

**ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ : CFRD
ΜΕΣΟΧΩΡΑΣ, RCC ΠΛΑΤΑΝΟΒΡΥΣΗΣ**

**USE OF NEW TECHNIQUES IN DAM CONSTRU-
CTION IN GREECE : C.F.R.D. MESSOHORA
AND RCC PLATANOVRISSI DAMS**

Δρ. Ι.ΘΑΝΟΠΟΥΛΟΣ * , Δ.ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ **

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού - Δ/ση Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων, αξιοποιώντας μία μακρόχρονη εμπειρία στην κατασκευή Φραγμάτων , & γενικά μεγάλων έργων, αναπτύσσει τα τελευταία χρόνια σημαντική δραστηριότητα στον τομέα των Νέων Τεχνολογιών με την κατασκευή των φραγμάτων Μεσοχώρας & Πλατανόβρυσης. (C.F.R.D. & R.C.C. αντίστοιχα).

Το άρθρο παρουσιάζει τις σημαντικότερες πτυχές της τεχνικής κατασκευής των δύο έργων με έμφαση στην πρωτοτυπία των λύσεων που εφαρμόσθηκαν & τα πλεονεκτήματά τους, καθώς & στο όφελος που προκύπτει από την απόκτηση της τεχνογνωσίας από το Ελληνικό Μελετητικό & κατασκευαστικό δυναμικό.

ABSTRACT

The Hydroelectric Projects Development Department of Public Power Corporation has an important experience in Dam Design and Construction.

The Department activities are expanding during the last years in the field of "new" construction techniques such as the Concrete Faced and the Roller Compacted Concrete dams.

This article presents the main Features of the Construction techniques used in Messohora C.F.R.D. and in Platanovryssi R.C.C. and highlights the benefit for the Greek design and construction potential.

* Δρ. Μηχανικός, Αν. Δ/ντής Εργοταξίου Θεσσαλίας ΔΕΗ.

** Πολ. Μηχανικός , Εργοτάξιο Νέστου ΔΕΗ.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνολογία των κατασκευών στον τομέα των Υδραυλικών έργων, είναι διαρκώς εξελισσόμενη και εξαρτώμενη από παράγοντες όπως η ανάπτυξη των μεθόδων μελέτης & υπολογισμού, η ανανέωση - βελτιστοποίηση του εξοπλισμού κατασκευής, η συσσώρευση εμπειρίας από πολλά έργα σε δύσκολες συνθήκες κλπ.

Η χρησιμοποίηση νέων τεχνολογιών τις τελευταίες δεκαετίες είναι μία παράμετρος που επηρεάζει πολύ σημαντικά την εκτέλεση των έργων αξιοποίησης των Υδατικών πόρων της χώρας μας αυξάνοντας τις δυνατότητες επιλογής τεχνικών λύσεων με άμεσα θετικά αποτελέσματα στην οικονομικότητα.

Παραδείγματα εφαρμογής στον Ελληνικό χώρο νέων μεθόδων κατασκευής φραγμάτων αποτελούν τα έργα Μεσοχώρας & Πλατανόβρυσης.

Το 150 μ. ύψους Φράγμα Μεσοχώρας (υψηλότερο στην Ευρώπη στον τύπο του) είναι λιθόρριπτο με στοιχείο στεγάνωσης πλάκα από σκυρόδεμα (C.F.R.D.) επιφάνειας 55.000 m² & μέσου πάχους 0,5 μ.

Το φράγμα Πλατανόβρυσης ύψους 95 m κατασκευάζεται από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (R.C.C.) όγκου 400.000 m³.

1.ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Η χρησιμοποίηση του σκυροδέματος ως του κυρίως δομικού στοιχείου στην κατασκευή των φραγμάτων είναι μία πολύ διαδεδομένη τεχνική με ευρεία εφαρμογή σε πολλές χώρες του κόσμου. Εντυπωσιακά παραδείγματα κατασκευών από σκυρόδεμα μπορεί κανείς εύκολα να απαριθμήσει όπως: Το φράγμα βαρύτητας Grande Dixence (1961) ύψους 285m στην Ελβετία, το τοξωτό φράγμα Inguri (1980) ύψους 272m στην πρώην Σοβιετική Ένωση, το τοξωτό φράγμα Vajont (1961) ύψους 262m στην Ιταλία το οποίο μάλιστα άνθεξε την φόρτιση υπερπήδησής του από πλημμυρικό κύμα που προκλήθηκε από την γνωστή καταστροφική κατολίσθηση στα πρανή του ταμιευτήρα.

