

# Επισκόπηση παλαιών φραγμάτων από σκυρόδεμα

Ι. Παπαγιάννη  
Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

Ι. Στεφανάκος  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Ν. Μητσιγιώργης  
Πολ. Μηχανικός ΔΕΗ/ΔΕΥ

Α. Ουζουνίδου  
τελειόφοιτος Πολ. Μηχανικός Α.Π.Θ.

Α. Παλιοκώστα  
τελειόφοιτος Πολ. Μηχανικός Α.Π.Θ.

Λέξεις κλειδιά: φράγμα από σκυρόδεμα, βαρύτητας, αντηρριδωτό, τοξωτό, μηχανικά χαρακτηριστικά, φθορές

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Στον ελληνικό χώρο λειτουργούν υπό την εποπτεία της ΔΕΗ/ΔΕΥ φράγματα - υδροηλεκτρικοί σταθμοί από άοπλο μαζικό σκυρόδεμα που κατασκευάστηκαν μετά το 2ο παγκόσμιο πόλεμο και έχουν συμπληρώσει μερικές δεκαετίες ζωής. Εκτός από τις μετρήσεις που γίνονται με τον ενσωματωμένο εξοπλισμό που αφορούν στην ευστάθεια και τις διαρροές και θερμοκρασιακή απόσβεση, δεν έχει γίνει από την κατασκευή τους μια εκτίμηση του σκυροδέματος των μονόλιθων που αποτελούν το κύριο σώμα του φράγματος. Στο πλαίσιο ενός ερευνητικού προγράμματος που βρίσκεται σε εξέλιξη με τη συνεργασία της ΔΕΗ και του Α.Π.Θ., καθώς και του Ε.Μ.Π. και του Πανεπιστημίου Πατρών, ξεκίνησε η μελέτη και καταγραφή βλαβών του φράγματος, η εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών, η μελέτη των υδραυλικών χαρακτηριστικών λειτουργίας των υπερχειλιστών και των εκκενωτών πυθμένα, καθώς και η επανεκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του φορέα με τη βοήθεια ειδικού προγράμματος ανάλυσης. Στη εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επισκόπησης τριών παλαιών φραγμάτων από σκυρόδεμα, του Λάδωνα, του Λούρου και του Ταυρωπού. Πρώτα έγινε με τη βοήθεια της ΔΕΗ η συλλογή όλου του αρχαικού υλικού (σχέδια, κατασκευαστικά στοιχεία και άλλα). Στη συνέχεια έγιναν επί τόπου με μη καταστρεπτικές μεθόδους μετρήσεις με κρουσίμετρο και υπερήχους για την εκτίμηση τη αντοχής, και των ελαστικών χαρακτηριστικών. Ελήφθησαν επίσης πυρήνες που εξετάστηκαν στο εργαστήριο ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση όχι μόνο των μηχανικών χαρακτηριστικών αλλά και του πορώδους, του pH, της περιεκτικότητας σε θειικά και άλλα άλατα, ώστε να δοθεί συνολικά η εικόνα της υγείας και της σταθερότητας μάζας του σκυροδέματος. Παράλληλα έγινε καταγραφή όλων των τύπων των βλαβών. Τα αποτελέσματα για κάθε φράγμα αξιολογήθηκαν και καταχωρήθηκαν σε κάρτες ώστε να αποτελέσουν ψηφιακό αρχείο για τον έλεγχο των φραγμάτων.

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Όπως είναι γνωστό το φράγμα αποτελεί μεγάλο και πολυσύνθετο κατασκευαστικό έργο με το οποίο οι μηχανικοί επεμβαίνουν στη γεωμορφολογία της περιοχής λόγω αναγκών διαχείρισης των νερών προς όφελος του κοινωνικού συνόλου. Είναι έργο που πρέπει να πληροί απαιτήσεις ύψιστης ασφάλειας τόσο κατά την κατασκευή του όσο και κατά τη λειτουργία του. Αποτελείται από επιμέρους τμήματα όπως είναι το κύριο σώμα του φράγματος που δημιουργεί τον ταμιευτήρα και

τον υπερχειλιστή αλλά και τον εκκενωτή πυθμένα που είναι αναπόσπαστα τμήματα της ασφαλούς λειτουργίας του. Το έργο συμπληρώνεται συνήθως με το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας, το σύστημα υδροληψίας (σήραγγες προσαγωγής-απαγωγής) και τον υποσταθμό τάσης. Από τους διάφορους τύπους φραγμάτων η εργασία αυτή αφορά στα άκαμπτα μόνιμα από σκυρόδεμα. Τα φράγματα από σκυρόδεμα (βαρύτητας, με ή χωρίς διάκενα και τοξωτά) είναι περιορισμένου αριθμού. Περίπου 20% του συνόλου των φραγμάτων είναι κυρίως χωμάτινα ή λιθόρριπτα {1}. Ο σχεδιασμός τους απαιτεί προϋποθέσεις όπως βραχώδες υπόβαθρο ή ισχυρά αντερείσματα στην περίπτωση φραγμάτων βαρύτητας ή τοξωτών αντίστοιχα.

### *1.2 Το σκυρόδεμα ως υλικό σώματος φραγμάτων*

Το σκυρόδεμα είναι ένα υλικό που σε μεγάλη πάχη θεωρείται αδιαπέρατο. Χαμηλή υδατοδιαπερατότητα (συντελεστής διαπερατότητας  $K$  της τάξεως του  $10^{-8}$  cm/sec) μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλο σχεδιασμό και συντήρηση του σκυροδέματος. Για τα φράγματα χρησιμοποιείται σκυρόδεμα άοπλο μεγάλου όγκου χονδρόκοκκων αδρανών και σχετικά μικρής περιεκτικότητας σε τσιμέντο. Ο μεγάλος όγκος του φράγματος δομείται με block (μονόλιθους) σκυροδέματος που διαχωρίζονται με κατακόρυφους αρμούς ενώ ανάλογα με την τεχνική κατασκευής του φράγματος δημιουργούνται αναπόφευκτα και οριζόντιοι αρμοί. Τόσο οι κατακόρυφοι όσο και οι διαμήκεις οριζόντιοι αρμοί αποτελούν τις ασθενείς περιοχές στο κύριο σώμα του φράγματος από σκυρόδεμα.

