων συνήθως σχεδιάζεται να ανατρέπεται στην πλημμύρα με περίοδο επαναφοράς 100 χρόνια. Αυτή όμως δεν είναι γνωστή για το φράγμα του Λούρου, όπως δεν είναι γνωστή η περίοδος επαναφοράς που αντιστοιχεί στην πλημμύρα σχεδιασμού του υπερχειλιστή. Λαμβάνοντας υπόψιν τα κριτήρια σχεδιασμού υπερχειλιστή σε μικρό φράγμα μεσαίας διακινδύνευσης και την περίοδο επαναφοράς σε υπάρχοντα έργα, θεωρείται με μία εκτίμηση υπέρ της ασφάλειας του φράγματος ότι η πλημμύρα σχεδιασμού έχει περίοδο επαναφοράς  $T = 2000$  χρόνια. Με αυτήν την περίοδο επαναφοράς μπορεί να εκτιμηθεί η πλημμύρα των 50 και των 100 χρόνων, με χρήση του εμπειρικού τύπου σύμφωνα με τον οποίο ο λόγος των λογαρίθμων των περιόδων επαναφοράς δύο πλημμυρών ισούται με το λόγο των αντίστοιχων πλημμυρικών αιχμών. Με βάση τον τύπο η πλημμύρα των 50 ετών έχει αιχμή περίπου  $484\text{m}^3/\text{s}$  και η πλημμύρα των 100 χρόνων περίπου  $570\text{m}^3/\text{s}$  (πίνακας 4.1).

<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>T (y)</b>	<b>lnT</b>
940,00	2000	7,6009025
569,52	100	4,6051702
483,80	50	3,912023

*Πίνακας 4.1 Πλημμυρικές αιχμές 50 και 100 ετών – προσδιορισμός με χρήση του εμπειρικού τύπου  $Q_1/Q_2 = \ln T_1/\ln T_2$*

Στην πρώτη φάση υπερχειλίσης η στάθμη εκροής είναι σταθερά 1,50m πάνω από την αντίστοιχη στάθμη στον ελεύθερο υπερχειλιστή. Εξαιτίας της λαβυρινθοειδούς στέψης που

εξασφαλίζει μεγαλύτερο μήκος παροχέτευσης προς τα κατάντη, η εκροή αυξάνεται μετά την τοποθέτηση των fusegates, βελτιώνοντας τα χαρακτηριστικά παροχетеυτικότητας του υπερχειλιστή. Η λειτουργία του υπερχειλιστή διατηρείται σταθερή μέχρι την ανατροπή της πρώτης ομάδας.

Συνήθως επιλέγεται ως στάθμη ανατροπής για την πρώτη ομάδα θυροφραγμάτων αυτή που αντιστοιχεί στην πλημμύρα με περίοδο επαναφοράς  $T = 100$  χρόνια. Για τον υπερχειλιστή του Λούρου προτείνεται η πρώτη ομάδα να ανατρέπεται στην πλημμύρα των 50 χρόνων, που αντιστοιχεί περίπου στο 50% της πλημμύρας σχεδιασμού. Η στάθμη του ταμιευτήρα για την παροχή αυτή είναι στα +99,35m, 1,85m πάνω από τη στέψη των θυροφραγμάτων. Η πρώτη ομάδα επιλέγεται να αποτελείται από δύο θυροφράγματα προκειμένου να αποφευχθεί η απότομη αύξηση της εκροής προς τα κατάντη.

Τα υπόλοιπα θυροφράγματα επιλέγεται να ανατρέπονται ανά 5cm ανόδου της στάθμης σε ομάδες των τεσσάρων με εξαίρεση τη δεύτερη ομάδα που προτείνεται να αποτελείται από δύο στοιχεία, όπως και η πρώτη για τους ίδιους λόγους. Προβλέπονται συνολικά οκτώ (8) βαθμίδες ανατροπής για να εξασφαλιστεί η βαθμιαία μεταβολή της εκροής των πλημμυρικών γεγονότων. Στους πίνακες 4.2, 4.3 παρατίθεται η διαδικασία ανατροπής των θυροφραγμάτων και η μεταβολή της εκροής.

<b>Ομάδες Ανατροπής</b>	<b>Θυροφράγματα που ανατρέπονται</b>	<b>Στάθμη Ταμιευτήρα (m)</b>
1	1,2	99,35
2	3,4	99,40
3	5,6,7,8	99,45
4	9,10,11,12	99,50
5	13,14,15,16	99,55
6	17,18,19,20	99,60
7	21,22,23,24	99,65
8	25,26,27,28	99,70

**Πίνακας 4.2** Διαδικασία ανατροπής των fusegates στον υπερχειλιστή του Λούρου

Στη φάση της υπερχειλίσης μετά την ανατροπή της πρώτης ομάδας ανατρέπονται τόσες ομάδες όσες χρειάζεται για να παροχετευθεί η πλημμυρική εισροή, για παροχές μεταξύ 489m<sup>3</sup>/s και 1111m<sup>3</sup>/s. Η τελευταία ομάδα ανατρέπεται όταν η παροχή φτάσει και ξεπεράσει τα 1111m<sup>3</sup>/s, που αντιστοιχεί σε στάθμη +99,70m, 2,20m πάνω από τη στέψη των θυροφραγμάτων. Μετά την ανατροπή της τελευταίας ομάδας η λειτουργία του υπερχειλιστή αναμένεται να είναι ίδια με την αρχική, πριν την τοποθέτηση των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων. Η παροχή σχεδιασμού του υπερχειλιστή (940m<sup>3</sup>/s) περνάει μετά την ανατροπή των 20 από τα συνολικά 28 fusegates που προτείνεται να τοποθετηθούν, μεταξύ των στάθμεων +99,60m και +99,65m. Όλες οι πλημμύρες με αιχμή μικρότερη των 489m<sup>3</sup>/s, που είναι πρακτικά ίση με την πλημμύρα των 50 ετών (484m<sup>3</sup>/s), παροχετεύονται με όλα τα θυροφράγματα στη θέση τους και το νερό απλώς υπερχειλίζει χωρίς να υπάρχει ανατροπή.

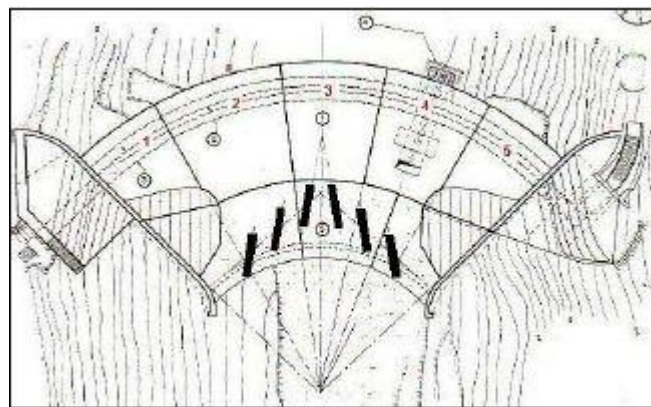
<b>Ομάδες Ανατροπής</b>	<b>Στάθμη Ταμιευτήρα (m)</b>	<b>Εκροή χωρίς fusegates (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Εκροή με fusegates (m<sup>3</sup>/s)</b>
Όλα τα θυροφράγματα στη θέση τους	99,35	1029,23	489,48
1	99,35	1029,23	527,90
2	99,40	1052,36	544,76
3	99,45	1075,66	601,11
4	99,50	1099,13	698,41
5	99,55	1122,77	797,80
6	99,60	1146,57	899,29
7	99,65	1170,54	1002,92
8	99,70	1194,68	1110,93

*Πίνακας 4.3 Διαδικασία ανατροπής των fusegates και μεταβολή της εκροής*

## Συμπεράσματα

Η εκροή του υπερχειλιστή είναι μεγαλύτερη στις μικρές πλημμύρες ( $<489\text{m}^3/\text{s}$ ) μετά την εγκατάσταση του συστήματος fusegates με τη στάθμη του ταμιευτήρα να παραμένει σταθερά 1,50m (όσο και το προτεινόμενο ύψος των θυροφραγμάτων) πάνω από την αντίστοιχη στάθμη στην περίπτωση του ελεύθερου υπερχειλιστή. Η απόκριση του υπερχειλιστή με fusegates στις ενδιάμεσες και μεγάλες πλημμύρες ( $>489\text{m}^3/\text{s}$ ) είναι χειρότερη από αυτή του ελεύθερου υπερχειλιστή. Αυτό δε δημιουργεί προβλήματα στο βαθμό που η παροχή σχεδιασμού ( $940\text{m}^3/\text{s}$ ) περνάει σε στάθμη χαμηλότερη (μεταξύ +99,60m και +99,65m) από την ονομαστική ΑΣΠ του ταμιευτήρα. Υπενθυμίζεται ότι το ύψος σχεδιασμού του υπερχειλιστή είναι 3,75m αντί για 3,15m, που είναι το υδραυλικό φορτίο που αντιστοιχεί στην παροχή σχεδιασμού για συντελεστή παροχетеυτικότητας 2,18. Η επιλογή αυτή παρέχει τη δυνατότητα παροχέτευσης πλημμυρών μεγαλύτερων κατά τριάντα τοις εκατό (30%) περίπου από την πλημμύρα σχεδιασμού.

Η υδραυλική λειτουργία του υπερχειλιστή αναμένεται να είναι μέσα στα προβλεπόμενα από το σχεδιασμό όρια. Πρόβλημα θα δημιουργηθεί ενδεχομένως στην απρόσκοπτη απομάκρυνση των fusegates μετά την ανατροπή τους εξαιτίας των έξι blocks σκυροδέματος που υπάρχουν κατόντη του υπερχειλιστή (σχήμα 4.5). Ωστόσο, η φλέβα του νερού στη φάση της υπερχειλίσης έχει από τη στιγμή της ανατροπής της πρώτης ομάδας fusegates βάθος ροής μεγαλύτερο από 1,80m και μεγάλη ταχύτητα ενώ το ύψος των blocks είναι 1,50m. Συνεπώς αναμένεται τα ανατραπέντα θυροφράγματα να παρασύρονται με τη ροή περνώντας πάνω από τα blocks.



**Σχήμα 4.5** Κάτοψη του φράγματος. Διακρίνεται η θέση των έξι blocks σκυροδέματος



#### 4.4 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ – ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Η διερεύνηση ευστάθειας σε φράγμα βαρύτητας, όπως αναφέρεται στα κεφάλαια 3.3 και 3.4 απαιτεί τον έλεγχο σε ολίσθηση και σε ανατροπή για συνήθεις συνθήκες λειτουργίας με στάθμη ταμιευτήρα στην ΑΣΛ με και χωρίς σεισμική καταπόνηση και για συνθήκες υπερχειλίσης πριν την ανατροπή των θυροφραγμάτων χωρίς σεισμική καταπόνηση. Εξαιτίας της ιδιομορφίας της διάταξης του υπερχειλιστή που συμπίπτει με τη διατομή του φράγματος στο μεγαλύτερο τμήμα του ο έλεγχος ευστάθειας του φράγματος καλύπτει τον έλεγχο ευστάθειας του υπερχειλιστή. Ο έλεγχος θα γίνει στον κεντρικό μονόλιθο του οποίου η τυπική διατομή είναι αυτή που δίνεται στα φυλλάδια του έργου, με ύψος 18,50m (σχήμα 4.3).

##### Φορτία στο φράγμα

Τα φορτία που καταπονούν το φράγμα στη θέση αυτή είναι:

1. Ίδιον βάρος φράγματος.