Η κατανόηση της συμπεριφοράς των υψηλών επιχώματων από γαιώδη ή βραχώδη υλικά αλλά κυρίως η εξέλιξη των κατασκευαστικών μεθόδων και του εξοπλισμού εξόρυξης, διάστρωσης και συμπύκνωσης, σε συνδυασμό με την οικονομικότητα που προέκυπτε από την χρησιμοποίηση και μέρους των προϊόντων της εκκαφής σε διάφορα τμήματα του έργου, προκάλεσε τις τελευταίες δεκαετίες την ραγδαία ανάπτυξη των φραγμάτων από επίχωμα με παραδείγματα παγκοσμίως όπως τα παρακάτω: Rogun (1990) ύψους 300m, Nurec (1980) ύψους 300m στην τέως Σοβιετική Ένωση, Chicoasen (1980) ύψους 261m στο Μεξικό και στην χώρα μας τα φράγματα του Θησαυρού Νέστου (1994) ύψους 172m, των Κρεμαστών (1965) ύψους 165m κ.α

Από την εποχή που άρχισε να μ. 90' να κατασκευάζονται φράγματα από επίχωμα και την ραγδαία ανάπτυξη τους έφθασε τα τελευταία 15 χρόνια η μία σημαντική ώθηση στην εξέλιξη της τεχνολογίας των επίχωματων στην κατασκευή των φραγμάτων που βρισκόταν σε στασιμότητα για πολλές δεκαετίες.

Αυτό βασικά έγινε με την υιοθέτηση μεθόδων που χρησιμοποιούνται στις επιχώματα, με σημαντικό οικονομικό όφελος για τα έργα. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών αποτελούν τα φράγματα από κυλινδρούμενο

σκυρόδεμα (Roller Compacted Concrete) και τα λιθόρριπτα φράγματα με ανάντη πλάκα σκυροδέματος (Concrete Face Rockfill Dams). Στην Ελλάδα υπάρχουν παραδείγματα και των δύο τελευταίων τυπων φραγμάτων το ύψος των οποίων μάλιστα βρίσκεται κοντά στο μέγιστο καταγραφόμενο παγκοσμίως: Πλατανόβρυση (R.C.C) ύψους 95m και Μεσοχώρα (C.F.R.D) ύψους 150m (Ι.Θανόπουλος,1994).

Στον τύπο φράγματος όπως αυτό της Μεσοχώρας (C.F.R.D) η πλάκα σκυροδέματος αποτελεί το στοιχείο στεγάνωσης που λειτουργεί σαν μεμβράνη, εδραζόμενη στην ανάντη παρειά του επιχώματος. Η διεθνής εμπειρία απο την κατασκευή όλο και υψηλότερων φραγμάτων του τύπου αυτού κατά τα τελευταία χρόνια οδήγησε στην βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της πλάκας σκυροδέματος ώστε με την έντεχνη κατασκευή αρμών διαστολής, να αντιμετωπίζονται τα προβλήματα παραμόρφωσής της υπό την υδραυλική φόρτιση του ταμιευτήρα (J.B. Cooke, J.L. Sherard, 1985).

2.ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΜΕ ΑΝΑΝΤΗ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (CONCRETE - FACE ROCKFILL DAMS)

Πρόκειται για κατασκευές επιχώματων (συνήθως απο λιθορριπή) επί των οποίων εδράζεται πλάκα σκυροδέματος στην ανάντη παρειά, κατασκευασμένη με ειδικό εξοπλισμό. Ολο και υψηλότερα φράγματα του τύπου αυτού κατασκευάζονται παγκοσμίως (πίνακας 1).