Το σκυρόδεμα έχει χρησιμοποιηθεί ως κύριο υλικό κατασκευής φραγμάτων από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα {2} και στη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα εξελίχθηκε σημαντικά η τεχνογνωσία κατασκευής ώστε δεδομένων των γεωμορφολογικών προϋποθέσεων να αποτελεί την πλέον συμφέρουσα λύση από άποψη κόστους και οικονομίας υλικών και χρόνου κατασκευής. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί το φράγμα της Πλατανόβρυσης (1995-97) στην Ελλάδα {3}.

Από την πάνω από ένα αιώνα λειτουργία φραγμάτων από σκυρόδεμα διεθνώς, έχει συσσωρευτεί εμπειρία η οποία έχει συμβάλει στη διαμόρφωση οδηγιών και κανονισμών τόσο για την κατασκευή όσο και για την επισκευή και κυρίως για τον έλεγχο ασφαλούς λειτουργίας των φραγμάτων {4,5}. Από την καταγραφή περιπτώσεων αστοχίας {6} φαίνεται ότι οι αστοχίες φραγμάτων από σκυρόδεμα στο διάστημα του παρελθόντος αιώνα είναι σπανιότερες εν σχέση με αυτές των χωμάτινων και αφορούν κυρίως γεωτεχνικά προβλήματα θεμελίωσης και αντερείσμάτων όπως είναι αυτές των φραγμάτων της Pennsylvania (1911), του St. Francis California (1928) και Vajont στη Βόρεια Ιταλία (1963), που συνέβησαν λίγο χρόνο (1-3 έτη) μετά τη λειτουργία τους.

### *1.3 Παθολογία φραγμάτων από σκυρόδεμα*

Το κύριο θέμα της ευστάθειας του φράγματος σχετίζεται με προβλήματα θεμελίωσης όπως είναι:

- κάθιση τμήματος θεμελίων με πρόκληση ρωγμής και κάθετης μετατόπισης στο κύριο σώμα του φράγματος
- ανεπάρκεια φέρουσας ικανότητας θεμελίωσης που μπορεί να οδηγήσει σε μετακίνηση του φράγματος με ρηγμάτωση, διήθηση νερού στη θεμελίωση ή προβλήματα αντερείσμάτων όπως μετακίνηση ή συνεχής ολίσθηση που επίσης επιφορτίζουν ή προκαλούν ρηγμάτωση του σώματος των τοξωτών φραγμάτων.
- Ρηγματώσεις διαμπερείς ή μεγάλου βάθους μπορούν να προκληθούν επίσης από θερμοκρασιακές μεταβολές που δεν έχουν προβλεφτεί στο σχεδιασμό και συμβαίνουν συνήθως στα πρώτα χρόνια λειτουργίας του φράγματος.

Για την ασφάλεια των φραγμάτων τα προαναφερόμενα αίτια παρακολουθούνται συνεχώς με τον ενσωματωμένο εξοπλισμό που καταγράφει τις μετακινήσεις του φορέα, τις διαρροές και τη θερμοκρασιακή απόσβεση για τα οποία υπάρχουν οριακές τιμές βάσει των οποίων αξιολογείται η επικινδυνότητα κάθε κατάστασης.

Το σκυρόδεμα και ειδικά το άοπλο σκυρόδεμα ανταποκρίνεται στα αίτια ρηγματώσής του, (υπερφόρτιση, καταναγκασμένη παραμόρφωση από καθιζήσεις ή μετακινήσεις θεμελίωσης και στηριγμάτων, σεισμική επιπόνηση, έκθεση σε θερμοκρασιακή βαθμίδα), με τα μηχανικά χαρακτηριστικά του, τη θλιπτική και την εφελκυστική αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας.

Επειδή το σκυρόδεμα είναι από τη φύση του ένα υλικό πορώδες που επηρεάζεται από τις θερμο-υγρασιακές συνθήκες του περιβάλλοντος που λειτουργεί, από τυχόν χημικές δράσεις που εξελίσσονται στη μάζα του ιδιαίτερα σε υγρό περιβάλλον και από παραμορφώσεις που εκδηλώνονται με το χρόνο, τα μηχανικά χαρακτηριστικά του δεν είναι σταθερά σε όλη τη διάρκεια ζωής μιας κατασκευής αλλά υφίστανται μεταβολή. Μετά την ανάπτυξη δηλαδή της μέγιστης αντοχής του σκυροδέματος, οι προαναφερόμενοι παράγοντες επιφέρουν μείωση της μέγιστης αντοχής ανάλογα με την αρχική ποιότητα του σκυροδέματος. Ένα καλής ποιότητας σκυρόδεμα σε συνδυασμό με έργο υψηλών προδιαγραφών κατασκευής και συντήρησης, παρουσιάζει μικρότερη φθορά λόγω του χρόνου. Το ερώτημα λοιπόν στην περίπτωση των φραγμάτων από σκυρόδεμα είναι κατά πόσον η φθορά από την πιθανή σχεδιασμένη δράση των παραπάνω παραγόντων έχει λόγω του χρόνου απομειώσει την αντοχή και θέτει θέμα ασφαλούς λειτουργίας.

Φθορές παρουσιάζονται και σ' άλλα τμήματα των φραγμάτων όπως είναι οι υπερχειλιστές που δέχονται μεγάλα φορτία φερτών υλικών και μεγάλης ταχύτητας ροή νερού ή άλλα οπλισμένα στοιχεία που παρουσιάζουν έντονη διάβρωση του οπλισμού λόγω της υγρασίας του περιβάλλοντος.