Το φράγμα είναι από σκυρόδεμα. Το ίδιο βάρος της διατομής υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$W_{dam} = A_{dam} \cdot dL_{dam} \cdot \gamma_c$$

Όπου  $A_{dam}$  το εμβαδόν της διατομής

$dL_{dam}$  το στοιχειώδες μήκος του φράγματος

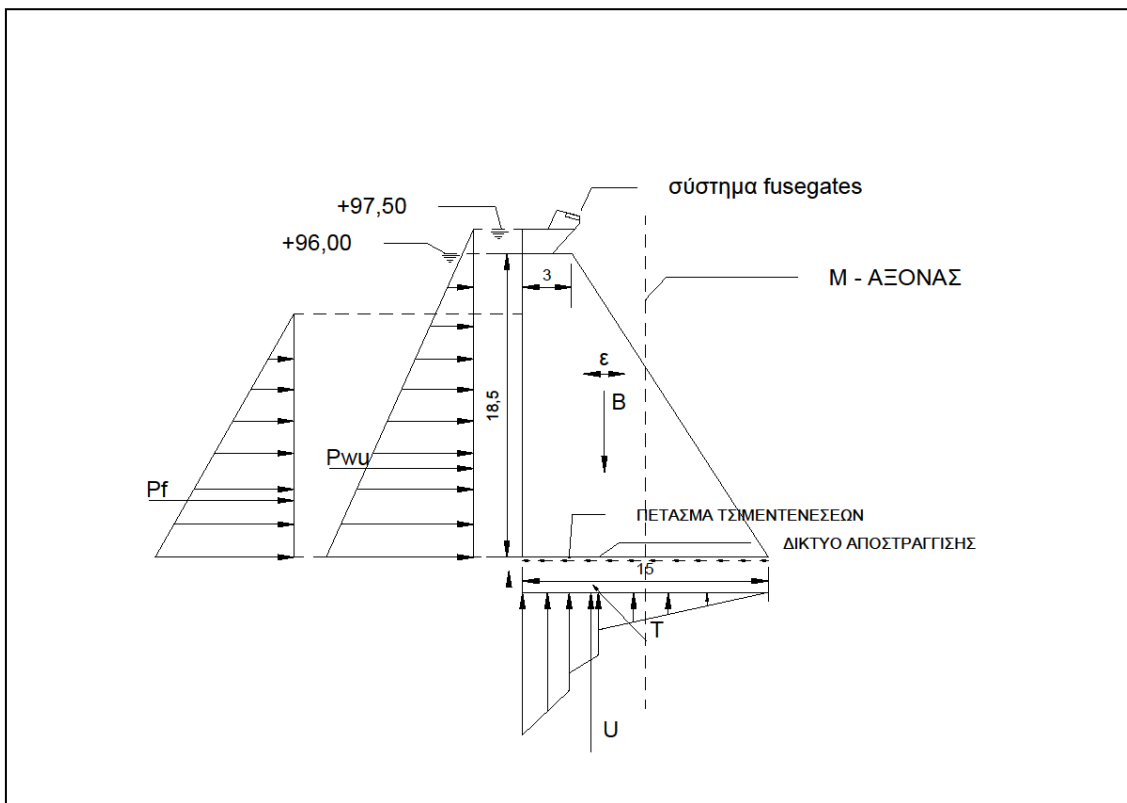
$\gamma_c$  το μοναδιαίο βάρος του σκυροδέματος. Συνήθως είναι  $24 \text{ kN/m}^3$ , τιμή που λαμβάνεται και για το φράγμα του Λούρου. Θεωρείται ισοδύναμη τραπεζοειδής διατομή (σχήμα 4.6) και προσδιορίζεται το εμβαδόν της που είναι ίσο με  $166,50 \text{ m}^2$ . Το βάρος της διατομής για στοιχειώδες μήκος 1m είναι  $W_{dam} = 4000 \text{ kN}$ , με μοχλοβραχίονα 2,50m.

2. Οριζόντιες υδροστατικές πιέσεις ανάντη και κατάντη του φράγματος

Οι υδροστατικές πιέσεις που αναπτύσσονται στην ανάντη πλευρά του φράγματος είναι μέγιστες όταν η στάθμη στον ταμιευτήρα είναι στην ΑΣΛ για τις συνήθεις συνθήκες λειτουργίας και στην ΑΣΠ για τις σπάνιες συνθήκες λειτουργίας. Ασκούνται σε όλη την ανάντη παρειά μέχρι το ύψος της στάθμης του νερού, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.6. Συμπεριλαμβάνεται το τμήμα του φράγματος που βρίσκεται εντός της θεμελίωσης. Για στάθμη ταμιευτήρα στη νέα ΑΣΛ (+97,50m) οι υδροστατικές πιέσεις στη στάθμη της θεμελίωσης θα είναι 200kPa και το συνολικό υδροστατικό φορτίο 2000kN με

μοχλοβραχίονα 5,77m. Σε συνθήκες υπερχειλίσης, για στάθμη ταμιευτήρα στη στάθμη ανατροπής της πρώτης ομάδας θυροφραγμάτων, στα +99,35m, οι υδροστατικές πιέσεις στη στάθμη της θεμελίωσης θα είναι 218,5kPa και το συνολικό υδροστατικό φορτίο 2387kN με μοχλοβραχίονα 6,38m.

Οι κατάντη υδροστατικές πιέσεις οφείλονται πρωτευόντως στο νερό που διοχετεύεται στα κατάντη από τους αγωγούς προσαγωγής και το σύστημα υπερχειλίσης και δευτερευόντως στις διαφυγές μέσα από το σώμα του φράγματος (πρακτικά μηδενικές λόγω σκυροδέματος) και κάτω από τη θεμελίωση. Στον έλεγχο ευστάθειας για τις συνήθεις φορτίσεις (στάθμη ταμιευτήρα στην ΑΣΛ) λαμβάνονται μηδενικές οι κατάντη υδροστατικές πιέσεις, δημιουργώντας δυσμενέστερες συνθήκες φόρτισης για το φράγμα.



**Σχήμα 4.6** Ισοδύναμη τραπεζοειδής διατομή του φράγματος στο ΥΗΕ Λούρου. Θεωρείται για τον ευχερέστερο υπολογισμό του βάρους. Στο σχήμα φαίνονται τα φορτία που καταπονούν το φράγμα.

Στη φάση της υπερχειλίσης λαμβάνονται κατάντη υδροστατικές πιέσεις ίσες με 20kN και μοχλοβραχίονα 2,17m. Οι πιέσεις προκύπτουν για βάθος νερού 2m στον πόδα του υπερχειλιστή, που αντιστοιχεί σε ταχύτητα ροής 7m/s για την παροχή των 489,5m<sup>3</sup>/s (παροχή ανατροπής της πρώτης ομάδας θυροφραγμάτων). Η ροή στον πόδα είναι υπερκρίσιμη με κρίσιμο βάθος 2,72m και αμέσως κατάντη, στη λεκάνη ηρεμίας

πραγματοποιείται το υδραυλικό άλμα. Συνεπώς, η παραδοχή της ταχύτητας ροής των 7m/s λίγο πριν το υδραυλικό άλμα είναι εύλογη.

### 3. Κατακόρυφα υδροστατικά φορτία ανάντη και κατάντη του φράγματος

Τα κατακόρυφα υδροστατικά φορτία οφείλονται στην παρουσία νερού ανάντη και κατάντη του φράγματος, όπως στην περίπτωση των οριζόντιων υδροστατικών πιέσεων. Στο φράγμα του Λούρου, λόγω σχήματος διατομής το ανάντη κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο είναι μηδενικό ενώ το κατάντη είναι πρακτικά πολύ μικρό και αμελείται προς το δυσμενέστερο για τις συνήθεις φορτίσεις. Σε συνθήκες υπερχειλίσης το κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο είναι 13,30kN με μοχλοβραχίονα 7,06m.

### 4. Υδροστατικές πιέσεις στη θεμελίωση

Κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης φράγματος υπάρχουν διαφυγές νερού από τα ανάντη προς τα κατάντη. Εξαιτίας του νερού αναπτύσσονται πιέσεις στη θεμελίωση που ενισχύουν τις ροπές ανατροπής του φράγματος. Για την αντιμετώπιση των διαφυγών και την απομείωση των πιέσεων έχουν κατασκευαστεί στο φράγμα του Λούρου πέτασμα τσιμεντενέσεων στεγανοποίησης και οπές αποστράγγισης. Η διαπερατότητα της βραχώμαζας κάτω από τη θεμελίωση επηρεάζει καθοριστικά τις αναπτυσσόμενες πιέσεις και εξαρτάται από τα συστήματα ασυνεχειών και τα χαρακτηριστικά τους.

Στην ανάντη πλευρά της θεμελίωσης οι πιέσεις του νερού λαμβάνονται ίσες με τις υδροστατικές πιέσεις λόγω του νερού στον ταμιευτήρα, θεωρώντας ότι τμήμα της ζώνης του πετρώματος γύρω από τη θεμελίωση έχει χαλαρώσει. Στην κατάντη πλευρά της θεμελίωσης οι πιέσεις νερού λαμβάνονται ίσες με τις υδροστατικές πιέσεις λόγω του νερού στα κατάντη του φράγματος. Στη θέση του πετάσματος τσιμεντενέσεων λαμβάνεται απομείωση των πιέσεων ίση με 30%. Ανάλογες απομειώσεις λαμβάνονται και στις θέσεις των οπών αποστράγγισης. Το συνολικό υδροστατικό φορτίο στη θεμελίωση θα είναι 1020kN με μοχλοβραχίονα 3,60m για στάθμη +97,50m στον ταμιευτήρα και 1127kN με μοχλοβραχίονα 3,54m για στάθμη +99,35m.

### 5. Ωθήσεις φερτών υλικών στην ανάντη πλευρά του φράγματος

Με τη ροή του νερού μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες φερτών υλικών, που αποτίθενται κατά κύριο λόγο στον πυθμένα του φράγματος, καταλαμβάνοντας το νεκρό όγκο. Στο φράγμα του Λούρου υπάρχει σοβαρό πρόβλημα από τη συγκράτηση των φερτών δεδομένου ότι ο ταμιευτήρας έχει πληρωθεί κατά 80% περίπου. Εξαιτίας των φερτών

ασκούνται στην ανάντη πλευρά σημαντικές ωθήσεις, οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψιν στον έλεγχο ευστάθειας του φράγματος.

Τα φερτά είναι συνήθως λεπτόκοκκα υλικά, ιλιές και χάλικες που προέρχονται από αποσαθρωμένες βραχομάζες με ειδικά βάρη εύρους από 14 μέχρι 24 kN/m<sup>3</sup>. Με παραδοχή, λαμβάνεται ως μέσο ειδικό βάρος των φερτών η τιμή 19kN/m<sup>3</sup>. Με θεώρηση γωνίας τριβής των φερτών ίση με 30° λαμβάνεται συντελεστής ωθήσεων K=0,50. Οι ωθήσεις θεωρείται ότι ασκούνται στο 80% του ύψους του φράγματος, έχουν τριγωνική κατανομή και είναι μηδενικές στο ύψος της επιφάνειας της μάζας των φερτών. Με τις παραπάνω παραδοχές οι ωθήσεις των φερτών στη στάθμη της θεμελίωσης είναι 281kPa και το συνολικό φορτίο είναι 493kN με μοχλοβραχίονα 4,03m.

## 6. Τάσεις στη θεμελίωση

Στη στάθμη θεμελίωσης αναπτύσσονται τριβές μεταξύ του φράγματος και του πετρώματος θεμελίωσης εμποδίζοντας την ολίσθηση του φράγματος. Οι τριβές που αναπτύσσονται εξαρτώνται από το μέγεθος του συνολικού φορτίου κάθετα στην επιφάνεια θεμελίωσης και από το συντελεστή τριβής μεταξύ σκυροδέματος και του πετρώματος θεμελίωσης.

Το φράγμα έχει θεμελιωθεί σε ασβεστόλιθο. Οι παράμετροι αντοχής του ασβεστόλιθου εκτιμώνται με τις εξής παραδοχές:

- Αντοχή αδιατάρακτου πετρώματος : 45 MPa,
- Δείκτης  $m_i$  για ασβεστόλιθους:  $10 \pm 5$ . Για το Λούρο λαμβάνεται  $m_i = 8$ ,
- GSI : 50 για πέτρωμα που χαρακτηρίζεται ως «blocky» και κατάσταση επιφανειών ασυνεχειών «fair»,
- Δείκτης  $D = 0.1$ , για ελάχιστη διατάραξη του πετρώματος.