Πίνακας 1.Μερικά C.F.R.D ύψους άνω των 125m (B. Materon, 1992)

No	Όνομα	Έτος Περαιτώσεως	Ύψος m	Επιφάν.Πλάκ.	Κράτος
1	Aquamilpa	1993	187	135.000	Mexico
2	Tiangshenggiao	1993	180	168.000	China
3	Foz do Areia	1980	160	138.000	Brazil
4	Messochora	1994	150	51.000	Greece
5	Salvajina	1985	148	57.460	Colombia
6	Segredo	1992	145	92.000	Brazil
7	Alto Anchicaya	1974	140	22.300	Colombia
8	Xingo	1994	140	122.000	Brazil
9	Khao Laem	1984	130	125.000	Thailand
10	Colillas	1978	125	14.300	Colombia

Οι προϋποθέσεις εξέτασης της λύσεως κατασκευής ενός φράγματος με ανάντη πλάκα σκυροδέματος είναι οι παρακάτω (Australian Nat. Committee of Large Dams 1991):

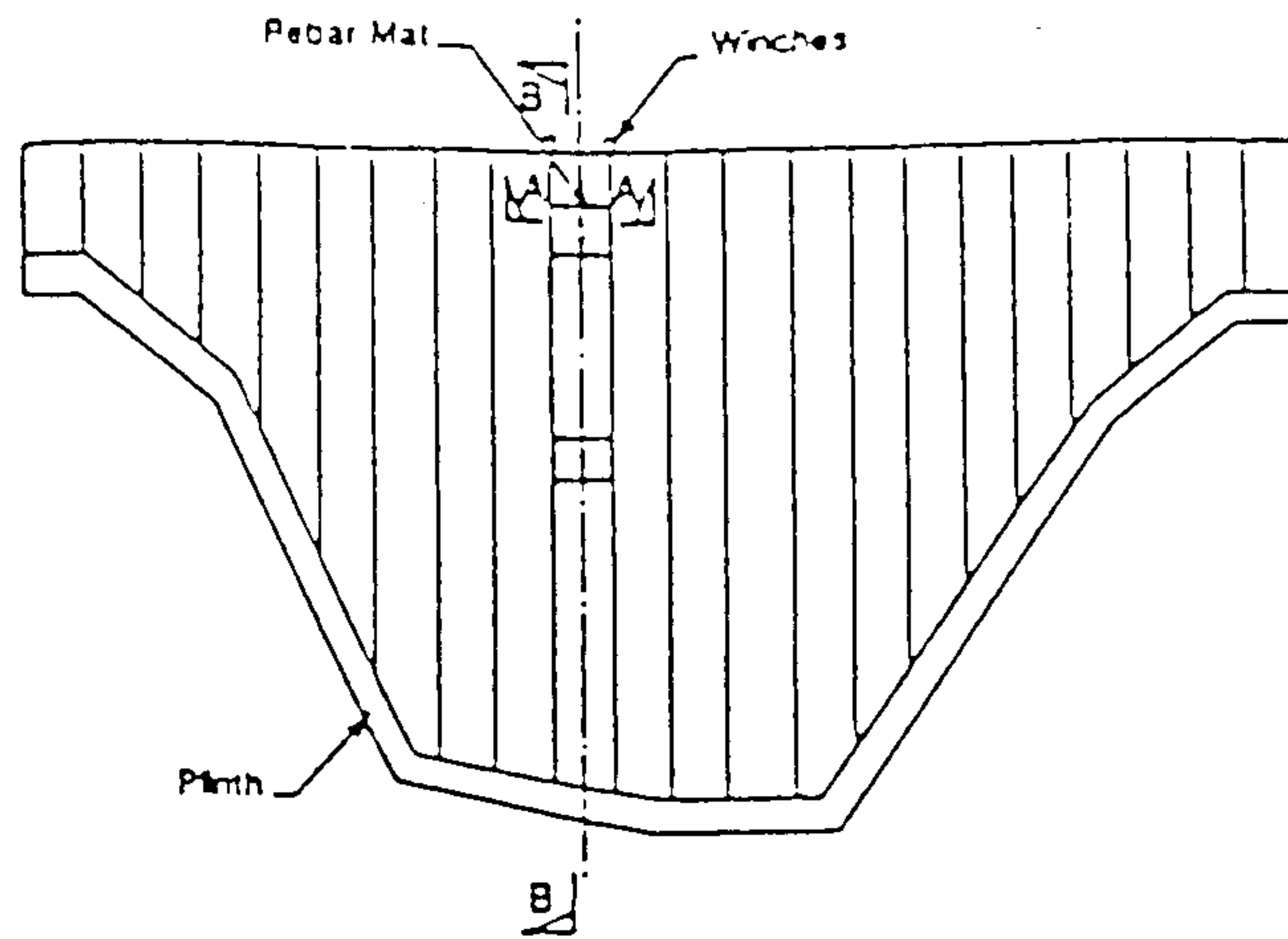
Υπαρξη βραχώδους θεμελίωσης καλής ποιότητας για την έδραση της πλίνθου (του θεμελίου της πλάκας σκυροδέματος στα αντερείσματα και στην κοίτη).

