

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ Ο.Σ. - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

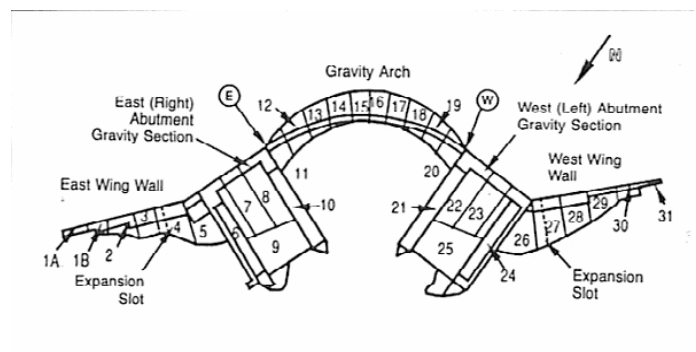
**ΚΑΡΥΟΥ ΦΛΩΡΕΝΤΙΑ
ΚΑΠΟΓΙΑΝΝΗΣ ΓΙΑΝΝΗΣ**

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει στόχο να παρουσιάσει τις μεθόδους που έχουν εφαρμοστεί στην επισκευή φραγμάτων οπλισμένου σκυροδέματος, οι οποίες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την φύση του προβλήματος σε επισκευές αρμών, ρωγμών και υποθαλάσσιες. Στις δύο πρώτες κατηγορίες παρουσιάζονται αναλυτικά παλαιότερες και σύγχρονες μέθοδοι, ενώ παράλληλα γίνεται αναφορά σε χαρακτηριστικά παραδείγματα επισκευασμένων φραγμάτων. Έπειτα γίνεται εκτενής παρουσίαση για τη φύση και την εφαρμογή των εξειδικευμένων υλικών που χρησιμοποιούνται στις υποβρύχιες επισκευές. Τέλος συγκρίνονται οι μέθοδοι των κατηγοριών και αξιολογούνται με βάση την ευκολία τοποθέτησης, την αντοχή τους στο χρόνο και το κόστος τους.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι επεμβάσεις επισκευής φραγμάτων οπλισμένου σκυροδέματος πραγματοποιούνται παγκοσμίως περίπου από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Το θέμα αυτό δεν έχει απασχολήσει μέχρι τώρα την ελληνική επιστημονική κοινότητα, καθώς τα πρώτα φράγματα οπλισμένου σκυροδέματος εμφανίζονται στη δεκαετία 1950-1960 (Λούρου 1954, Λάδωνα 1955, Ταυρωπού 1959), οπότε δεν έχουν ακόμη υποστεί σημαντική δομική βλάβη. Οι αστοχίες προκύπτουν από μετακινήσεις τμημάτων του φράγματος και εμφανίζονται με τη μορφή ρωγμών, διαρροής λόγω βλαβών στη σφράγιση των αρμών και φθοράς σκυροδέματος εξαιτίας σπηλαιώσης. Απαραίτητη κρίνεται η ορθή διάκριση και η προσεκτική μελέτη κάθε τύπου αστοχίας. Παρακάτω παρατίθενται παλαιότερες και νεότερες μορφές επεμβάσεων.



Εικόνα 2.1: Κάτοψη του Santeetlah Dam, με αριθμούς παρουσιάζονται τα μπλοκ σκυροδέματος ενώ αριστερά και δεξιά τα ακρόαθρα (abutments)[2]

2.ΥΠΟΒΑΘΡΟ

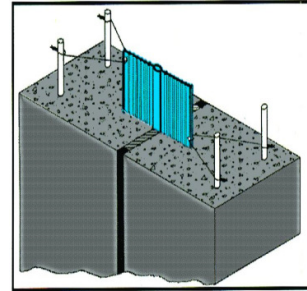
Τα φράγματα οπλισμένου σκυροδέματος κατασκευάζονται τμηματικά (σε μπλοκ σκυροδέματος). Μεταξύ των τμημάτων δημιουργούνται αρμοί που πληρώνονται με στεγανωτικό υλικό επιτρέποντας μετακινήσεις και παραμορφώσεις χωρίς να αναπτύσσονται τάσεις μεταξύ των δομικών μονάδων (εικόνα 2.1). Γενικότερα κάθε φράγμα αποτελείται από τη θεμελίωση, δύο ακραία τμήματα (abutments), το μεσαίο τμήμα, τους υπερχειλιστές και τις στοές (διάστασης περίπου 2.5m x 3m).

3. ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΑΡΜΩΝ

Κάθε κατασκευή από σκυρόδεμα έχει αρμούς οι οποίοι πρέπει να σφραγιστούν για να διασφαλιστεί η ακεραιότητα και η συντήρηση της κατασκευής. Αυτό συμβαίνει κυρίως στους μονολιθικούς αρμούς σε υδραυλικές κατασκευές όπως φράγματα. Αυτοί οι αρμοί είναι σφραγισμένοι με ενσωματωμένους waterstops, τα οποία παραλαμβάνουν τυχόν εφελκυστικές, θλιπτικές και διατμητικές μετακινήσεις (εικόνα 3.1). Τυπικές αιτίες αστοχίας τους περιλαμβάνουν :

- έντονη κίνηση των αρμών η οποία σπάει την waterstop
- κυψελοειδείς περιοχές σκυροδέματος γειτονικές της waterstop
- μόλυνση της επιφάνειας waterstop που αποτρέπει το δεσμό με το σκυρόδεμα
- ολοκληρωτικό σπάσιμο του waterstop εξαιτίας της κακής συνάφειας

Η επισκευή των waterstop εξαρτάται από το βάθος του αρμού και το βαθμό της μετακίνησης, την υδραυλική πίεση στον αρμό, το περιβάλλον, τον τύπο της κατασκευής, το κόστος, τα χρονικά περιθώρια, την πρόσβαση στην ανάντη όψη του φράγματος και γίνεται με μία από τις παρακάτω μεθόδους.

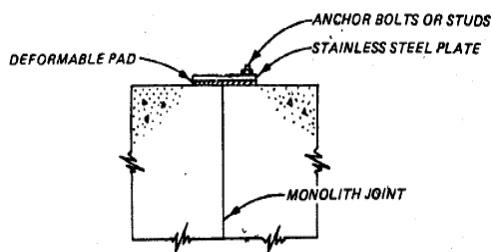


Εικόνα 3.1: Waterstop στην φάση της κατασκευής του αρμού[13]

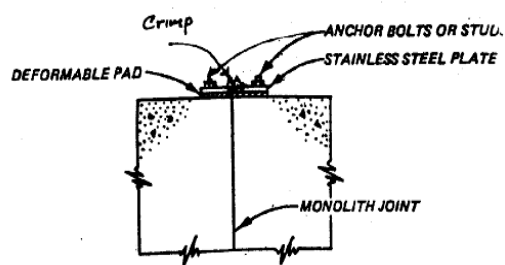
3.1 ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1.1 ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΣΤΟΝ ΑΡΜΟ

Αποτελείται από μία άκαμπτη πλάκα, συνήθως από ανοξείδωτο χάλυβα, που συνδέει τον αρμό. Πατάει πάνω σε ένα στρώμα από νεοπρένιο ή από κάποιο ελαστομερές υλικό το οποίο σφραγίζει τον αρμό. Η σιδερένια πλάκα συνδέεται μονολιθικά από την μία μεριά του αρμού με μπουλόνια αγκύρωσης, τα οποία παρέχουν αρχική πίεση στην παραμορφώσιμη στρώση. Η πλάκα φορτίζεται επιπλέον και με την υδροστατική πίεση (εάν είναι τοποθετημένη στην ανάντη πλευρά) με αποτέλεσμα όσο μεγαλώνει το βάθος τόσο πιο δυνατά η πλάκα πιέζει τον αρμό. Στην περίπτωση όπου υπάρχουν μεγάλες μετακινήσεις είναι προτιμότερη η χρήση λεπτής μεταλλικής αυλακωτής πλάκας η οποία μπορεί να ακολουθήσει την παραμόρφωση και αγκυρώνεται και στις δύο πλευρές του αρμού[1].



a. Plate attached to monolith with anchor bolts



b. Crimp over joint

Εικόνα 3.2: Σκαρίφημα επισκευής αρμού με χαλύβδινη πλάκα και μπουλόνια ώστε να επιτευχθεί μονολιθική σύνδεση.[1]

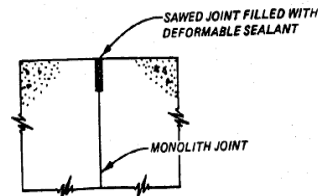
Εικόνα 3.3: Σκαρίφημα επισκευής αρμού με την χρήση πτυχωτού ελάσματος, ώστε να επιτρέπονται μεγαλύτερες μετακινήσεις στον αρμό.[1]

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος προφανώς πρέπει ο άρμος προς επισκευή να 'ναι προσβάσιμος. Ακόμα η μέθοδος δεν εφαρμόζεται για αρμούς με μεγάλες μετακινήσεις. Οι πιθανές αστοχίες αυτής της μεθόδου μπορεί να είναι:

- Χαλάρωση και αστοχία του κοχλία
- Αντίστροφη υδροστατική πίεση από παγιδευμένο νερό πίσω από το waterstop κατά την πτώση της στάθμης του φράγματος
- Πίεση από πιθανό παγιδευμένο πάγο πίσω από το waterstop
- Σκλήρυνση του ελαστικού υλικού λόγω γήρανσης