## 2 ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ

Στον Ελληνικό χώρο κατασκευάστηκαν από τη δεκαετία 1950-1960 φράγματα-υδροηλεκτρικοί σταθμοί τα οποία ανήκουν στη ΔΕΗ/ΔΕΥ και λειτουργούν υπό την εποπτεία της. Αναπτύχθηκε έτσι σημαντική εμπειρία στον τομέα αυτό που οδήγησε και στην κατασκευή του πιο πρόσφατου φράγματος από RCC σκυρόδεμα στην Πλατανόβρυση που αποτελεί και διεθνώς καινοτόμο κατασκευή και ένα από τα μεγαλύτερα RCC φράγματα στην Ευρώπη. Ενώ η παρακολούθηση των φραγμάτων όσον αφορά τις μετρήσεις για την ευστάθεια γίνεται από το υπεύθυνο τμήμα της ΔΕΗ, έλεγχος του σκυροδέματος του σώματος του φορέα δεν έχει γίνει παράλο που τα παλαιά φράγματα έχουν συμπληρώσει τα 50 χρόνια λειτουργίας, ούτε καταγραφή των βλαβών ώστε να γίνει εύκολη η τακτική παρακολούθηση και συντήρηση του σκυροδέματος.

Με πρωτοβουλία του Εργαστηρίου Δομικών Υλικών Α.Π.Θ. ξεκίνησε με τη μορφή μιας έρευνας που υποστηρίζεται από τη ΔΕΗ ένα πρόγραμμα εργασιών, με βασικό στόχο την εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών του κύριου σώματος των φραγμάτων από σκυρόδεμα και την καταγραφή των βλαβών που παρουσιάζει. Παράλληλα γίνεται μελέτη των υδραυλικών χαρακτηριστικών υπό την εποπτεία του Ε.Μ.Π. και επανεκτίμηση της φέρουσας ικανότητας ενός από τα παλαιά φράγματα βάσει των μετρηθέντων σήμερα μηχανικών χαρακτηριστικών υπό την εποπτεία του Πανεπιστημίου Πατρών. Στην έρευνα συμμετείχαν τελειόφοιτοι φοιτητές των τμημάτων των Πολιτικών Μηχανικών των προαναφερόμενων πανεπιστημίων.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα μέρος της όλης έρευνας που βρίσκεται ακόμα σε εξέλιξη και αφορά στην επισκόπηση μόνο των τριών παλαιότερων φραγμάτων από σκυρόδεμα., του Λάδωνα, του Λούρου και του Ταυρωπού.

## 3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Για την εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών και την καταγραφή παθολογίας του κύριου σώματος των παραπάνω φραγμάτων από σκυρόδεμα έγιναν τα παρακάτω:

- Συλλογή με τη βοήθεια των στελεχών της ΔΕΗ/ΔΕΥ του αρχειακού υλικού όπου υπήρχε (γιατί το αρχείο δε ήταν οργανωμένο και ήταν σχετικά φτωχό σε πληροφοριακό υλικό)

- Επί τόπου επίσκεψη και επιθεώρηση από ομάδα (τεχνικό προσωπικό και ερευνητές) του Εργαστηρίου Δομικών Υλικών και με την ενεργό συμμετοχή τελειοφοίτων φοιτητών του Α.Π.Θ. και κατά περίπτωση των τελειοφοίτων των άλλων πανεπιστημιακών ιδρυμάτων που προαναφέρθηκαν. Στην οργάνωση των επισκέψεων αυτών βοήθησε σημαντικά η ΔΕΗ.

Η επί τόπου επιθεώρηση περιλάμβανε:

- Οπτική και φωτογραφική καταγραφή των βλαβών που παρουσιάζονται μέσα στις γαλαρίες και στις εκτεθειμένες όψεις ή επισκέψιμα τμήματα.
- Μετρήσεις με κρουσίμετρο (αναπηδήσεις Schmidt Rebound Hammer) όλων των block του σώματος του φράγματος κατά μήκος των γαλαριών.
- Πυρηνοληψία περιορισμένου αριθμού πυρήνων από θέσεις εντός της γαλαρίας ή των όψεων που υπήρχε πρόσβαση.
- Θραύση πυρήνων.
- Μικροδομικά χαρακτηριστικά των σκυροδεμάτων.
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα δεδομένα για κάθε ένα από τα φράγματα που εξετάστηκαν.

### 3.1 Δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν

Τα φράγματα είναι μεγάλου ύψους κατασκευές σε εξαιρετικά δύσβατες θέσεις και η προσβασιμότητα ανάντη, κατόντη και κοντά στη θεμελίωση ήταν αδύνατη εκτός μιας περίπτωσης στο Λάδωνα όπου λόγω εργασιών ανάντη, η στάθμη του νερού στη λεκάνη είχε κατέβει και με πολύ δυσκολία έγιναν μετρήσεις κοντά σε ένα αντέρεισμα. Κύριο πρόβλημα, εφόσον δεν διακόπτεται η λειτουργία του φράγματος, είναι στην επιθεώρηση η προσβασιμότητα. Αποφασίστηκε να ελεγχθεί το σκυρόδεμα με μετρήσεις κατά μήκος των γαλαριών όπου όμως λόγω της δυσκολίας μεταφοράς της καρотиέρας, λόγω της στενότητας του χώρου, η πυρηνοληψία με καροτιέρα ήταν εξαιρετικά δύσκολη. Έτσι ελήφθησαν περιορισμένος αριθμός καρότων (8-15) μικρής σχετικά διαμέτρου (80 mm) γιατί δεν υπήρχε δυνατότητα χειρισμού μεγαλύτερου βάρους και ισχύος εξοπλισμού χωρίς την ύπαρξη ειδικής εγκατάστασης πρόσβασης.

## 4 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΛΑΔΩΝΑ

Τα δεδομένα του φράγματος είναι σύμφωνα με το υλικό αρχείου ΔΕΗ και αποτελούν σημειώσεις του Δρ. Μηχανικού Μαντοβάνη «Υδροηλεκτρικές Κατασκευές-Εγκαταστάσεις του Ομίλου ΕΝΤΙΣΟΝ». Η επίσκεψη στο φράγμα του Λάδωνα έγινε στις 16-17 Νοεμβρίου 2006.