Δυνατότητα εξόρυξης υλικού λιθορριπής υγιούς συστάσεως ή βραχίονας για την κατασκευή του επιχώματος.

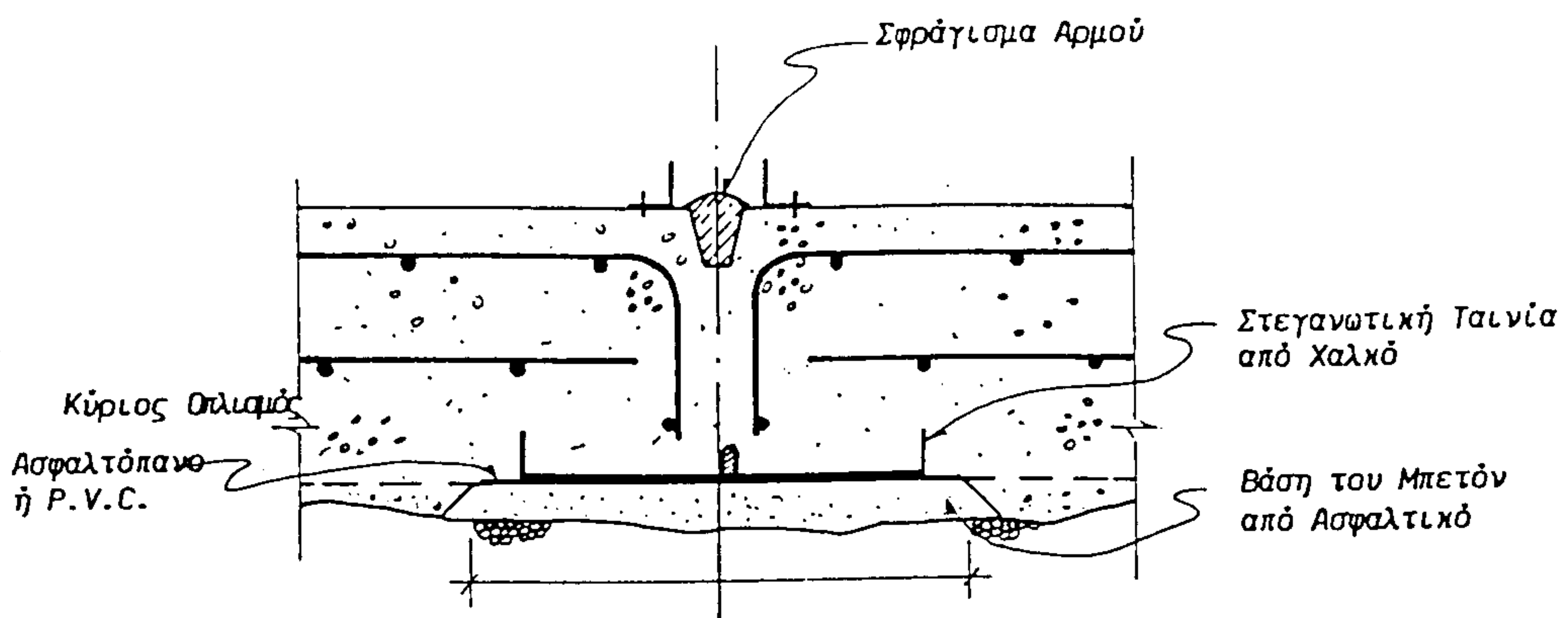
Δυνατότητα εξόρυξης υλικού λιθορριπής υγιούς συστάσεως ή βραχίονας για την κατασκευή φραγμάτων τμήσης.