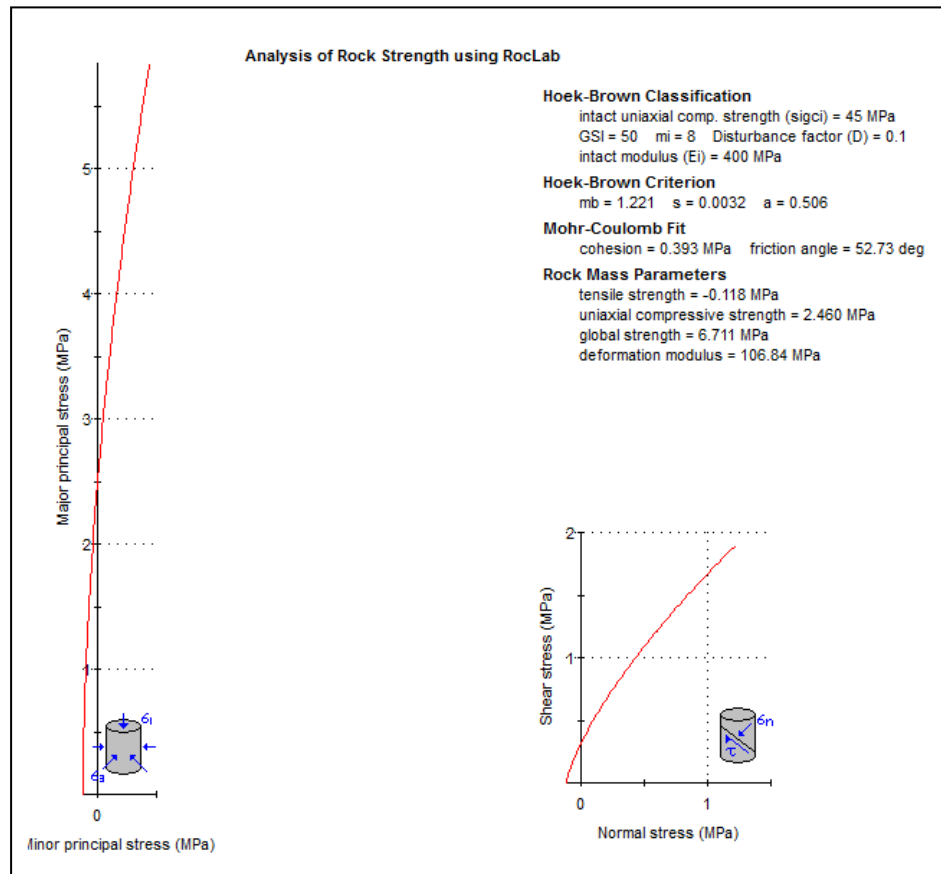
Από τις παραπάνω παραδοχές για  $\sigma_{3max} = 0,44\text{MPa}$ , υπολογίζονται με χρήση του λογισμικού ROCLAB (διάγραμμα 4.3) οι τιμές των παραμέτρων αντοχής  $\phi$  και  $c$ , βάσει του κριτηρίου αστοχίας Hoek-Brown:

γωνία εσωτερικής τριβής  $\phi = 52,73^\circ$  και συνοχή  $c = 0,393\text{MPa}$ .

Εφελκυστική αντοχή : -118KPa, μονοαξονική θλιπτική αντοχή : 2460KPa και θλιπτική αντοχή βραχομάζας : 6711KPa.

Η τιμή της  $\sigma_{3max} = 0,44 \text{ MPa}$  προκύπτει για γραμμικά ελαστικό υλικό θεμελίωσης, ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων, ύψος υπερκείμενων υλικών 18,50m και μοναδιαίο βάρος υλικών 24kN/m<sup>3</sup> (σκυρόδεμα).

Ο συντελεστής τριβής σκυροδέματος - ασβεστολίθου ισούται με την εφαπτομένη της γωνίας εσωτερικής τριβής και είναι 1,31. Οι τάσεις στη θεμελίωση για μηδενική αδρανή περιοχή θα είναι 976kPa και η συνολική δύναμη 14640kN.



**Διάγραμμα 4.3** Υπολογισμός των παραμέτρων αντοχής  $\phi$ ,  $c$  και των τάσεων στη βραχώμαζα με χρήση του λογισμικού ROCLAB.

## 7. Σεισμική καταπόνηση

Σύμφωνα με το Νέο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό και τη θέση του έργου, το φράγμα του Λούρου εντάσσεται στη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας III και η σεισμική επιτάχυνση εδάφους είναι 0,24g. Λόγω της παλαιότητας του φράγματος η οριζόντια επιτάχυνση λαμβάνεται για τους ελέγχους με την τιμή αυτή ενώ η κατακόρυφη λαμβάνεται ίση με το 1/3 της οριζόντιας, στα 0,08g.

Στη μελέτη της σεισμικής καταπόνησης γίνεται ψευδοστατική θεώρηση των φορτίων. Η οριζόντια και η κατακόρυφη σεισμική δράση έχουν σημείο εφαρμογής το κέντρο βάρους της διατομής και ισούνται με  $S = W \cdot \epsilon$ , όπου  $W$  το βάρος της διατομής και  $\epsilon$  η σεισμική

επιτάχυνση. Μελετώνται τέσσερις συνδυασμοί σεισμικής καταπόνησης για όλες τις δυνατές διευθύνσεις της σεισμικής επιτάχυνσης.

### Έλεγχος σε ολίσθηση

Ο έλεγχος σε ολίσθηση προσδιορίζει το συντελεστή ασφαλείας έναντι ολίσθησης, ο οποίος σε φράγματα βαρύτητας πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 3 για συνήθεις φορτίσεις και από 1,5 για ακραίες και σπάνιες φορτίσεις. Ο συντελεστής ασφαλείας ισούται με το πηλίκο της συνισταμένης οριζόντιας δύναμης που αντιστέκεται στην ολίσθηση προς τη συνισταμένη οριζόντια δύναμη που τείνει προς την ολίσθηση. Οι δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση είναι η δύναμη τριβής και η δύναμη συνοχής.

### Έλεγχος σε ανατροπή

Ο έλεγχος σε ανατροπή προσδιορίζει τις τάσεις που αναπτύσσονται στο φράγμα και τη θεμελίωσή του με τον αυστηρό περιορισμό να παραμένουν πάντα θλιπτικές για τις συνήθεις φορτίσεις. Για τις ακραίες και σπάνιες φορτίσεις προσδιορίζει το τμήμα του φράγματος και της θεμελίωσης όπου αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις ή και εφελκυστικές ρωγμές. Οι εφελκυστικές ρωγμές μειώνουν το ενεργό τμήμα του φράγματος που μπορεί να παραλάβει ροπές και συμβάλλει στην ευστάθεια έναντι ολίσθησης.

Στον έλεγχο έναντι ανατροπής είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των ροπών σταθεροποίησης και ανατροπής. Οι ροπές λαμβάνονται ως προς το σημείο τομής του κατακόρυφου άξονα που διέρχεται από το μέσον της θεμελίωσης του φράγματος με τη στάθμη θεμελίωσης.

Οι τάσεις στην ανάντη και κατάντη πλευρά του φράγματος δίνονται από τη σχέση:

$$\sigma = \Sigma P_{\text{κατ}}/L \pm 6 \cdot \Sigma M/L^2$$

όπου  $P_{\text{κατ}}$  οι κατακόρυφες δυνάμεις

$M$  οι ροπές

$L$  το πλάτος της θεμελίωσης

Η σεισμική καταπόνηση λαμβάνεται θετική προς τα κατάντη και προς τα κάτω. Θετικές θεωρούνται οι δεξιόστροφες ροπές και οι θλιπτικές τάσεις.

Οι τάσεις πρέπει να παραμένουν θλιπτικές σε ολόκληρη τη διατομή και στην επιφάνεια θεμελίωσης και ο συντελεστής ασφαλείας των μέγιστων θλιπτικών τάσεων πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 3 για τις συνήθεις συνθήκες φόρτισης. Για τις ακραίες και σπάνιες φορτίσεις επιτρέπεται σε περιορισμένο τμήμα της θεμελίωσης η ανάπτυξη εφελκυστικών

τάσεων και ο συντελεστής ασφαλείας των μέγιστων θλιπτικών τάσεων πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 2.

### **Ανάλυση ευστάθειας - αποτελέσματα**

Οι έλεγχοι ευστάθειας πραγματοποιούνται στην τυπική διατομή του κεντρικού μονόλιθου του φράγματος όπως δίνεται στα φυλλάδια του έργου, με τη χρήση του λογισμικού EXCEL και θεωρώντας ισοδύναμη τραπεζοειδή διατομή (σχήμα 4.6). Με τους ελέγχους έναντι ανατροπής και ολίσθησης προσδιορίζονται οι τάσεις στα άκρα της θεμελίωσης και οι συντελεστές ασφαλείας έναντι ολίσθησης και των μέγιστων θλιπτικών τάσεων. Η διερεύνηση γίνεται για τρεις συνδυασμούς φορτίσεων, σύμφωνα με τη μεθοδολογία για τα φράγματα βαρύτητας (Απαιτούμενοι έλεγχοι, κεφάλαιο 3.4):

1. Στάθμη νερού στη νέα ΑΣΛ (+97,50) με την εγκατάσταση των fusegates, κενή λεκάνη ηρεμίας (Περίπτωση I)
2. Η περίπτωση (1) με σεισμική καταπόνηση (Περίπτωση IV). Η διερεύνηση γίνεται για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς σεισμικών επιταχύνσεων.
3. Στάθμη νερού σε συνθήκες υπερχειλίσης τη στιγμή πριν την ανατροπή της πρώτης ομάδας θυροφραγμάτων, νερό στη λεκάνη ηρεμίας. (Περίπτωση III)

Οι έλεγχοι ευστάθειας και τα αποτελέσματα παρατίθενται αναλυτικά στο παράρτημα Π1.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα προκύπτει για κάθε συνδυασμό φορτίσεων ότι:

Περίπτωση φόρτισης I: Υπό συνήθεις συνθήκες λειτουργίας, οι τάσεις στο σκυρόδεμα και στο επίπεδο θεμελίωσης είναι παντού θλιπτικές. Στο ανάντη άκρο της θεμελίωσης οι τάσεις είναι 6,0kPa και στο κατόντη άκρο 390,5kPa. Ο συντελεστής ασφαλείας των μέγιστων θλιπτικών τάσεων είναι 17,19, σημαντικά μεγαλύτερος του ελάχιστου απαιτούμενου 3. Ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης είναι 5,87, αρκετά μεγαλύτερος του 3. Συνεπώς ικανοποιούνται και τα τρία κριτήρια ευστάθειας.

Περίπτωση φόρτισης IV: Υπό σεισμική καταπόνηση οι τάσεις στο σκυρόδεμα και στο επίπεδο θεμελίωσης μεταβάλλονται από εφελκυστικές σε θλιπτικές στο ανάντη άκρο, ενώ στο κατόντη παραμένουν πάντα θλιπτικές. Στο ανάντη άκρο κυμαίνονται μεταξύ -128,7 και 148,7kPa και στο κατόντη μεταξύ 213,2 και 567,8kPa. Οι εφελκυστικές τάσεις στο ανάντη άκρο γίνονται αποδεκτές επειδή εμφανίζονται παλινδρομικά με την παλινδρόμηση της σεισμικής καταπόνησης και ο έλεγχος γίνεται με μειωμένο το ενεργό μήκος θεμελίωσης, που κυμαίνεται από 11,84m μέχρι 12,23m. Ο συντελεστής ασφαλείας των μέγιστων

θλιπτικών τάσεων κυμαίνεται από 11,82 μέχρι 31,48, σημαντικά μεγαλύτερος του ελάχιστου απαιτούμενου 2. Ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης κυμαίνεται μεταξύ 3,35 και 9,54, επίσης μεγαλύτερος του ελάχιστου απαιτούμενου 2. Συνεπώς και στην περίπτωση IV καλύπτονται τα τρία κριτήρια ευστάθειας.

Περίπτωση φόρτισης III: Στις συνθήκες υπερχειλίσης για στάθμη +99,35m, οι τάσεις στο ανάντη άκρο είναι εφελκυστικές (-104,4kPa) και στο κατόντη θλιπτικές (490,6kPa). Οι εφελκυστικές τάσεις είναι αποδεκτές και ο έλεγχος γίνεται στο ενεργό μήκος θεμελίωσης (12,35m). Ο συντελεστής ασφαλείας των μέγιστων θλιπτικών τάσεων είναι 10,04 και ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ολίσθησης είναι 4,21. Οι συντελεστές ασφαλείας είναι μειωμένοι σε σχέση με τις συνήθεις συνθήκες λειτουργίας αλλά παραμένουν σημαντικά μεγαλύτεροι από τους ελάχιστους απαιτούμενους. Πληρούνται όλα τα απαιτούμενα κριτήρια ευστάθειας.