### 4.1 Χαρακτηριστικά μικροδομής

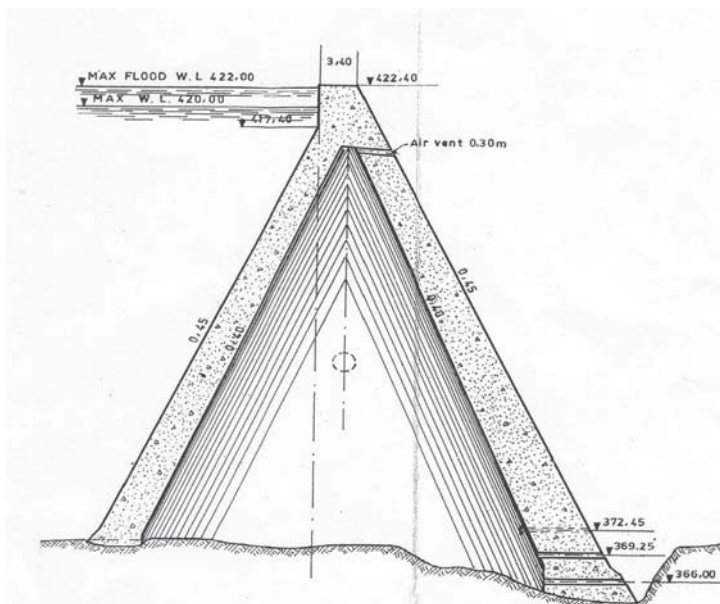
Τα αδρανή εμφανίζουν καλή επαφή με το τσιμεντόπηγμα και παρουσιάζουν μέγιστο κόκκο 5 cm. Το pH του σκυροδέματος κυμαίνεται στο 12.3. Η ανάλυση δείγματος νερού από τον ποταμό Λάδωνα έδειξε ότι περιέχονται σε αυτό χλωριούχα άλατα (9.82% κ.β), νιτρικά άλατα (6.87% κ.β), θειούχα άλατα(4.062% κ.β) ενώ οι πυρήνες περιέχουν κυρίως θειούχα άλατα (0.194% κ.β). Από την εξέταση με X-Ray diffraction analysis προκύπτει η παρουσία κυρίως Portlandite ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) Quartz ( $\text{SiO}_2$ ), Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) και δευτερευόντως Thenardite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), Mirabilite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) και Dolomite ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ).

Είναι αξιοσημείωτο ότι το σκυρόδεμα του εσωτερικού φράγματος, 50 χρόνια από την κατασκευή του δεν έχει ενανθρακωθεί.

## 4.2 Καταγραφή παθολογίας

Σε σκαρίφημα των όψεων στις οποίες έγιναν οι μετρήσεις έγινε φωτογραφική τεκμηρίωση όλων των θέσεων που παρουσίαζαν αλλοιώσεις. Γενικά φαίνονται ότι μεγαλύτερη φθορά παρουσιάζει ο 1<sup>ος</sup> εκχειλιστής με εκτεταμένες αποφλοιώσεις και ρηγματώσεις του σκυροδέματος της κοίτης και στις περιοχές των αρμών.

Η πολυγωνική δοκός του αντίβαρου πάνω από τον εκχειλιστή παρουσιάζει έντονη φθορά (μη επισκέψιμη από κοντά) καθώς και τα οπλισμένα στοιχεία πλάκας της γέφυρας πάνω στη στέψη.



Εικόνα 1. Εγκάρσια τομή του φράγματος Λάδωνα

Πίνακας 1. Κρουσιμετρήσεις σκυροδέματος του φράγματος Λάδωνα

Θέση πυρηνοληψίας	Μέση τιμή $\mu$ (MPa)	Τυπική Απόκλιση $s$ (MPa)	Συντελεστής μεταβλητότητας $v$ (%)
BLOCK 1	54.16	11.65	21.51
BLOCK 2	69.33	16.48	23.77
BLOCK 3	63.20	12.76	20.18
BLOCK 4	55.28	10.78	19.50
BLOCK 5	63.00	12.77	20.26

Πίνακας 2. Σονομετρήσεις σκυροδέματος του φράγματος Λάδωνα

Θέση Ελέγχου	Μέση τιμή (m/sec)	Τυπική Απόκλιση $s$ (m/sec)	Συντελεστής μεταβλητότητας $v$ (%)
BLOCK 1	0.464	0.07499	17.37
BLOCK 2	0.464	0.07499	17.37

Πίνακας 3. Αποτελέσματα θραύσης πυρήνων του φράγματος Λάδωνα

Θέση Πυρηνοληψίας	Κωδικός δείγματος*	Σονομέτρηστ επί τόπου u	Σονομέτρηστ εργαστηρίου	Δυναμικό Μ.Ε	Κρουσιμέτρηστ επί τόπου (MPa)	Θραύση Πυρήνων (MPa)
BLOCK 2	Θ1	4.648	4.648	>55	56.00	31.43
BLOCK 1	Θ2	4.843	4.843	49.5	56.67	27.05
BLOCK 2	Θ3	4.896	4.897	49.5	56.67	54.32
BLOCK 2	Θ4	4.383	-	-	50.33	24.88
BLOCK 2	Θ5	2.992	-	-	65.33	30.71
BLOCK 2	Θ6	2.917	4.383	49.5	42.00	24.97
BLOCK 2	Θ7	4.509	-	-	47.00	20.99
BLOCK 2	Θ8	5.050	-	-	45.00	25.20
BLOCK 2	Θ9	4.501	2.992	<27.5	55.33	24.18
BLOCK 2	Θ10	4.423	-	-	55.33	26.00
BLOCK 2	Θ11	-	2.917	<27.5	63.00	31.00
BLOCK 2	Θ12	-	4.509	39.0	67.00	25.21
BLOCK 2	Θ13	-	5.050	>55	67.00	-
BLOCK 2	Θ14	-	4.501	39.0	67.00	36.79
<b>M.O</b>				45.30	52.73	29.44

## 5 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΛΟΥΡΟΥ

Η επίσκεψη στο φράγμα έγινε στις 8 Ιουνίου 2007 και διήρκησε 2 ημέρες.