Δυνατότητα οικονομοτεχνικής λύσεως τοποθέτησης του Εκχειλιστού στο αντερείσμα.

Τα πλεονεκτήματα των C.F.R.D. είναι πολλά, με κύρια αυτά της ευκολίας κατασκευής του λιθόρριπτου επιχώματος με οιοσδήποτε συνθήκες καιρού και της απεμπλοκής των εργασιών τιμεντένεσης, οι οποίες γίνονται απο την πλίνθο. Η πλάκα σκυροδέματος κατασκευάζεται με ανερχόμενο μεταλλότυπο ειδικής μορφής.



Σχ. 2-Οψη της πλάκας σκυροδέματος.



Σχ.3 Κατακόρυφοι Αρμοί πλάκας

Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στον σχεδιασμό των αρμών κοντά στα αντερείσματα (Αρμοί τύπου Β) στους οποίους προσετέθη σφραγιστική κάλυψη με υλικό μαστίχης (όπως και στον περιμετρικό αρμό πλίνθου-πλάκας) η οποία υπό την πίεση του νερού θα εισχωρήσει και θα μπλοκάρει το άνοιγμα σε περίπτωση σημαντικών μετακινήσεων.

Οι βάσεις απο τσιμεντοκονία πάνω στις οποίες στηρίζονται οι ταινίες του χαλκού αλλά και τα πλευρικά στοιχεία του μεταλλότυπου κατασκευάζονται σε κατακόρυφες λωρίδες ανά 15,0 η δε τοποθετησή τους στην επιφάνεια της ζώνης 2B όπως αυτή, έχει διαμορφωθεί μετά απο τις καθιζήσεις κατά την διάρκεια της κατασκευής, γίνεται μετά απο ολοκληρωμένη μελέτη (αποτύπωση σε κάρναβο 3x3m. της ανάντη παρειάς του φράγματος κ.λ.π) ώστε η πλάκα να έχει παντού το απαιτούμενο ελάχιστο θεωρητικό πάχος.

3.1.3.Εκτέλεση της σκυροδέτησης.