Από τους ελέγχους ευστάθειας συμπεραίνεται ότι η ανύψωση κατά 1,50m της στάθμης με την εγκατάσταση του προτεινόμενου συστήματος fusegates, δεν αναμένεται να δημιουργήσει προβλήματα ευστάθειας στο φράγμα και τον υπερχειλιστή του Λούρου, είτε για συνήθεις είτε για ακραίες και σπάνιες συνθήκες λειτουργίας. Όλοι οι συντελεστές ασφαλείας παραμένουν αρκετά μεγαλύτεροι από τους ελάχιστους απαιτούμενους.

#### 4.5 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Η τοποθέτηση ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων στον υπερχειλιστή του Λούρου απαιτεί την εξέταση της ευστάθειας των πρανών του ταμιευτήρα (εικόνα 4.5) για τη νέα Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας (+97,50m). Απαιτείται η διερεύνηση για πιθανή ύπαρξη κύκλων ολίσθησης που να κατακλύζονται από τον ταμιευτήρα στις νέες συνθήκες λειτουργίας, φαινόμενα χαλάρωσης της βραχώμαζας στα πρανή και μελέτη του ιστορικού κατολισθήσεων στην περιοχή.



*Εικόνα 4.5 Φωτογραφία από τα πρανή του ταμιευτήρα. Κυριαρχούν οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί*

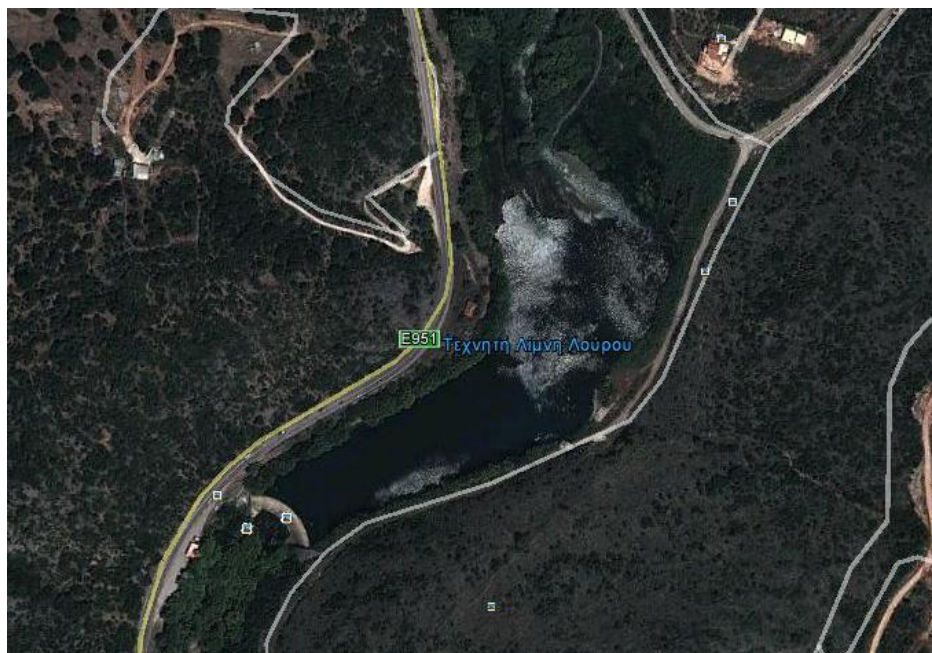


Στη θέση του ταμιευτήρα κυριαρχούν οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί. Οι ασβεστόλιθοι της περιοχής είναι καλής ποιότητας, σχετικά αδιατάρακτοι με μεγάλη γωνία τριβής και σύστημα ασυνεχειών σε ικανοποιητική κατάσταση. Οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής επιτρέπουν με σχετική ασφάλεια το συμπέρασμα ότι η ευστάθεια των πρανών δεν αναμένεται να επηρεαστεί από την ανύψωση της στάθμης.

#### 4.6 ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΚΑΙ ΠΛΗΘΥΣΜΟΙ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Ο ταμιευτήρας του Λούρου είναι πολύ μικρός. Έχει όγκο  $1.075.000\text{m}^3$  και επιφάνεια στην Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας (+96,00m)  $0,15\text{km}^2$ . Με την εγκατάσταση του προτεινόμενου συστήματος ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων η ΑΣΛ θα ανεβεί 1,50m και ο νέος όγκος του ταμιευτήρα θα είναι  $1.300.000\text{m}^3$ . Εξαιτίας της μικρής επιφάνειας δεν έχει αναπτυχθεί αξιόλογη ανθρώπινη δραστηριότητα στον ταμιευτήρα.

Κοντά στις όχθες του ταμιευτήρα δεν υπάρχουν εγκατεστημένοι πληθυσμοί σε ικανή απόσταση ούτε αξιόλογες υποδομές, παρά μόνο οδικό άξονες. Παράλληλα στην αριστερή όχθη έχει χαραχτεί μικρή τοπική οδός που καταλήγει στο γειτονικό οικισμό του Αγίου Γεωργίου, ενώ παράλληλα από τη δεξιά όχθη διέρχεται η εθνική οδός Άρτας – Ιωαννίνων (εικόνα 4.6). Στο ανάντη άκρο του ταμιευτήρα υπάρχουν περιορισμένες καλλιεργήσιμες εκτάσεις, οι οποίες καταλαμβάνουν το πλημμυρικό πεδίο.



Εικόνα 4.6 Οριζοντιογραφία της περιοχής του ταμιευτήρα του Λούρου (πηγή: googleearth)

Από την οριζοντιογραφία της περιοχής συμπεραίνεται εύκολα ότι η ανύψωση της στάθμης του ταμιευτήρα κατά 1,50m δεν επηρεάζει σημαντικά ανθρώπινες δραστηριότητες ούτε την εθνική ή την τοπική οδό. Συνεπώς δεν αναμένεται να υπάρξει αντίδραση από τους κατοίκους του γειτονικού οικισμού ή κάποια αρνητική μεταβολή σε δραστηριότητες, υποδομές και πληθυσμούς.

#### 4.7 ΠΟΣΟΤΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ

Η εγκατάσταση συστήματος fusegates στον υπερχειλιστή του φράγματος στο Λούρο αναμένεται να δημιουργήσει πολλαπλά οφέλη στη λειτουργία του έργου.

##### **Χωρητικότητα ταμιευτήρα**

Η ανύψωση κατά 1,50m της ανώτατης στάθμης αυξάνει τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα κατά 225.000m<sup>3</sup> περίπου, ποσοστό 61% του αρχικού ωφέλιμου όγκου. Η νέα χωρητικότητα του ταμιευτήρα αναμένεται να ανέλθει στα 1.300.000m<sup>3</sup>. Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι ο ταμιευτήρας έχει πληρωθεί με φερτά και ότι λειτουργεί μικρό μόνο τμήμα της υδροληψίας, η αύξηση της χωρητικότητας είναι πολύ σημαντική. Ουσιαστικά γίνεται διαθέσιμη ποσότητα νερού που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο τμήμα του αρχικού ωφέλιμου όγκου. Η αύξηση της χωρητικότητας μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του έργου μέχρι 30 χρόνια, θεωρώντας μάλιστα ότι τα φερτά που φτάνουν στον ταμιευτήρα δεν απομακρύνονται.

##### **Παροχетеυτικότητα υπερχειλιστή**

Η εγκατάσταση λαβυρινθοειδών fusegates αυξάνει το μήκος στέψης του υπερχειλιστή και εξαιτίας αυτού βελτιώνει την παροχетеυτικότητα του. Πρακτικά αυτό που συμβαίνει είναι ότι για το ίδιο φορτίο παροχетеύονται μεγαλύτερες ποσότητες νερού στον υπερχειλιστή με fusegates απ' ότi χωρίς ή διαφορετικά, η ίδια παροχή περνάει με μικρότερο υδραυλικό φορτίο σ' έναν υπερχειλιστή με fusegates απ' ότi σε έναν ελεύθερο.

Η βελτίωση της παροχетеυτικότητας ισχύει για τις μικρές πλημμύρες, πριν την ανατροπή της πρώτης ομάδας των θυροφραγμάτων (αιχμή πλημμύρας μικρότερη από 489m<sup>3</sup>/s). Χαρακτηριστικά για φορτίο H = 1m η παροχή με fusegates είναι 230m<sup>3</sup>/s ενώ χωρίς είναι 168m<sup>3</sup>/s, 30% μικρότερη. Για το φορτίο που αντιστοιχεί στη στάθμη ανατροπής της πρώτης ομάδας θυροφραγμάτων (H = 1,85m) η παροχή του υπερχειλιστή με fusegates είναι 489m<sup>3</sup>/s και του ελεύθερου 422m<sup>3</sup>/s.

Στις μεσαίες και μεγάλες πλημμύρες, οπότε το φορτίο μεγαλώνει σημαντικά και ο συντελεστής παροχетеυτικότητας των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων μειώνεται, η

παροχεταιυτικότητα σταδιακά ακολουθεί την ίδια πορεία. Το σύστημα των fusegates σε συνδυασμό με τη διαδικασία ανατροπής επιτρέπει την παροχέτευση της πλημμύρας σχεδιασμού ( $940\text{m}^3/\text{s}$ ) πριν την ανατροπή όλων των θυροφραγμάτων και κάτω από την Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας. Υπενθυμίζεται η ιδιαιτερότητα του φράγματος στο Λούρο, όπου η πλημμύρα σχεδιασμού και τα χαρακτηριστικά παροχεταιυτικότητας του υπερχειλιστή ( $Cd=2,18$ ) δίνουν διαφορετικό φορτίο σχεδιασμού ( $3,15\text{m}$ ) από αυτό για το οποίο τελικά σχεδιάστηκε ο υπερχειλιστής ( $3,75\text{m}$ ) και δίνεται ονομαστικά στα φυλλάδια του έργου.

### Παραγωγή Ενέργειας

Η ανύψωση της στάθμης στον ταμιευτήρα αυξάνει το καθαρό ύψος πτώσης των υδροστροβίλων. Η μέση αύξηση του ύψους πτώσης για αποκλειστική χρήση παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι ίση με τη μέγιστη, που αντιστοιχεί στη διαφορά της στάθμης, ήτοι  $1,50\text{m}$ . Η μέση ετήσια εισροή νερού στον ταμιευτήρα είναι  $610.000.000\text{m}^3$  (μέση παροχή  $19,30\text{m}^3/\text{s}$ ) και η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι  $58,8\text{GWh}$  ή  $58.800.000\text{kWh}$ . Η άνοδος της στάθμης επιτρέπει την αύξηση της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας κατά  $\Delta E = (V \times \Delta H \times \eta) / 367 = 2.150.000 \text{ kWh}$  για μέσο βαθμό απόδοσης των στροβίλων  $\eta = 0,86$  και πλήρη εκμετάλλευση της αύξησης του ύψους πτώσης.



*Εικόνα 4.7 Το φράγμα λειτουργεί συνεχώς σε συνθήκες υπερχείλισης, χωρίς δυνατότητα αποθήκευσης*

Η πλήρωση του ταμιευτήρα με φερτά και ο εκμηδενισμός της χωρητικότητας επιτρέπουν μέχρι τώρα τη λειτουργία του ΥΗΕ αποκλειστικά ως run of river, με στιγμιαία εκμετάλλευση της παροχής προς τα κατάντη χωρίς τη δυνατότητα αποθήκευσης (εικόνα 4.7). Η τοποθέτηση των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων θα επαναπροσδώσει στο φράγμα αποθηκευτική ικανότητα όγκου  $225.000\text{m}^3$ , επιτρέποντας τη συμβατική λειτουργία του σταθμού και τη ρύθμιση

της παραγωγής. Πλέον δίνεται εκ νέου η δυνατότητα αποθήκευσης και παραγωγής ενέργειας είτε βάσης είτε αιχμής. Τα  $225.000\text{m}^3$  νερού είναι συνεχώς διαθέσιμα για την παραγωγή ενέργειας και μπορούν να τροφοδοτούν συνεχόμενα τον ΥΗΣ για χρονικό διάστημα τριών ωρών.

Η θέση του σταθμού παραγωγής (εικόνα 4.8, σχήμα 4.7) μακριά από το φράγμα, επιτρέπει τη λειτουργία του σε συνθήκες υπερχειλίσης, για σχετικά μικρά φορτία υπερχειλίσης και σίγουρα πριν την ανατροπή των θυροφραγμάτων. Η δυνατότητα αυτή αυξάνει το ποσοστό της εκμεταλλεόμενης ισχύος, αυξάνοντας στιγμιαία το ύψος πτώσης των υδροστροβίλων. Η αύξηση αυτή δεν αναμένεται να δημιουργήσει κραδασμούς ή άλλα προβλήματα στη λειτουργία των υδροστροβίλων.