Στοιχεία του έργου:

Θέση: Ποταμός Λούρος, 50 km βορειοδυτικά της εκβολής στον Αμβρακικό

Χρόνος παράδοσης: 1954

Τύπος: Βαρύτητας τοξωτό μονής καμπυλότητας

Γεωμετρικά στοιχεία: Ύψος στη στέψη 18.50 m

Μήκος στέψης: 97.00 m

Όγκος: 12,000 m<sup>3</sup>

Γεωλογικά στοιχεία: Ασβεστολιθικά στρώματα

Στοιχεία για τα υλικά και την κατασκευή του φράγματος δεν υπάρχουν. Είναι σύγχρονο του Λάδωνα κατασκευάστηκε όμως από άλλη εταιρία (κοινοπραξία γαλλικής και ελληνικής). Στην Εικόνα 2 δίνεται εγκάρσια τομή όπου φαίνονται blocks του φράγματος και η θέση των δύο στοών που το διατρέχουν. Στην κατάντη πλευρά λόγω της λειτουργίας του φράγματος και ως υπερχειλιστή, υπάρχει σύστημα καταστροφής της ενέργειας που είναι αγκυρωμένο στον πόδα κατάντη του φράγματος. Οι μετρήσεις με κρουσίμετρο συνολικά και ανά block δίνονται αντίστοιχα στον Πίνακα 4 ενώ οι μετρήσεις με το σονόμετρο δίνονται αντίστοιχα στον Πίνακα 5. Τα αποτελέσματα της θραύσης των πυρήνων και οι μετρήσεις πεδίου και εργαστηρίου στις θέσεις των πυκνοληψιών δίνονται στον Πίνακα 6.

### 5.1 Χαρακτηριστικά μικροδομής

Τα αδρανή γενικά εμφανίζουν καλή επαφή με το τσιμεντόπηγμα εκτός ορισμένων περιπτώσεων όπου παρατηρούνται κενά στη διεπιφάνεια αδρανών τσιμεντοπήγματος. Επίσης οι διάμετροι των κόκκων ποικίλουν με μέγιστο κόκκο τα 7.50 cm. Έντονη είναι η παρουσία πόρων στους πυρήνες με μέγιστη διάμετρο 0.80 cm ενώ το πορώδες είναι 3.582. Το pH του σκυροδέματος είναι 11.90

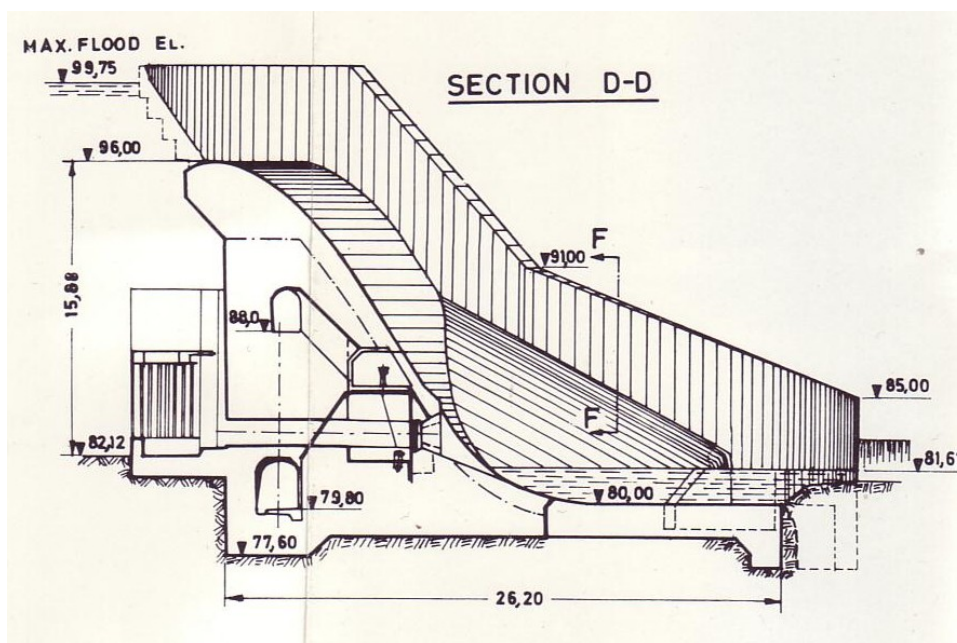
ενώ του νερού είναι 8.15 και η ολική σκληρότητα αυτού 114 mg/l που σημαίνει νερό μέτριας σκληρότητας.

Είναι αξιοσημείωτο ότι το σκυρόδεμα του εσωτερικού φράγματος 50 χρόνια από την κατασκευή του δεν έχει ενανθρακωθεί.

## 5.2 Καταγραφή παθολογίας

Έγινε οπτική παρατήρηση και τεκμηρίωση ανάντη και κατόντη εσωτερικά των στοών. Έτσι υπάρχει εικόνα του κάθε αρμού με χαρακτηρισμό φθοράς. Υπάρχουν διαρροές στους αρμούς και έκπλυση του σκυροδέματος στη γύρω των διαρροών περιοχή. Το block 4 παρουσιάζει την πιο έντονη παθολογία με αποθέσεις σκουρόχρωμων αλάτων. Σε πολλές θέσεις το σκυρόδεμα δεν είναι επαρκώς συμπυκνωμένο.

Στην επιφάνεια του υπερχειλιστή στις θέσεις των αρμών 3,4 και 5 το σκυρόδεμα παρουσιάζει αποφλοίωση με βάθος 10-15 cm.