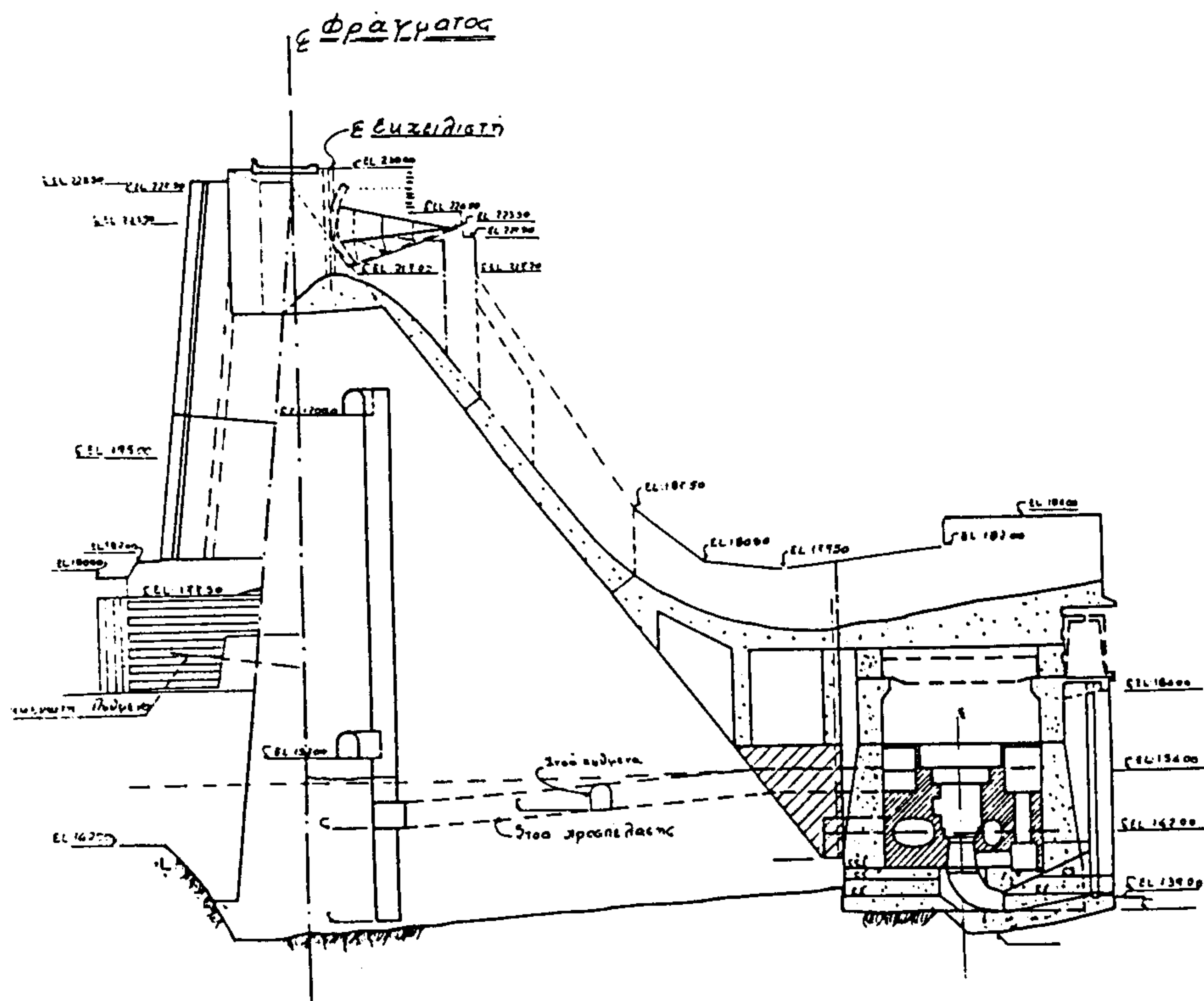
Το σύστημα σκυροδέτησης της Μεσοχώρας έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στο Φράγμα Foz do Areia (Πίνακας 1). Πρόκειται για σύστημα συνεχούς σκυροδέτησης , από την βάση του φράγματος προς την στέψη, μέγιστου μήκους συνεχούς διάστρωσης 260 μ. Ο μεταλλότυπος πλάτους 15,0 κινείται από δύο υδραυλικούς γρύλους έναν σε κάθε παρειά, φερόμενους σε σιδηροτροχιές. Η προχώρηση γίνεται με βήματα 1,10μ. Η κατασκευή περιλαμβάνει δύο πλατφόρμες : μια για την

διάστρωση και δόνηση του σκυροδέματος και μια για την μόρφωση της επιφάνειας. Ο ρυθμός σκυροδέτησης της πλάκας που επετεύχθη κατά την εκτέλεση της εργασίας ήταν 1100 μ²/ημέρα.

4.Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΠΛΑΤΑΝΟΒΡΥΣΗΣ ΜΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ (ROLLER COMPACTED CONCRETE - R.C.C.)

Το ΥΗΕ της Πλατανόβρυσης είναι το δεύτερο από τα τρία Φράγματα για την ανάπτυξη του Νέστου (τα άλλα δύο είναι ο Θησαυρός, λιθόρριπτο με αργιλικό πυρήνα και ύψους 170 μ., και το Τέμενος, βαρύτητας ύψους 51 μ.).

Το Υδροηλεκτρικό Έργο της Πλατανόβρυσης περιλαμβάνει εκτός από το Φράγμα βαρύτητας RCC ύψους 95 μ., Εκχειλιστή Σήραγγα, Εκχειλιστή επί του Φράγματος, Σταθμό Παραγωγής, Έργα Προσαγωγής και Εκκένωσης, Σήραγγες Εκτροπής, Αποστραγγίσεων και Τοιμεντενέσεων.



Σχ. 4. Τυπική Διατομή Φράγματος Πλατανόβρυσης.

4.1. Φράγμα με Σκυρόδεμα Κυλινδρικής Συμπύκνωσης.