*Εικόνα 4.8 Το εσωτερικό του σταθμού παραγωγής. Διακρίνονται οι τρεις υδροστροβίλοι τύπου Francis*



*Σχήμα 4.7 Οριζοντιογραφία του έργου. Διακρίνεται στο νοτιοανατολικό άκρο του έργου η θέση του σταθμού παραγωγής (power house).*

## Υδρευση – Άρδευση

Η ανάκτηση της αποθηκευτικής ικανότητας στον ταμιευτήρα μετά την εγκατάσταση των fusegates και μάλιστα σε ποσότητες κοντά στον αρχικό ωφέλιμο όγκο, επιτρέπει τη χρήση του νερού για ύδρευση και άρδευση, παράλληλα με την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Στη γύρω περιοχή υπάρχουν αρκετοί οικισμοί, ενώ πολύ κοντά είναι η πόλη της

Φιλιππιάδας. Το νερό του Λούρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ύδρευση του γειτονικού οικισμού, του Αγίου Γεωργίου ενώ τους θερινούς μήνες που η ζήτηση είναι αυξημένη, μπορεί χρησιμοποιηθεί ως περίσσεια για να καλύψει τις ανάγκες της Φιλιππιάδας

Υπάρχουν δύο επιλογές για την αξιοποίηση του νερού για ύδρευση/άρδευση. Η πρώτη είναι να χρησιμοποιείται ανεξάρτητα μέρος του νερού και ο υπόλοιπος να διατίθεται για την παραγωγή ενέργειας. Η δεύτερη επιλογή είναι να συλλέγεται νερό σε δεξαμενή μετά τον ΥΗΣ όπως συμβαίνει στο φράγμα του Ταυρωπού (λίμνη Πλαστήρα) και στη συνέχεια να διατίθεται για υδρευτικές/αρδευτικές ανάγκες. Η επιλογή αυτή επιτρέπει την αξιοποίηση σημαντικά μεγαλύτερου μέρους του όγκου, χωρίς να μειώνεται παράλληλα ο όγκος του νερού που διατίθεται για την παραγωγή ενέργειας.

### **Άλλες χρήσεις**

Η ανάγκη για αύξηση της παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας έχει οδηγήσει στην αναζήτηση λύσεων για τη βελτίωση της διεύθυνσης της αιολικής ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα και τη συνδυασμένη λειτουργία μεταξύ των διάφορων μορφών ΑΠΕ με στόχο τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγής. Μία σημαντική πρόταση είναι η κατασκευή αναστρέψιμων ΥΗΕ ή αντλητικών συγκροτημάτων σε ταμειυτήρες φραγμάτων εν σειρά και η λειτουργία της άντλησης-ταμίευσης-παραγωγής σε κύκλο. Η λειτουργία της άντλησης τροφοδοτείται από αιολικές εγκαταστάσεις.

Στο Λούρο μπορεί να διερευνηθεί η δυνατότητα κατασκευής νέου φράγματος στα ανάντη και η εγκατάσταση συστήματος αναστρέψιμης λειτουργίας. Σε ένα τέτοιο σύστημα ο υπάρχων ταμειυτήρας του Λούρου, μετά την εγκατάσταση των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων και την ανάκτηση της αποθηκευτικής ικανότητας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ο “κάτω” ταμειυτήρας.

## **4.8 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ**

Για την αποτίμηση του οικονομικού οφέλους από την εγκατάσταση συστήματος fusegates απαιτείται να καταρτιστεί το επιχειρηματικό σχέδιο της επένδυσης. Πριν την κατάρτιση του επιχειρηματικού σχεδίου χρειάζεται να προσδιοριστούν μία σειρά από παράμετροι όπως το χρονικό διάστημα αξιολόγησης, το επιτόκιο προεξόφλησης, το κόστος της επένδυσης, το ποσοστό και τα έτη απόσβεσης της επένδυσης, τα έσοδα και τα λειτουργικά έξοδα. Όλα τα μεγέθη είναι ετήσια.

## Παράμετροι επιχειρηματικού σχεδίου

Οι επενδύσεις σε Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (ΜΥΗΕ) συνηθίζεται να αξιολογούνται για χρονικό διάστημα 20 με 30 ετών. Από την εκτίμηση του ποσοστού αύξησης του ωφέλιμου όγκου και τη στερεοπαροχή του Λούρου, η τοποθέτηση των θυροφραγμάτων αναμένεται να αυξήσει τη διάρκεια ζωής του ΥΗΕ Λούρου τουλάχιστον κατά 30 έτη. Η επένδυση επιλέγεται να αξιολογηθεί για 20 και όχι για 30 χρόνια λαμβάνοντας υπόψιν την αδυναμία ασφαλούς πρόβλεψης των οικονομικών μεγεθών σε βάθος χρόνου. Το επιτόκιο προεξόφλησης λαμβάνεται αποπληθωρισμένο και ίσο με 5%, όσο το πραγματικό επιτόκιο προεξόφλησης που προτείνει το Υπουργείο Εσωτερικών για ΜΥΗΕ.

Ο υπολογισμός του κόστους επένδυσης προϋποθέτει τον προσδιορισμό του κόστους για κάθε θυρόφραγμα ξεχωριστά. Με βάση τις τιμές της αγοράς λαμβάνεται ως εκτίμηση μία τιμή 6000€/m<sup>2</sup> επιφάνειας. Κάθε στοιχείο fusegate που θα τοποθετηθεί έχει μήκος στέψης 7,85m και ύψος 1,50m. Για κάθε μονάδα υπολογίζεται ότι το κόστος είναι 70.650€. Έχοντας προβλέψει την τοποθέτηση 28 ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων, το συνολικό κόστος της επένδυσης υπολογίζεται στα 2.000.000€ περίπου. Θεωρείται ότι τα χρήματα αυτά προέρχονται αποκλειστικά από ίδια κεφάλαια και κατατίθενται εξ ολοκλήρου το χρόνο «0» της επένδυσης.

Η απόσβεση του κεφαλαίου θα γίνει σε 25 χρόνια και το ετήσιο ποσοστό θα είναι 4%, όσο και το μέγιστο ποσοστό απόσβεσης για ηλεκτρομηχανολογικό και λοιπό εξοπλισμό σε ΜΥΗΕ, όπως ορίζεται από το φορολογικό σύστημα. Η επιλογή αυτή γίνεται στο βαθμό που τα ανατρεπόμενα θυροφράγματα έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, πολλώ δε μάλλον που είναι πολύ πιθανό να μην ανατραπούν ποτέ κατά το διάστημα λειτουργίας του φράγματος. Η απόσβεση είναι η λογιστική διαπίστωση της απώλειας αξίας του κεφαλαίου κάθε χρόνο και συνιστά πάγια πρακτική στο φορολογικό σύστημα, αφαιρούμενη από τα μικτά κέρδη. Πρόκειται για χρηματικό ποσό που δε λαμβάνεται υπόψιν στη φορολόγηση.

Τα έσοδα αφορούν στην παραγωγή ενέργειας και στην ύδρευση. Θεωρείται ότι διατίθεται ολόκληρος ο επιπλέον ωφέλιμος όγκος των 225.000m<sup>3</sup> για την παραγωγή ενέργειας και τμήμα αυτού στην ύδρευση. Με τα δεδομένα αυτά παράγονται επιπλέον 2.150.000kWh υδροηλεκτρικής ενέργειας ετησίως με αξία 0,09€/kWh. Για την ύδρευση διατίθεται όγκος ικανός να καλύψει τις ανάγκες υδροδότησης πόλης 5.000 κατοίκων, περίπου ο μισός πληθυσμός της Φιλιππιάδας με παραδοχή μέσης ημερήσιας κατανάλωσης 140L/άτομο. Διατίθενται ετησίως 258.000m<sup>3</sup> νερού με τιμή πώλησης 0,10€/m<sup>3</sup>, τιμή αντίστοιχη του βασικού τιμολόγιου της Δημόσιας Επιχείρησης Ύδρευσης Αρδευσης Πρέβεζας (ΔΕΥΑΠ) για τα δημοτικά διαμερίσματα. Τα έσοδα από την παραγωγή ενέργειας και την ύδρευση είναι περίπου 220.000€/έτος.

Τα λειτουργικά έξοδα περιορίζονται στο κόστος συντήρησης των θυροφραγμάτων, που είναι ούτως ή άλλως πολύ μικρό και λαμβάνεται ίσο με το 1% της ετήσιας απόσβεσης. Το κόστος συντήρησης αφορά στην επιθεώρηση των θυροφραγμάτων και στην αποκατάσταση ζημιών, όπως το φράξιμο της χοάνης και η αστοχία των σφραγιστικών ελαστικών στεγανοποίησης ή των τάκων αντιστήριξης.

### **Ταμειακές ροές**

Μετά τον προσδιορισμό των απαραίτητων παραμέτρων καταρτίζεται ο πίνακας των ταμειακών ροών για 20 έτη, όσο το χρονικό διάστημα που επιλέχθηκε για την αξιολόγηση του επενδυτικού σχεδίου. Αρχικά, τοποθετείται στο χρόνο «0» το κεφάλαιο επένδυσης. Έτος «0» λαμβάνεται το 2012.

Στη συνέχεια, για κάθε έτος λειτουργίας από το 1<sup>ο</sup> (2013) μέχρι το 20<sup>ο</sup> (2032), υπολογίζονται τα έσοδα και τα έξοδα. Από τη διαφορά τους προκύπτουν τα μικτά κέρδη και μετά την αφαίρεση της ετήσιας απόσβεσης (4% επί του επενδεδυμένου κεφαλαίου) καθορίζεται το φορολογητέο εισόδημα. Ο φορολογικός συντελεστής για τις Ανώνυμες Εταιρείες είναι 0,20 επί των κερδών. Για την παρούσα επένδυση ο ετήσιος φόρος είναι 40.000€. Αφαιρώντας το φόρο από το φορολογητέο εισόδημα και προσθέτοντας την απόσβεση προκύπτει η Καθαρή Ταμειακή Ροή για κάθε έτος λειτουργίας. Αναλυτικά ο πίνακας χρηματοροών (cashflow) παρατίθεται στο παράρτημα Π2.

### **Καθαρή Παρούσα Αξία**

Η αξιολόγηση της επένδυσης πρέπει να γίνει σε ενιαίο σύστημα τιμών, με τη σημερινή αξία του χρήματος. Συνεπώς, πρέπει όλες οι καθαρές ταμειακές ροές να αναχθούν σε σημερινές τιμές με βάση το επιτόκιο προεξόφλησης. Το άθροισμα των καθαρών ταμειακών ροών, αφαιρουμένου του κόστους επένδυσης, αποτελεί την Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ–NPV) του επενδυτικού σχεδίου, όπως δίνεται στον παρακάτω τύπο:

$$\text{ΚΠΑ} = \sum (\text{ΚΤΡ} / (1+\epsilon)^T) - E_0$$

Όπου **ΚΠΑ** η Καθαρή Παρούσα Αξία, που μετράται σε ευρώ (€)

**ΚΤΡ** η Καθαρή Ταμειακή Ροή

**ε** το επιτόκιο προεξόφλησης

**T** ο χρόνος στον οποίο αντιστοιχεί η ΚΤΡ

**E<sub>0</sub>** το κόστος της επένδυσης

Η Καθαρή Παρούσα Αξία του παρόντος επενδυτικού σχεδίου είναι 1.406.500€

## Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης

Για την τελική αξιολόγηση της πρότασης απαιτείται πέρα από την Καθαρή Παρούσα Αξία και ο προσδιορισμός του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης (EBA-IRR) του κεφαλαίου. Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης είναι πρακτικά το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει τη χρηματοροή ή διαφορετικά εξισώνει την αρχική επένδυση με το άθροισμα των μελλοντικών ταμειακών ροών. Δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{ΚΠΑ} = \text{ΣΚΤΡ}/(1 + \text{EBA})^T - \text{E}_0$$

Όπου **ΚΠΑ** η Καθαρή Παρούσα Αξία

**ΚΤΡ** η Καθαρή Ταμειακή Ροή

**EBA** ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης, που είναι ποσοστό (%)

**T** ο χρόνος στον οποίο αντιστοιχεί η ΚΤΡ

**E<sub>0</sub>** το κόστος της επένδυσης

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης της παρούσας πρότασης είναι 19,26%.