Εικόνα 2. Τυπική εγκάρσια τομή φράγματος Λούρου

Πίνακας 4. Κρουσιμετρήσεις σκυροδέματος του φράγματος Λούρου

Θέση Πυρηνοληψίας*	Μέση τιμή μ (MPa)	Τυπική Απόκλιση s (MPa)	Συντελεστής μεταβλητότητας ν (%)
BLOCK 1	45.10	11.65	21.51
BLOCK 2	49.47	16.48	23.77
BLOCK 3	48.53	12.76	20.18
BLOCK 4	48.85	10.78	19.50
BLOCK 5	47.43	12.77	20.26

Πίνακας 5. Σονομετρήσεις σκυροδέματος του φράγματος Λούρου

Θέση ελέγχου*	Μέση τιμή (m/sec)	Τυπική Απόκλιση s (m/sec)	Συντελεστής μεταβλητότητας v (%)
BLOCK 1	4.898	0.160	3.284
BLOCK 2	4.812	0.954	19.83
BLOCK 3	4.932	0.706	14.31
BLOCK 4	4.907	0.949	19.35
BLOCK 5	4.939	0.949	19.23

Πίνακας 6. Αποτελέσματα θραύσης πυρήνων του φράγματος Λούρου

Θέση Πυρηνοληψίας*	Κωδικός δείγματος	Σονομέτρηση επί τόπου u	Σονομέτρηση εργαστηρίου	Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας	Κρουσιμέτρηση επί τόπου (MPa)	Θραύση Πυρήνων (MPa)
3	K1	4.648	4.648	>55	48	13.91
3	K2	4.843	4.843	49.5	50	2.054**
3	K3	4.896	4.897	49.5	42	16.48
3	K4	4.383	-	-	65	31.76
3	K5	2.992	-	-	55	29.08
2	K6	2.917	4.383	49.5	55	28.54
3	K7	4.509	-	-	>70	1.33**
2	K8	5.050	-	-	53	26.64
2	K9	4.501	2.992	<27.5	51	36.37
<b>M.O</b>				49.5	52.4	26.11

\* Οι μετρήσεις έγιναν σε υγιείς επιφάνειες σκυροδέματος

\*\* Εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη

## 6 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΑΥΡΩΠΟΥ (Πλαστήρα)

Η επίσκεψη έγινε στις 12 Απριλίου 2007 και διήρκησε 2 ημέρες.

Τα στοιχεία του φράγματος είναι:

Θέση: Ποτάμι Μέγδοβα, 35 km από Καρδίτσα.

Τύπος: Τοξωτό διπλής καμπυλότητας.

Γεωμετρία: Ύψος στη στέψη 82 m, Μήκος/Πλάτος στέψης 220/3.20.

Όγκος σκυροδέματος: 100,000 m<sup>3</sup>.

Σήραγγα ωοειδούς διατομής 1.50 m πλάτους 2-2.20 m ύψους.

Γεωλογικά: Θεμελίωση σε στρώμα συμπαγών ασβεστόλιθων λίγο διαπερατών σε βάθος 4-5 m κάτω από την κοίτη του ποταμού. Κατασκευάστηκαν διαφραγματικές κουρτίνες σε βάθος 40 m και 24 m.

Για το σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκαν αδρανή της περιοχής. Τσιμέντο με 10% πρόσμιξη θηραϊκής γης στο κλίνκερ και σε ποσότητα 250 kg/m<sup>3</sup>. Χρησιμοποιήθηκε αερακτικό FRO-8. Σε προκαταρκτική μελέτη στο ΕΜΠ\* επιτεύχθηκαν εκείνη την εποχή αντοχές της τάξεως των 300-400 kg/cm<sup>2</sup> με απαιτούμενη αντοχή γύρω στα 250 kg/cm<sup>2</sup>.

Το 1977 κατά την έκθεση Stucky\*\* (αρχείο ΔΕΗ/ΔΕΥ) έγινε επιθεώρηση των μετρητικών οργάνων και της ευστάθειας που παρουσιάζει το φράγμα. Ελέγχθηκαν οι μετακινήσεις ανάντη και κατόντη

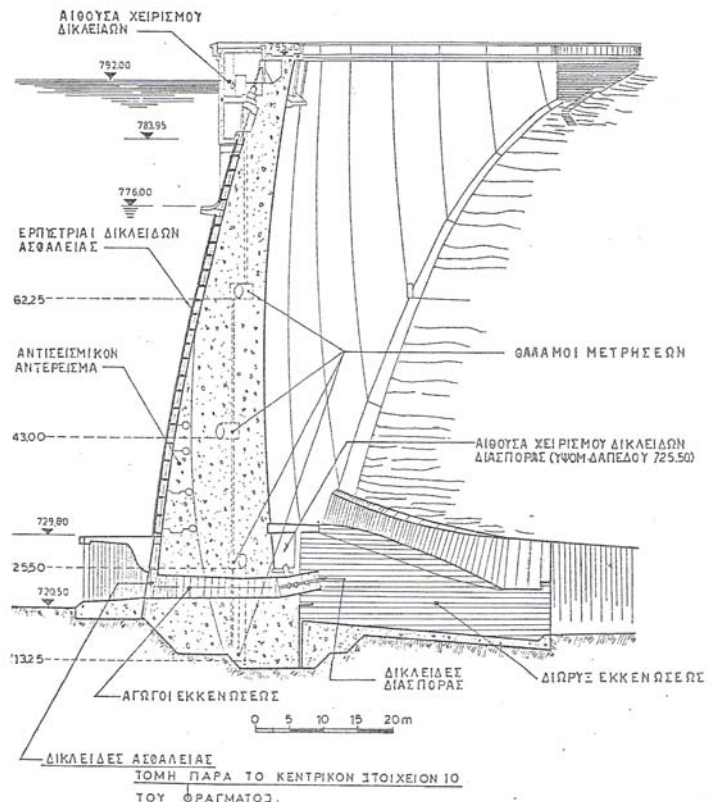


για διάφορα επίπεδα στάθμης νερού με τα ενσωματωμένα εκκρεμή A,B,C και βρέθηκε ότι το φράγμα λειτουργεί όπως αναμενόταν.