Το Φράγμα είναι από τα υψηλότερα Σ.Κ.Σ. Φράγματα της Ευρώπης. Η μέθοδος Σ.Κ.Σ. (Σκυρόδεμα κυλινδρικής Συμπύκνωσης) συνδυάζει τα πλεονεκτήματα Φράγματος από σκυρόδεμα, δηλαδή μικρός όγκος, αδιαπέρατο υλικό, δυνατότητα υποδοχής υπερχειλιστή, με τις πολύ αποδοτικές μεθόδους χωματουργικών εργασιών εντάσεως μηχανικού εξοπλισμού. Η τυπική στρώση του Φράγματος περιλαμβάνει ανάντη και κατάντη στοιχεία όψεως, που κατασκευάζονται με διαστρωτήρα, και το

- Γίνεται χρήση λιγνιτικής προέλευσης τέφρας, υψηλής περιεκτικότητας σε ελεύθερα άσβεστο, μετά από ειδική επεξεργασία άλεσης και ενυδάτωσης.
- Υψηλή περιεκτικότητα μίγματος σε τέφρα.
- Σύστημα μεταφοράς σκυροδέματος με σωλήνα (επιννόησης της Αναδόχου).

4.2. Σκυρόδεμα Κυλινδρικής Συμπύκνωσης στο Φράγμα της Πλατανόβρυσης.

Στα πλαίσια της αξιοποίησης των υδάτων του ποταμού Νέστου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την άρδευση των πεδιάδων Δράμας, Νέστου, Ξάνθης και Κομοτηνής, την παροχή νερού για βιομηχανική χρήση και ύδρευση οικισμών, η ΔΕΗ, διαμέσου της αρμόδιας Διεύθυνσης Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Έργων (ΔΑΥΕ), προγραμμάτισε, μελέτησε και κατασκευάζει τρία υδροηλεκτρικά έργα "εν σειρά", αυτά του Θησαυρού, της Πλατανόβρυσης και του Τεμένους.

Το συνολικό κόστος επένδυσης και των τριών έργων ανέρχεται σε 235 δις δρχ. σε σημερινές τιμές, από τα οποία τα 50 δις δρχ. αφορούν το ΥΗΕ Πλατανόβρυσης.

Το Υδροηλεκτρικό Έργο Πλατανόβρυσης περιλαμβάνει το Φράγμα, ημιυπαίθριο Σταθμο Παραγωγής με δύο μονάδες Francis των 50 MW εκάστη, Εκχειλιστές επί του Φράγματος και Σήραγγα Εκχειλιστή συνδυασμένη με την Σήραγγα Εκτροπής για συνολική πλημμυρική παροχή 7.330 m³/sec καθώς και Συναφή Έργα (βλ. Τομή).

Το Φράγμα βαρύτητας από Σκυρόδεμα Κυλινδρικής Συμπύκνωσης (Σ.Κ.Σ.) ή Roller Compacted Concrete (R.C.C.) ύψους 95 m συνολικού όγκου 435.000 m³ θα είναι από τα υψηλότερα στην Ευρώπη. Το Σ.Κ.Σ. είναι σκυρόδεμα μηδενικής κάθισης διαστρωνόμενο σε στρώσεις (30 εκατοστών συνήθως), και συμπυκνούμενο με δονητικούς κυλινδρικούς οδοστρωτήρες.

Γεννεσιουργά αίτια και πρόδρομοι του Σ.Κ.Σ. μπορούν να θεωρηθούν :

- Η εξέλιξη της τεχνολογίας και της παραγωγικότητας των χωματουργικών μηχανημάτων, ώστε να καθίστανται ασύμφορα τα Φράγματα βαρύτητας από παραδοσιακό σκυρόδεμα σε όφελος των χαμάτινων και λιθόρριπτων Φραγμάτων, κυρίως από την δεκαετία του 1960 και μετά.

- Πρωτοποριακές κατασκευές, όπως αυτή του Φράγματος Alpe Gera στις Ιταλικές Άλπεις, ύψους 172 μέτρων, με πυρήνα από σκυρόδεμα ισχνό σε στρώσεις, χωρίς έλεγχο θερμοκρασίας, μεταφερόμενο με φορτηγά οχήματα, αλλά δονούμενο με δονητές μάζας και ακόμα τα αναχώματα του ΥΗΕ Tarbella στο Pakistan (2.7 εκατ. m³ Σ.Κ.Σ. μεταξύ 1974 και 1986).