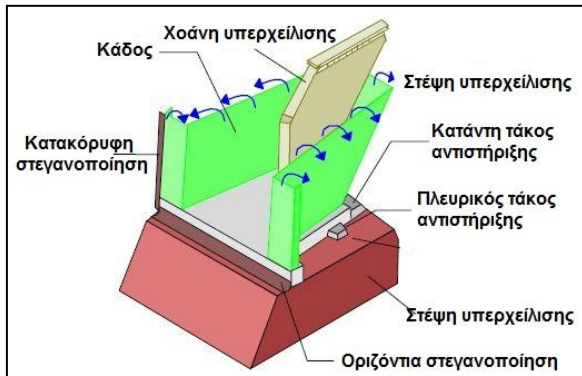
## Αξιολόγηση του επιχειρηματικού σχεδίου

Για να κριθεί ως συμφέρουσα μια επενδυτική πρόταση πρέπει να είναι η NPV μεγαλύτερη του μηδενός και ο IRR μεγαλύτερος από το επιτόκιο προεξόφλησης. Στο επιχειρηματικό σχέδιο εγκατάστασης συστήματος fusegates στο ΥΗΕ Λούρου ισχύουν και οι δύο προϋποθέσεις:  $NPV=1.406.500 > 0$  και  $IRR=19,26\% > \epsilon=5\%$ . Συνεπώς η πρόταση τοποθέτησης fusegates κρίνεται ότι είναι οικονομικά συμφέρουσα επιλογή για τη ΔΕΗ και μάλιστα όχι οριακά, αλλά με σημαντικό περιθώριο κέρδους. Η τιμή του IRR κυμαίνεται σε επιθυμητά επίπεδα, όπως προκύπτει από τη σύγκριση με τον IRR σχεδίων για ΜΥΗΕ, ο οποίος πρέπει να είναι τουλάχιστον 5% (πηγή: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας).



## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τεχνολογία των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων ασφαλείας (fusegates), όπως προκύπτει από τη μελέτη της βιβλιογραφίας και την εκπόνηση πρότασης εγκατάστασης συστήματος στο ΥΗΕ Λούρου, αποτελεί αξιόπιστη και οικονομική επιλογή με άμεσα αποτελέσματα στη λειτουργία του υπερχειλιστή ενός φράγματος (εικόνα 5.1). Είναι αξιόπιστη επιλογή γιατί επιτρέπει τον έλεγχο και την εκφόρτιση μεγάλων πλημμυρικών

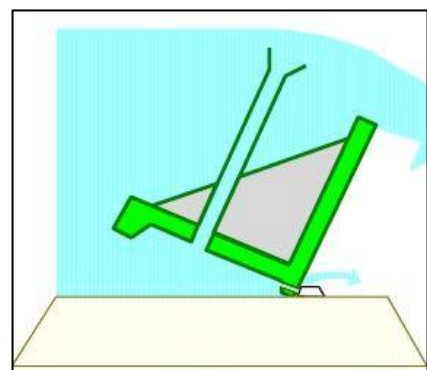


Εικόνα 5.1 Ανατρεπόμενο θυροφράγμα ασφαλείας (fusegate)

όγκων χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ασφάλεια του φράγματος και έχει πολλές δικλείδες ασφαλείας για τη λειτουργία σε μη ομαλές συνθήκες. Είναι οικονομική επιλογή δεδομένου ότι μπορεί να εφαρμοστεί με επεμβάσεις μικρής κλίμακας στον υπερχειλιστή ενός φράγματος σε σύντομο χρονικό διάστημα, χωρίς να διακοπεί η λειτουργία του και έχει μικρό κόστος συντήρησης.

Από την εξέταση των βασικών αρχών λειτουργίας και των τεχνικών χαρακτηριστικών συμπεραίνεται ότι η λειτουργία των fusegates βασίζεται σε απλές αρχές της Φυσικής. Διατηρούν τη θέση τους με τη δύναμη του βάρους τους. Ανατρέπονται με την επίδραση αρχικά των ανωστικών πιέσεων του νερού που εισρέει στο στεγανό θάλαμο στη βάση τους και στη συνέχεια της οριζόντιας ώθησης του νερού που βρίσκεται στα ανάντη (εικόνα 5.2). Δεν έχουν ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και δεν απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση για τη λειτουργία τους. Αυτός είναι και ο λόγος που έχουν μικρό κόστος συντήρησης.

Ταυτόχρονα, παρατηρείται ότι έχουν πολύ μικρό περιθώριο αστοχίας. Σχεδιάζονται έτσι ώστε να λειτουργούν ακόμα και σε μη ομαλές ή έκτακτες συνθήκες, όπως η αστοχία των σφραγιστικών ελαστικών στεγανοποίησης και το φράξιμο της χοάνης ή των αποστραγγιστικών οπών. Σε περίπτωση αστοχίας της στεγανοποίησης ή των αποστραγγιστικών οπών, τα θυροφράγματα θα ανατραπούν σε στάθμη λίγο χαμηλότερα από την κανονική στάθμη ανατροπής ενώ σε συνθήκες λειτουργίας με φραγμένη τη χοάνη η ανατροπή αναμένεται να γίνει σε στάθμη όχι σημαντικά μεγαλύτερη από την κανονική.



Εικόνα 5.2 Ανατροπή fusegate

Τα ανατρεπόμενα θυροφράγματα τοποθετούνται στον υπερχειλιστή ενός φράγματος με δύο βασικούς στόχους. Ο πρώτος είναι η αύξηση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα και ο δεύτερος είναι η βελτίωση της παροχетеυτικότητας του υπερχειλιστή.



*Εικόνα 5.3 Εγκατάσταση fusegates σε υπερχειλιστή φράγματος για την αύξηση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα (Δυπόταμος, Κύπρος)*

Σε ένα καινούριο φράγμα η επιλογή των fusegates επιτρέπει την εξοικονόμηση δαπανών, διαμορφώνοντας τη στέψη του υπερχειλιστή σε χαμηλότερο υψόμετρο. Σε ένα υπάρχον φράγμα με ελεύθερο υπερχειλιστή, η εγκατάσταση των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων αυξάνει τον ωφέλιμο όγκο ανυψώνοντας την Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας (εικόνα 5.3). Η επιλογή αυτή κρίνεται σκόπιμη ιδιαίτερα σε συνθήκες πλήρωσης του ταμιευτήρα με φερτά, οπότε ο αρχικός ωφέλιμος όγκος απομειώνεται

σημαντικά. Στο Υδροηλεκτρικό Έργο του Λούρου, όπου ο ταμιευτήρας έχει πληρωθεί κατά ποσοστό μεγαλύτερο του 80% με φερτά, η τοποθέτηση fusegates μπορεί να παρατείνει σημαντικά τη διάρκεια ζωής του φράγματος. Σε πολλά φράγματα διαπιστώνεται ότι η παροχетеυτική ικανότητα του υπερχειλιστή είναι μικρότερη από τις μέγιστες πλημμυρικές εισροές στον ταμιευτήρα. Η ταπείνωση με κατάλληλα έργα της στέψης του υπερχειλιστή και η τοποθέτηση συστήματος fusegates με ύψος ίσο με τη διαφορά αρχικής και τελικής στέψης αυξάνουν την πλημμυρική παροχή που μπορεί να εκφορτίσει το σύστημα υπερχειλίσης. Η επιλογή αυτή απαιτεί εκτεταμένη παρέμβαση στον υπερχειλιστή για τη διαμόρφωση της νέας στέψης, όμως είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική. Στο φράγμα Shongweni (Νότια Αφρική) η παροχетеυτικότητα του υπερχειλιστή αυξήθηκε από 1500 m<sup>3</sup>/s σε 5000 m<sup>3</sup>/s.

Ακόμα και χωρίς μείωση του υψόμετρου του δαπέδου, η εγκατάσταση ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων λαβυρινθοειδούς στέψης βελτιώνει τα χαρακτηριστικά παροχетеυτικότητας του συστήματος υπερχειλίσης, εξαιτίας του μεγαλύτερου μήκους στέψης. Ο υπερχειλιστής με λαβυρινθοειδή θυροφράγματα περνάει προς τα κατόντη μεγαλύτερες παροχές για το ίδιο φορτίο ή διαφορετικά έχει την ίδια παροχή με μικρότερο υδραυλικό φορτίο.

Η αύξηση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα μπορεί να συνδυαστεί με την αύξηση της παροχетеυτικότητας του συστήματος υπερχειλίσης. Ο συνδυασμός επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση θυροφραγμάτων με ύψος μεγαλύτερο από τη διαφορά αρχικής και τελικής στέψης του υπερχειλιστή.

Η εγκατάσταση συστήματος fusegates είναι επιθυμητή σε Υδροηλεκτρικά Έργα, όταν επιδιώκεται η αύξηση της παραγωγής ή η αναβάθμιση του συστήματος παραγωγής με την τοποθέτηση νέων στροβιλομηχανών μεγαλύτερου ύψους πτώσης. Η ανύψωση της Ανώτατης Στάθμης Λειτουργίας αυξάνει το ύψος πτώσης των υδροστροβίλων, επιτρέποντας σε πολλές περιπτώσεις τη θεαματική αύξηση της παραγωγής ενέργειας.

Όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία και τη διεθνή εμπειρία, πριν την τοποθέτηση των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων απαιτείται καλή γνώση των υδρολογικών συνθηκών της λεκάνης απορροής ανάντη του φράγματος. Χρειάζεται να καταρτιστεί το νέο πλημμυρογράφημα με τις στάθμες ανατροπής των θυροφραγμάτων και να γίνει η ανάσχεση πλημμύρας του υπερχειλιστή με θυροφράγματα. Τα fusegates ποτέ δεν ανατρέπονται όλα μαζί αλλά σε ομάδες, συνήθως ανά 5cm αύξησης της στάθμης.

Ο καθορισμός των ομάδων και των στάθμεων ανατροπής είναι κρίσιμος παράγοντας για την αποτελεσματική εκφόρτιση τόσο της πλημμύρας σχεδιασμού όσο και των μικρότερων πλημμυρικών όγκων. Επιδιώκεται η βαθμιαία μεταβολή της εκροής για την αποφυγή πρόκλησης καταστροφών στα κατάντη με την απότομη παροχέτευση μεγάλων όγκων. Ταυτόχρονα η εκφόρτιση της πλημμύρας σχεδιασμού και η ανατροπή της τελευταίας ομάδας θυροφραγμάτων πρέπει να γίνει σε στάθμη όχι σημαντικά μεγαλύτερη από την αρχική Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας του ταμιευτήρα. Τα περιθώρια λάθους στον καθορισμό των ομάδων και των στάθμεων ανατροπής είναι πολύ μικρά.

Η τεχνολογία των ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων έχει το μειονέκτημα ότι είναι μιας χρήσης. Μετά την ανατροπή είναι απαραίτητη η απομάκρυνσή τους, αν δεν έχει ήδη γίνει με τη ροή του νερού, όπως συμβαίνει στην πλειονότητα των περιπτώσεων, και η αντικατάστασή τους με καινούρια. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το μεγαλύτερο μέρος του κόστους είναι η κατασκευή και τοποθέτηση, οποιαδήποτε αστοχία και πρόωρη ανατροπή μπορεί να επιβαρύνει σημαντικά το συνολικό κόστος.

Το μειονέκτημα αυτό αντισταθμίζεται ικανοποιητικά από την πρόβλεψη ανατροπής της πρώτης ομάδας σε σπάνια ή πολύ σπάνια πλημμυρικά γεγονότα. Η πρώτη ομάδα θυροφραγμάτων ανατρέπεται σε πλημμύρες με περίοδο επαναφοράς τουλάχιστον 100 χρόνια. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα σε ένα φράγμα με σύστημα fusegates, αυτά να μην ανατραπούν ποτέ σε όλη τη διάρκεια ζωής του φράγματος.

Εναλλακτικές τεχνολογίες για την αύξηση της χωρητικότητας του ταμιευτήρα ή της παροχετευτικότητας του υπερχειλιστή είναι τα συμβατικά θυροφράγματα, τα χωμάτινα φράγματα ασφαλείας (fuseplugs), τα φουσκωτά φράγματα (rubber dams) και τα εποχιακά πρόσθετα ανύψωσης (flash boards). Σε σύγκριση με τις υπόλοιπες επιλογές, τα ανατρεπόμενα θυροφράγματα υπερτερούν γιατί έχουν πολύ μικρό περιθώριο αστοχίας, δεν

έχουν ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, δεν απαιτούν ανθρώπινη παρέμβαση για τη λειτουργία τους, είναι άμεσα τοποθετήσιμα και αντικαταστάσιμα και ταυτόχρονα είναι μόνιμη επιλογή με μεγάλη διάρκεια ζωής.