\* ΔΕΗ Δ. ΠΑΠΑΛΕΟΝΑΡΔΟΣ 'ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΤΑΥΡΩΠΟΥ, 1977

\*\* ΔΕΗ ΦΡΑΓΜΑ ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΠΛΑΣΤΗΡΑ, Έκθεση Stucky (σχετικά με την εκτίμηση του φράγματος μετά 17 χρόνια εκμετάλλευσης)

Τα αποτελέσματα των κρουσιμετρήσεων φαίνονται στον Πίνακα 7, των σονομετρήσεων στον Πίνακα 8 και της θραύσης των πυρήνων στον Πίνακα 9.



Εικόνα 3. Εγκάρσια τομή φράγματος Ταυρωπού με τις στοές που διατρέχουν το φράγμα κατά μήκος

### 6.1 Χαρακτηριστικά μικροδομής

Εξετάστηκαν με το μικροσκόπιο τα 12 δοκίμια (πυρήνες) που ελήφθησαν από το φράγμα. Από τις παρατηρήσεις συνάγεται ότι η διεπιφάνεια αδρανών-τσιμεντοπήγματος είναι γενικά καλή. Υπάρχουν πόροι διαμέτρου μέχρι 0.80 cm. Τα αδρανή είναι γωνιώδη 6 έως 14 cm και παρατηρήθηκαν και προϋπάρχουσες ρηγματώσεις στο αρχικό πέτρωμα του αδρανούς. Έλεγχος ενανθράκωσης με φαινολοφθαλείνη έδειξε ότι δεν έχει προχωρήσει καμία ενανθράκωση.

Το pH του σκυροδέματος είναι 10.95 και του νερού δεξαμενής 7.49. Από δείγματα κρυστάλλων αλάτων που ελήφθησαν από τους αρμούς συστολής του φορέα και εξετάστηκαν στο χημείο διαπιστώθηκε η παρουσία θειούχων κυρίως αλάτων και το pH αυτών είναι 9.3. Τα περιεχόμενα στο νερό άλατα είναι χλωριούχα άλατα (4.48 % κ.β), νιτρικά άλατα (0.43 % κ.β), θειούχα άλατα (10.11 % κ.β), ενώ στους πυρήνες εντοπίζονται κυρίως θειούχα άλατα (0.33% κ.β). Το πορώδες είναι 4.342.



Πίνακας 9. Αποτελέσματα θραύσης πυρήνων του φράγματος Ταυρωπού

Θέση Πυρηνοληψίας	Κωδικός δείγματος	Σονομέτρηση επί τόπου u	Σονομέτρηση εργαστηρίου	Δυναμικό Μέτρο Ελαστικότητας	Κρουσιμέτρηση επί τόπου (MPa)	Θραύση Πυρήνων (MPa)
BLOCK 2	Θ1	4.648	4.648	>55	56.00	31.43
BLOCK 1	Θ2	4.843	4.843	49.5	56.67	27.05
BLOCK 2	Θ3	4.896	4.897	49.5	56.67	54.32
BLOCK 2	Θ4	4.383	-	-	50.33	24.88
BLOCK 2	Θ5	2.992	-	-	65.33	30.71
BLOCK 2	Θ6	2.917	4.383	49.5	42.00	24.97
BLOCK 2	Θ7	4.509	-	-	47.00	20.99
BLOCK 2	Θ8	5.050	-	-	45.00	25.20
BLOCK 2	Θ9	4.501	2.992	<27.5	55.33	24.18
BLOCK 2	Θ10	4.423	-	-	55.33	26.00
BLOCK 2	Θ11	-	2.917	<27.5	63.00	31.00
BLOCK 2	Θ12	-	4.509	39.0	67.00	25.21
BLOCK 2	Θ13	-	5.050	>55	67.00	-
BLOCK 2	Θ14	-	4.501	39.0	67.00	36.79
M.O						29.44

## 7 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όσον αφορά τα μηχανικά χαρακτηριστικά και για τα τρία φράγματα οι μετρήσεις δίνουν δύο επίπεδα αντοχών ένα υψηλό βάσει των κρουσιμετρήσεων και ένα χαμηλό βάσει της θραύσης, τα οποία έχουν μεγάλη απόκλιση. Οι αντοχές κρουσιμέτρου κυμαίνονται από 55 έως 65 MPa και αυτές της θραύσης καρótων από 23 έως 27 MPa. Αυτή η συστηματική απόκλιση που δεν είναι συνήθης στα συμβατικά σκυροδέματα όπου η εκτιμηθείσα αντοχή με κρουσίμετρο αποκλίνει  $\pm 25\%$  της αντοχής θραύσης {7}, οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

Στο μαζικό σκυρόδεμα το κλάσμα των χονδροκόκκων αδρανών είναι μεγάλο όπως και το μέγεθος των κόκκων με συνέπεια στην αναπήδηση του εμβόλου του κρουσιμέτρου να συμμετέχει σε μεγάλο ποσοστό το αδρανές υλικό και συμβαίνει μια πλασματική υπερτίμηση της αντοχής. Η επιρροή των χονδροκόκκων είναι γνωστή {8} στο συμβατικό σκυρόδεμα, αλλά για τα φτωχά σε τσιμέντο μαζικά σκυροδέματα δεν βρέθηκαν σχετικοί διορθωτικοί συντελεστές. Από την άλλη πλευρά οι μεγάλοι κόκκοι στη δομή του σκυροδέματος αποτέλεσαν αιτία ιδιαίτερης διατάραξης του υλικού κατά την κοπή του σκυροδέματος και αλλοιώνεται ένα ποσοστό (μειώνεται) η αντοχή σε θραύση. Μεγαλύτερων διαστάσεων πυρήνες 20-25cm και σε βάθη 0. 60m συνιστώνται για τη περίπτωση αλλά εξηγήθηκε ήδη η δυσκολία που συναντήθηκε γι' αυτό. Βάσει της εμπειρίας που υπάρχει με τα δεδομένα της τεχνογνωσίας της εποχής για ποσότητες τσιμέντου γύρω στα 250 kg/m<sup>3</sup> και λόγο τσιμέντου/νερού γύρω στο 0.5 η αναμενόμενη αντοχή ενός μίγματος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 30 MPa. Παρόλο που δεν υπάρχουν δεδομένα απαιτούμενης αντοχής σχεδιασμού του σκυροδέματος συνάγεται ότι αυτή πρέπει να ήταν γύρω στα 25 MPa. Προτείνεται λοιπόν, εν γνώσει μιας μερικής υποτίμησης της πραγματικής αντοχής, να γίνει εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών με βάση την αντοχή θραύσης των καρótων ώστε οποιαδήποτε επανεκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του σκυροδέματος του φράγματος να είναι προς το μέρος της ασφαλείας. Οι τιμές του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας δίνονται από τις σονομετρήσεις. Από την παρουσίαση