- Ερευνητικές εργασίες και δοκιμαστικά επιχόματα στις ΗΠΑ, την Βρετανία και την Ιαπωνία.

Ένα Φράγμα από Σκυρόδεμα Κυλινδρικής Συμπύκνωσης συνδυάζει τα πλεονεκτήματα Φραγμάτων βαρύτητας με τις πολύ αποδοτικές μεθόδους εντάσεως εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται στα λιθόρριπτα και χωμάτινα Φράγματα.

Στο ΥΗΕ Πλατανόβρυσης το Σ.Κ.Σ. παρασκευάζεται από δίδυμο συγκρότημα παραγωγής σκυροδέματος ονομαστικής απόδοσης 2 χ

Στο Φράγμα είναι ενσωματωμένο σύστημα Σηράγγων Προσπέλασης, Αποστράγγισης και Τσιμεντενέσεων καθώς και δύο φρεάτια Προσπέλασης.

Η κατασκευή του Σκυροδέματος Ισοπέδωσης άρχισε τον Ιούλιο 1995, το τελευταίο δοκιμαστικό επίχωμα έγινε τον Σεπτέμβριο 1995 και η δάστρωση Σ.Κ.Σ. άρχισε την 18.10.95, με εργασία κατά βάσιν καθ' όλο το εικοσιτετράωρο πλην Κυριακής. Τον Μάιο 1996 η διάστρωση περιορίσθηκε την νύχτα και καθημερινά. Την 22.6.96, οπότε διεκόπησαν οι εργασίες στο Φράγμα, είχαν σκυροδετηθεί 360.000 μ³ (από 435.000 μ³) ή 214 (από 310) στρώσεις ή 63 μ. (από 95 μ.) ύψους Φράγματος, σε διάστημα 8 μηνών.

5.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- J.Barry Cooke, James L. Sherard : Concrete Face Rockfill Dams. Design, Construction and Performance. Proceedings of ASCE Symposium, Oct. 1985.

- Australian National Committee on Large Dams 1991 : Guidelines on Concrete - Faced Rockfill Dams.

- P.Lagos Marques Fifho, E.Maurer, N.Buhr Toniatti Deformation Characteristics of Foz do Areia C.F.R.D. 15o I.C.O.L.D. Congress Lausanne, June 1985.

- Nelson L. de S.Pinto : Concrete Face Rockfill Dams NATO ASI - LNEC Lisbon, 18 - 19 June 1990.

- Fitzpatrick, Mike D., Cole, Bruse A., Kinstler F.L., Knoop, Bram P : Design of Concrete Faced Rockfill Dams. ASCE Geotechn. Symposium, Detroit Oct. 1985.

Ι.Θανόπουλος, Ν.Καζίλης, σ. Φελέκος : Το επίχωμα του λιθόρριπτου φράγματος με πλάκα σκυροδέματος της Μεσοχώρας. 2ο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 1992.

- Ι. Θανόπουλος : Λιθόρριπτα - Χωμάτινα Φράγματα, Ειδικές Μορφές - Σεμινάριο Σχολής Τοπ. Μηχ. Α.Π.Θ. Ιαν. 1994.

- Casinader R.J., Rome G. : Cracking of upstream Concrete Membranes on Rockfill Dams with special Ref. to Winneke Dam, Australia. 15o I.C.O.L.D. Congress Lausanne, June 1985.

- B. Materon : Evolution in slab construction for the highest C.F.R.D. s Water Power and Dam Construction April 1992.

- Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού/Διεύθυνση Ανάπτυξης Υδροηλεκτρικών Εργων/ Διεύθυνση Επικοινωνίας, "Υδροηλεκτρική Αξιοποίηση Ποταμού Νέστου - Πολλαπλή Χρήση νερού", 1996.

- K.D. Hansen, W.G. Reinhardt, "Roller Compacted Concrete Dams", Mc Graw-Hill, 1991".