Στο ΥΗΕ Λούρου (εικόνα 5.4), όπου η πλήρωση του ταμιευτήρα με φερτά έχει πρακτικά εκμηδενίσει τον ωφέλιμο όγκο του και το ΥΗΕ λειτουργεί ως run of river, η πρόταση εγκατάστασης συστήματος fusegates παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Η τοποθέτηση ανατρεπόμενων θυροφραγμάτων αναμένεται να αυξήσει τον ωφέλιμο όγκο του ταμιευτήρα κατά  $225.000\text{m}^3$  (ποσοστό 61% του αρχικού), το ύψος πτώσης των υδροτροβίλων κατά 1,5m και την παραγωγή ενέργειας κατά  $2.150.000\text{kWh}/\text{έτος}$ , επαναπροσδίδοντας αποθηκευτική ικανότητα στον ταμιευτήρα και τη δυνατότητα συμβατικής λειτουργίας στον ΥΗΣ. Οι έλεγχοι ευστάθειας δείχνουν ότι η ευστάθεια του φράγματος, συνεπώς και του υπερχειλιστή, δε θα επηρεαστεί από την τοποθέτηση των fusegates. Από οικονομικής πλευράς, η επένδυση συμπεραίνεται ότι είναι συμφέρουσα, όπως προκύπτει από το επιχειρηματικό σχέδιο, το οποίο για εικοσαετή χρονική διάρκεια και επιτόκιο προεξόφλησης 5% δίνει Καθαρή Παρούσα Αξία  $1.406.500\text{€}$  και Εσωτερικό Βαθμό Απόδοσης 19,26%, πολύ μεγαλύτερο από το επιτόκιο προεξόφλησης. Η διάρκεια ζωής του φράγματος αναμένεται να παραταθεί κατά 30 χρόνια



**Εικόνα 5.4** Το φράγμα του Λούρου. Ο υπερχειλιστής καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του φράγματος (77m μήκος έναντι 97m συνολικού μήκους φράγματος).

## BIBΛIOΓΡΑΦΙΑ

### ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δημόπουλος Δ. και Στεφανάκος Ι.Π., *Υπερχειλιστές και εκκενωτές πυθμένα στα τέσσερα αλαιότερα φράγματα της ΔΕΗ από σκυρόδεμα*, 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων, Λάρισα, Νοέμβριος 2008

Καγιαννάς Α.Γ. και Στεφανάκος Ι.Π., *Ανατρεπόμενα θυροφράγματα ασφαλείας (Fusegate) σε υπερχειλιστές φραγμάτων*, 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων, Λάρισα, Νοέμβριος 2008

Στεφανάκος Ι.Π., *Τεχνική & οικονομική αξιολόγηση πρότασης διπλασιασμού ωφέλιμης χωρητικότητας ταμιευτήρα υψ. καστρακίου π. αχελώου με τοποθέτηση ελεύθερα επικαθήμενων θυροφραγμάτων ασφαλείας (fusegates) στη στέψη του υπερχειλιστή*, Ερευνητικό Πρόγραμμα υπ' αριθ. 62/194500, ΕΜΠ, Αθήνα, 2006

### ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aït Alla A., *The role of fusegates in dam safety*, Hydropower & Dams, Issue Six, Volume Three, 1996

Barcouda M., Cazaillet O., Cochet P., Jones B.A., Lacroix S., Laugier F., Odeyer C. et Vigny J.P. , *Cost effective increase in storage and safety of most dams using fusegates or p.k. weirs*, Vingt Deuxieme Congrès Des Grands Barrages, Barcelona, 2006

Falvey H. et Treille Ph., *Hydraulics and design of fusegates*, Vingt Deuxieme Congrès Des Grands Barrages, Journal of Hydraulic Engineering Vol. 121, N°7, July 1995

Hakin W.D. et Siers P., *Defusing the situation*, International Water Power and Dam Construction, p. 18-19, October 2002

Hakin W.D. et Trissler M., *Use of a fusegate system to improve safety at shongweni dam*, Dix-huitième Congrès des Grands Barrages, Durban, 1994

Kagiannas A.G., Moutafis N.I. et Stefanakos J.P., *Increase in storage, efficiency and energy production by the installation of Fusegates at Kastraki HEP, Greece*, Maximizing The Benefits Of Hydropower, Greece, September 2006

Kocahan H.T. et Rodionov V.B., *The behavior of fusegates in ice affected environments*, ASDSO Conference, June 2003

Kocahan H.T., *Hydraulics and design of fusegates*, USCOE Infrastructure Conference, May 2005

Kocahan H.T., *They might be giants*, International Water Power and Dam Construction, March 2004

Kyrou K. et Rayssiguier J., *Increase in storage capacity at Xyliatos dam, Cyprus*, Hydropower & Dams, Issue Four, 2001

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ





## Π1: ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΣΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ ΛΟΥΡΟΥ



ΦΡΑΓΜΑ - Υ/Χ ΥΠΕ ΛΟΥΡΟΥ - ΥΠΙΠΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΜΟΝΟΒΟΥ

ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΤΟΜΗΣ & ΟΜΟΓΗΘΗΣ

Υψ. στήλης		96,00	m	Στάθμη νερού ταμεινέρα		97,50	m
Υψ. θεμελίωσης		77,50	m	Στάθμη νερού καπάνη		80,00	m
Πλάτος βάσης μονολιθού	L	15,00	m	Στάθμη νερού Λεκάνης ηρεμίας		82,00	m
Μήκος μονολιθού	Lb	15,22	m	Υψος φερτών	Hf	14,80	m
Επιφάνεια διατομής μονολιθού	A	166,50	m <sup>2</sup>	Μοναδ. βάρος νερού	γ <sub>w</sub>	10,00	kN/m <sup>3</sup>
Απόσταση ΚΒ διατομής από Μ-άξονα	LB	-2,50	m	Μοναδ. βάρος σκυροδέματος	γ <sub>c</sub>	24,00	kN/m <sup>3</sup>
Βάθος νερού ανάντη	H <sub>wu</sub>	20,00	m	Μοναδ. βάρος φερτών	γ <sub>s</sub>	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Βάθος νερού καπάνη	H <sub>wd</sub>	0,00	m	Γωνία τριβής φερτών	φ <sub>s</sub>	30,00	deg
Βάρος Υ/Χ	B	3996	kN	Γωνία τριβής θεμελίωσης	φ <sub>f</sub>	52,73	deg
Απόσταση από Μ-άξονα	LB	-2,50	m	Συνολή θεμελίωσης	cf	393,00	kN/m <sup>2</sup>
Τάση νερού ανάντη - Ορ.	P <sub>wu</sub>	2000	kN	Στοιμικός συντελεστής	ε-ορ.	0,24	g
Μαγλοβραχίονας P <sub>wu</sub>	H <sub>wu</sub>	5,77	m	ε-κατ.	ε-κατ.	0,08	g
Τάση νερού καπάνη - Ορ.	P <sub>wd</sub>	0,00	kN	Λα	λα	30 + 30	%
Μαγλοβραχίονας P <sub>wd</sub>	H <sub>wd</sub>	-1,50	m	Μείωση φορτίου ω	K	0,50	
Κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο ανάντη	P <sub>u</sub>	0,00	kN	Συντελεστής ώθησης φερτών	φ	52,73	deg
Μαγλοβραχίονας P <sub>u</sub>	L <sub>pu</sub>	0,00	m	Γωνία υπολογισμού ευστάθειας	c	393,00	kN/m <sup>2</sup>
Κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο καπάνη	P <sub>d</sub>	0,00	kN	Συνολή υπολογισμού ευστάθειας	MB	-9.990,00	kNm
Μαγλοβραχίονας P <sub>d</sub>	L <sub>pd</sub>	0,00	m	Ροπή βάρους Υ/Χ	M <sub>ρω</sub>	11.533,33	kNm
Τάση φερτών	P <sub>f</sub>	492,84	kN	Ροπή ώθησης νερού ανάντη	M <sub>Pwd</sub>	0,00	kNm
Υψος εφαρμογής P <sub>s</sub>	H <sub>pf</sub>	4,03	m	Ροπή ώθησης νερού καπάνη	M <sub>Pwf</sub>	0,00	kNm
Υδροστατική πίεση ανάντη-max	uu	200,00	kN/m <sup>2</sup>	Ροπή ώθησης νερού λεκ. ηρεμίας	M <sub>PF</sub>	1.986,15	kNm
Υδροστατική πίεση καπάνη-max	ud	0,00	kN/m <sup>2</sup>	Ροπή φερτών	M <sub>U</sub>	3.680,00	kNm
Άνωση	U	1022,2215	kN	Ροπή άνωσης	M <sub>Bwu</sub>	0,00	kNm
Μαγλοβραχίονας άνωσης	LU	3,60	m	Ροπή βάρους νερού ανάντη	M <sub>Bws</sub>	0,00	kNm
Θλιπτική αντοχή βραχίονας	βstrength	6.711,00	kN/m <sup>2</sup>	Ροπή βάρους νερού λεκ. ηρεμίας	Σ <sub>M</sub>	7.209,48	kNm
				Σύνολον οριζοντίων ωθήσεων	Σ <sub>Ph</sub>	2.492,84	kN
				Σύνολον κατακόρυφων φορτίων	Σ <sub>Pv</sub>	2.973,78	kN
				Ροπή	Σ <sub>M</sub>	7.209,48	kNm
				Τάση στο ανάντη άκρο	ou	6,00	kN/m <sup>2</sup>
				Τάση στο καπάνη άκρο	od	390,50	kN/m <sup>3</sup>
				Ενεργό μήκος θεμελίωσης	L*	15,00	m
				Αντίσταση	R	14.638,53	kN
				Συντελ. Ασφάλειας έναντι ολίσθησης	SF	5,87	
				Συντελ. Ασφάλειας μέγιστων θλιπτικών τάσεων	SFo	17,19	



**ΦΡΑΓΜΑ - Υ/Α ΥΠΕ ΔΟΥΡΟΥ - ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΜΟΝΟΒΛΟΥ**

**ΕΛΓΙΣΤΟΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ & ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΜΕ ΞΕΙΣΜΟ**

ε-ορ.	0,24				ε-ορ.	-0,24		
ε-κατ.	0,08				ε-κατ.	-0,08		
Σύνολον οριζόντιων ιβήσεων	ΣΡh	3.451,88	KN		Σύνολον οριζόντιων ιβήσεων	ΣΡh	1.533,80	KN
Σύνολον κατακόρυφων φορτίων	ΣΡv	3.293,46	KN		Σύνολον κατακόρυφων φορτίων	ΣΡv	2.654,10	KN
Ροπή σεισμού	Με	5.850,14	KN-m		Ροπή σεισμού	Με	-5.850,14	KN-m
Συνολική ροπή	ΣΜ	13.059,62	KN-m		Συνολική ροπή	ΣΜ	1.359,33	KN-m
Τάση στο ανάντη άκρο	ου	-128,69	KN/m2		Τάση στο ανάντη άκρο	ου	140,69	KN/m2
Τάση στο κατόντη άκρο	οδ	567,82	KN/m2		Τάση στο κατόντη άκρο	οδ	213,19	KN/m2
Ενεργό μήκος θεμελίωσης	Λ*	12,23	m		Ενεργό μήκος θεμελίωσης	Λ*	15,00	m
Αντίσταση	R	11.935,28	KN		Αντίσταση	R	14.638,53	KN
Συντελ. Ασφάλειας έναντι ολίσθησης	SF	3,46			Συντελ. Ασφάλειας έναντι ολίσθησης	SF	9,54	
Συντελ. Ασφάλειας μέγιστων θλιπτικών τάσεων	Sfo	11,82			Συντελ. Ασφάλειας μέγιστων θλιπτικών τάσεων	Sfo	31,48	
ε-ορ.	0,24				ε-ορ.	-0,24		
ε-κατ.	-0,08				ε-κατ.	0,08		
Σύνολον οριζόντιων ιβήσεων	ΣΡh	3.451,88	KN		Σύνολον οριζόντιων ιβήσεων	ΣΡh	1.533,80	KN
Σύνολον κατακόρυφων φορτίων	ΣΡv	2.654,10	KN		Σύνολον κατακόρυφων φορτίων	ΣΡv	3.293,46	KN
Ροπή σεισμού	Με	4.251,74	KN-m		Ροπή σεισμού	Με	-4.251,74	KN-m
Συνολική ροπή	ΣΜ	11.461,22	KN-m		Συνολική ροπή	ΣΜ	2.957,73	KN-m
Τάση στο ανάντη άκρο	ου	-128,69	KN/m2		Τάση στο ανάντη άκρο	ου	140,69	KN/m2
Τάση στο κατόντη άκρο	οδ	482,57	KN/m2		Τάση στο κατόντη άκρο	οδ	298,44	KN/m2
Ενεργό μήκος θεμελίωσης	Λ*	11,84	m		Ενεργό μήκος θεμελίωσης	Λ*	15,00	m
Αντίσταση	R	11.554,68	KN		Αντίσταση	R	14.638,53	KN
Συντελ. Ασφάλειας έναντι ολίσθησης	SF	3,35			Συντελ. Ασφάλειας έναντι ολίσθησης	SF	9,54	
Συντελ. Ασφάλειας μέγιστων θλιπτικών τάσεων	Sfo	13,91			Συντελ. Ασφάλειας μέγιστων θλιπτικών τάσεων	Sfo	22,49	