των μετρήσεων όμως βγαίνουν συμπεράσματα σχετικά με την ομοιομορφία των αναμιγμάτων του σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκε. Έτσι συνοπτικά τα μετρούμενα μηχανικά χαρακτηριστικά για το κάθε φράγμα είναι:

Σύμφωνα με τον Raphael {9} εφελκυστική αντοχή που είναι απαραίτητη για τον επαναυπολογισμό των φραγμάτων μπορεί να ληφθεί από ένα σχετικό διάγραμμα της βιβλιογραφίας που για τα υπό συζήτηση φράγματα δίνει:

ΦΡΑΓΜΑ ΛΑΔΩΝΑ	Στατική εφελκυστική αντοχή 3.0 MPa Σεισμική εφελκυστική αντοχή 4.4 MPa
ΦΡΑΓΜΑ ΛΟΥΡΟΥ	Στατική εφελκυστική αντοχή 3.5 MPa Σεισμική εφελκυστική αντοχή 5.0 MPa
ΦΡΑΓΜΑ ΤΑΥΡΩΠΟΥ	Στατική εφελκυστική αντοχή 3.0 MPa Σεισμική εφελκυστική αντοχή 4.4 MPa

Κατά την εξέταση της μικροδομής δε φαίνεται να υπάρχουν προβλήματα όπως αλκαλιοπυριτική αντίδραση, θεική προσβολή, αποσάθρωση από παγετό και η εικόνα είναι γενικά καλή. Από την εξέταση και καταγραφή μπορεί να λεχθεί ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαρροές. Οι φθορές είναι μάλλον εντοπισμένες στους αρμούς όπου λόγω της στάλαξης εκπλύνονται άλατα, κυρίως ανθρακικά και θεικά και αλλοιώνεται επιφανειακά το σκυρόδεμα της περιοχής. Με βάση τα σκαριφήματα της καταγραφής μπορεί να δοθεί σχετική προτεραιότητα. Βλάβες σοβαρότερες παρουσιάζουν οι υπερχειλιστές και άλλα οπλισμένα στοιχεία που πρέπει να συντηρηθούν.

#### ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Report of New Jersey Dept. of Environmental Protection (njdep) "Dam Safety in New Jersey Failure Modes for Dams"
2. Dept. of natural Resources Division of Water "INDIANA DAM SAFETY INSPECTION MANUAL" PART 1 Edition 2003 Chapter 1
3. Στεφανάκος Ι., Τσικνάκου Π., «Τεχνικές, Οικονομικές και Περιβαλλοντικές Εμπειρίες και Συμπεράσματα από τη χρήση Επεξεργασμένης Τέφρας στην κατασκευή του φράγματος Πλατανόβρυσης» Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Συνέδριου ΕΒΙΠΑΡ, Αξιοποίηση Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στην Δόμηση, Θεσ/νίκη 2005 pp 383-394 έκδοση Ι.Παπαγιάννη, Στ.Τσίμας
4. U.S.Army Corps of Engineers CECW-EG Engineer Manual 1110- 2-2002 pp 8.58-8.68
5. ACI 210.1R-99 "Compendium of Case History on Repair of Erosion-Damaged Concrete in Hydraulic Structures" reported by ACI Committee 210
6. Dept. of Nature Resources Division of Water "INDIANA DAM INSPECTION MANUAL" PART 1 Edition 2003 Chapter 5
7. Neville A.M., "Properties of concrete" pp 630-631, 2000
8. Tanigawa and others, "Estimation of concrete Strength By Coordinated Non destructive Testing Method" ACI SP-82 Editor V.M. "Properties of Concrete" pp 57-76,1984
9. Raphael J., J. ACI, proc. Vol.81 No2 pp 158-164, 1954

# Survey of old concrete dams

J. Papayianni

*Professor, Aristotle University of Thessaloniki*

J. Stefanakos

*Lecturel, National Technical University of Athens*

N. Mitsigiorgis

*Civil Engineer, PPC/DEY*

A. Uzounidou

*last year student, Civil Engineering Dept. AUT*

A. Paliokosta

*last year student, Civil Engineering Dept. AUT*

**ABSTRACT:** In Greece there are some concrete dams which belong and are supervised by Public Power Corporation (PPC) Dept. of Hydroelectric Projects. There have been constructed after 2<sup>d</sup> World War, with plain mass concrete and they have completed around 50 years in service. Apart from measurements taken by the incorporated instrumentation to the dam which are related to dam stability, no any survey of the concrete blocks has been made up today. In the frame of a research project sponsored by PPC, the Aristotle University Laboratory of Building Materials, undertook the scientific responsibility of estimating the residual mechanical characteristics of the dam and the recording of their pathology symptoms. Three dams of the decade 1950-1960, those of Ladonas, Louros and Tavropos where first surveyed. At first relevant informative materials were selected from the PPC's archives. Non destructive methods such us Schmidt Rebound Hammer and Ultra sonic Velocity Tests were used. Optical observations were also documented by photos. In addition, a number of cores from the inside of the dam body were taken and tested in the laboratory, not only in compression but also for finding micro structure characteristics such as porosity, pH values, content in soluble salts. Furthermore, a record of all damages was made by using a friendly convenient data system.