## ΦΡΑΓΜΑ - Υ/Χ ΥΠΕ ΛΟΥΡΟΥ - ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΜΟΝΩΘΟΥ

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ &amp; ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Υψ. στεφάνης		96,00	m	Στάθμη νερού ταμειούχρα		99,35	m
Υψ. θεμελίωσης		77,50	m	Στάθμη νερού καπάνη		80,00	m
Πλάτος βάσης μονόλυβου	L	15,00	m	Στάθμη νερού λεκάνης ηρεμίας		82,00	m
Μήκος μονόλυβου	Lb	15,22	m	Υψος φερτών	Hf	14,80	m
Επιφάνεια διατομής μονόλυβου	A	166,50	m <sup>2</sup>	Μοναδ. βάρος νερού	γ <sub>w</sub>	10,00	kN/m <sup>3</sup>
Απόσταση ΚΒ διατομής από Μ-άξονα	LB	-2,50	m	Μοναδ. βάρος σκυροδέματος	γ <sub>c</sub>	24,00	kN/m <sup>3</sup>
Βάθος νερού καπάνη	H <sub>wu</sub>	21,85	m	Μοναδ. βάρος φερτών	γ <sub>s</sub>	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Βάθος νερού καπάνη	H <sub>wd</sub>	2,00	m	Γωνία τριβής φερτών	φ <sub>s</sub>	30,00	deg
Βάρος Υ/Χ	B	3996,00	kN	Γωνία τριβής θεμελίωσης	φ <sub>f</sub>	52,73	deg
Απόσταση από Μ-άξονα	LB	-2,50	m	Συνολή θεμελίωσης	c <sub>f</sub>	393,00	kN/m <sup>2</sup>
Τάση νερού ανάντη - Op.	P <sub>wu</sub>	2387,11	kN	Σεισμικός συντελεστής	ε-ορ.	0,24	β
Μοχλοβραχίονας P <sub>wu</sub>	H <sub>pwu</sub>	6,38	m	ε-κατ.	ε-κατ.	0,08	β
Τάση νερού καπάνη - Op.	P <sub>wd</sub>	20,00	kN	λα	λα	0,00	%
Μοχλοβραχίονας P <sub>wd</sub>	H <sub>pwd</sub>	-2,17	m	Μείωση φορτίου υι	K	0,50	
Κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο ανάντη	P <sub>u</sub>	0,00	kN	Συντελεστής ώθησης φερτών	φ	52,73	deg
Μοχλοβραχίονας P <sub>u</sub>	L <sub>pu</sub>	0,00	m	Γωνία υπολογισμού ευστάθειας	c	393,00	kN/m <sup>2</sup>
Κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο καπάνη	P <sub>d</sub>	0,00	kN	Συνολή υπολογισμού ευστάθειας	MB	-9.990,00	kNm
Μοχλοβραχίονας P <sub>d</sub>	L <sub>pd</sub>	0,00	m	Ροπή βάρους Υ/Χ	M <sub>pwu</sub>	15.237,73	kNm
Τάση φερτών	P <sub>f</sub>	492,84	kN	Ροπή ώθησης νερού ανάντη	MP <sub>wd</sub>	-43,33	kNm
Υψος εφαρμογής P <sub>s</sub>	H <sub>pf</sub>	4,03	m	Ροπή ώθησης νερού καπάνη	MP <sub>w</sub>	0,00	kNm
Υδροστατική πίεση ανάντη-max	u <sub>u</sub>	218,50	kN/m <sup>2</sup>	Ροπή ώθησης νερού λεκ. ηρεμίας	MP <sub>f</sub>	1.986,15	kNm
Υδροστατική πίεση καπάνη-max	u <sub>d</sub>	20,00	kN/m <sup>2</sup>	Ροπή άνωσης	MU	3.990,81	kNm
Άνωση	U	1127,3475	kN	Ροπή βάρους νερού ανάντη	M <sub>bwu</sub>	0,00	kNm
Μοχλοβραχίονας άνωσης	LU	3,54	m	Ροπή βάρους νερού λεκ. ηρεμίας	M <sub>Bws</sub>	-93,85	kNm
Βάρος νερού καπάνη	W <sub>d</sub>	13,30	kN	Σύνολον οριζοντίων ωθήσεων	Σ <sub>M</sub>	11.087,50	kN
Μοχλοβραχίονας βάρους	L <sub>wd</sub>	-7,06	m	Σύνολον κατακόρυφων φορτίων	Σ <sub>Pv</sub>	2.859,95	kN
Θλιπτική αντίσφι βραχόμαζας	gstrength	6.711,00	kN/m <sup>2</sup>	Ροπή	Σ <sub>M</sub>	11.087,50	kNm
				Τάση στο ανάντη άκρο	σ <sub>u</sub>	-203,89	kN/m <sup>2</sup>
				Τάση στο καπάνη άκρο	σ <sub>d</sub>	668,44	kN/m <sup>3</sup>
				Ενεργό μήκος θεμελίωσης	L*	12,35	m
				Αντίσταση	R	12.052,39	kN
				Συντελ. Ασφάλειας έναντι ολισθησης	S <sub>F</sub>	4,21	
				Συντελ. Ασφάλειας μέγιστων θλιπτικών τάσεων	S <sub>Fσ</sub>	10,04	





## ΦΡΑΓΜΑ - ΥΧ ΥΦΕ ΛΟΥΡΟΥ - ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΜΟΝΟΛΙΘΟΥ

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ &amp; ΟΜΙΣΘΗΣΗΣ

Υψ. στέγης		96,00	m	Στάθμη νερού ταμειωτήρα		99,70	m
Υψ. θεμελίωσης		77,50	m	Στάθμη νερού καπάνη		80,00	m
Πλάτος βάσης μονόλιθου	L	15,00	m	Στάθμη νερού λεκάνης ηρεμίας		82,00	m
Μήκος μονόλιθου	Lb	15,22	m	Υψος φερτών	Hf	14,80	m
Επιφάνεια διατομής μονόλιθου	A	161,30	m <sup>2</sup>	Μοναδ. βάρος νερού	γw	10,00	kN/m <sup>3</sup>
Απόσταση ΚΒ διατομής από Μ-άξονα	LB	-1,70	m	Μοναδ. βάρος σκυροδέματος	γc	24,00	kN/m <sup>3</sup>
Βάθος νερού ανάντη	Hwu	22,20	m	Μοναδ. βάρος φερτών	γs	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Βάθος νερού καπάνη	Hwd	0,00	m	Γωνία τριβής φερτών	φs	30,00	deg
Βάρος Υ/Χ	B	3871,20	kN	Γωνία τριβής θεμελίωσης	φf	52,73	deg
Απόσταση από Μ-άξονα	LB	-1,70	m	Συνολή θεμελίωσης	cf	393,00	kN/m <sup>2</sup>
Τάση νερού ανάντη - Op.	Pwu	2464,20	kN	Ε-ορ.	ε-ορ.	0,24	g
Μαχλοβραχίονας Pwu	Hrwu	5,77	m	Ε-κατ.	ε-κατ.	0,08	g
Τάση νερού καπάνη - Op.	Pwd	0,00	kN	λα	λα	0,00	%
Μαχλοβραχίονας Pwd	Hrwd	-1,50	m	Μείωση φορτίου υι	K	0,50	
Κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο ανάντη	Pu	0,00	kN	Συντελεστής ώθησης φερτών	φ	52,73	deg
Μαχλοβραχίονας Pu	Lpu	0,00	m	Γωνία υπολογισμού ευστάθειας	c	393,00	kN/m <sup>2</sup>
Κατακόρυφο υδροστατικό φορτίο καπάνη	Pd	0,00	kN	Συνολή υπολογισμού ευστάθειας	MB	-6.581,04	kNm
Μαχλοβραχίονας Pd	Lpd	0,00	m	Ροπή βάρους Υ/Χ	Mρωu	14.210,22	kNm
Τάση φερτών	Pf	1040,44	kN	Ροπή ώθησης νερού ανάντη	MΡwd	0,00	kNm
Υψος εφαρμογής Ps	Hpf	4,03	m	Ροπή ώθησης νερού καπάνη		0,00	kNm
Υδροστατική πίεση ανάντη-max	uu	222,00	kN/m <sup>2</sup>	Ροπή ώθησης νερού λεκ. ηρεμίας	MPf	4.192,97	kNm
Υδροστατική πίεση καπάνη-max	ud	0,00	kN/m <sup>2</sup>	Ροπή φερτών	MU	4.162,50	kNm
Άνωση	U	1665	kN	Ροπή άνωσης	Mbwu	0,00	kNm
Μαχλοβραχίονας άνωσης	LU	2,50	m	Ροπή βάρους νερού ανάντη	MBws	0,00	kNm
Θλιπτική αντοχή βραχίονας	gstrength	6.711,00	kN/m <sup>2</sup>	Ροπή βάρους νερού λεκ. ηρεμίας	ΣM	15.984,65	kNm
				Σύνολον οριζοντίων ωθήσεων	ΣPh	3.504,64	kN
				Σύνολον κατακόρυφων φορτίων	ΣPv	2.206,20	kN
				Ροπή	ΣM	15.984,65	kNm
				Τάση στο ανάντη άκρο	au	-279,18	kN/m <sup>2</sup>
				Τάση στο καπάνη άκρο	ad	573,34	kN/m <sup>2</sup>
				Ενεργό μήκος θεμελίωσης	L*	15,00	m
				Αντίσταση	R	14.619,60	kN
				Συντελ. Ασφάλειας έναντι ολίσθησης	SF	4,17	
				Συντελ. Ασφάλειας μέγιστων θλιπτικών τάσεων	Sfo	11,71	



**Π2: ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΡΗΜΑΤΟΡΟΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ  
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΤΡΕΠΟΜΕΝΩΝ ΘΥΡΟΦΡΑΓΜΑΤΩΝ  
ΣΤΟΝ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ ΤΟΥ ΥΗΕ ΛΟΥΡΟΥ**



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
 Αναπτυξιακό Πρόγραμμα - 5% - 20  
 Επιχορηγούμενα - 2%

ΕΤΗ ΕΠΙΧΡΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
Επιχορηγούμενα	833.000,00 €																						
Μεταβία Ουράλια	331.000,00 €																						
Αποδοκίες κτηνοτροφίας	25																						
Άλλα ταμειακά	974.000,00 €																						
Εσοδα	0,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €
Παύσιμα έξοδα (N/A)		2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €	2.150,00 €
Άλλα N/A		259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €	259,00 €
Άλλα N/A		389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €	389,00 €
Υπόλοιπο επενδύσεων		219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €	219.300,00 €
Μεταβία κτηνοτροφίας		36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €	36.960,00 €
Άλλα κτηνοτροφίας		181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €	181.970,00 €
Επιχορηγούμενα κτηνοτροφίας		36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €	36.294,00 €
Άλλα κτηνοτροφίας		145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €	145.576,32 €
Καταβλητά κτηνοτροφίας		182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €	182.538,32 €
Καταβλητά κτηνοτροφίας		1.081.525,32 €																					
ΠΡ		19,28%																					