3.1.2 ΠΛΗΡΩΣΗ ΑΡΜΩΝ ΜΕ ΕΛΑΣΤΟΜΕΡΕΣ ΥΛΙΚΟ

Αποτελεί μία οικονομική λύση η οποία περιλαμβάνει σκάψιμο κατά μήκος του αρμού και γέμισμα του κενού με ελαστική στεγανωτική ουσία. Το σκάψιμο πρέπει να 'ναι βαθύ ώστε να αφαιρεθεί ραγισμένο ή μη υγιές σκυρόδεμα με ελάχιστο βάθος περίπου 2,5-3,8cm. Σημειώνεται ότι εάν τα δύο μέρη του αρμού σχηματίζουν σχήμα V δεν απαιτείται επιπλέον σκάψιμο. Όσον αφορά τα υλικά που τοποθετούνται για την πλήρωση του αρμού υπάρχει μεγάλη ποικιλία [1] και μάλιστα επειδή τα υλικά τοποθετούνται στην επιφάνεια της κατασκευής αν αποτύχει η επισκευή μπορούν εύκολα να αφαιρεθούν.



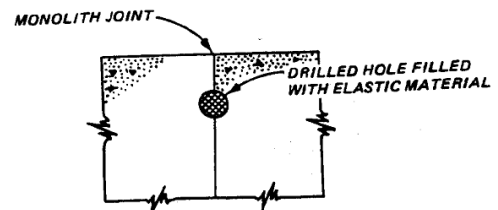
Εικόνα 3.4: Σκαρίφημα επισκευής υλικού με ελαστομερές υλικό [1]

Ακόμα η μέθοδος είναι οικονομική και εύκολη ακόμα και αν δεν είναι δυνατή η πτώση της στάθμης του φράγματος. Παρόλα αυτά δεν εφαρμόζεται σε αρμούς με μεγάλες μετακινήσεις γιατί μπορεί να ξεπεραστεί το όριο ελαστικότητας των υλικών. Στους κατακόρυφους αρμούς, το υλικό θα πρέπει να αποκτά γρήγορα συνοχή για να μπορεί να σηκώσει το βάρος του καθώς τοποθετείται και συνδέεται αμέσως με το σκυρόδεμα του φράγματος. Τέλος, σε περίπτωση όπου ο αρμός κλείνει το υλικό έχει την τάση να εκτινάσσεται προς τα έξω γι' αυτό συνηθίζεται να ενισχύεται με μεμβράνη και επιφανειακή πλάκα (μέθοδος 1).

3.1.3 ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΟΠΩΝ ΚΑΙ ΠΛΗΡΩΣΗ ΜΕ ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Από την κορυφή της κατασκευής ανοίγουμε μία τρύπα μεγάλης διαμέτρου κατά μήκος ενός κατακόρυφου αρμού και τη γεμίζουμε με ένα ελαστικό υλικό ή τοποθετούμε έναν σωλήνα οδηγό τον οποίο γεμίζουμε με ελαστικό στεγανωτικό υλικό. Τυπικά η διάμετρος είναι 7,62-15,24cm και ανοίγεται με τρυπάνι πυρήνων ή DTH τρυπάνι. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου η περιοχή επισκευής δεν είναι προσβάσιμη. Το υλικό πρέπει:

- Να είναι αδιαπέρατο.
- Να προσφύεται με μεγάλο βαθμό στο σκυρόδεμα.
- Να παραμείνει ελαστικό σε όλη την διάρκεια της κατασκευής .
- Να είναι οικονομικό.
- Να μην παραμορφώνεται εξαιτίας της υδροστατικής πίεσης.



Εικόνα 3.5: Σκαρίφημα τομής οπής μέσα στον αρμό και πλήρωση αυτού με ελαστικό υλικό [1]

Καθώς το υλικό εγχύεται μέσα στην τρύπα δημιουργεί έναν συνεχή ελαστικό βολβό μέσα σε αυτή. Έτσι με την εισροή του νερού από τα ανάντη ο βολβός πιέζει την κατάντη πλευρά και έτσι δημιουργείται μία σκληρή αδιαπέρατη ασπίδα. Μάλιστα, αν κατά την έγχυση το υλικό (ποζολανικό τσιμέντο ή χημικά ενέματα) «ταξιδέψει» μέσα στον αρμό επιτυγχάνεται μεγαλύτερη σφράγιση. Ακόμα έχουν χρησιμοποιηθεί ως ελαστικά υλικά γεμίματος και ακρυλικά υλικά. Αναπτύχθηκαν κυρίως για να γεμίζουν κενά διαπερατής άμμου και αποτελούνται από ακρυλική σκόνη και καταλύτη. Όταν διαλυθούν σε δύο διαφορετικά

δοχεία νερού και μετά αναμειχθούν μαζί δημιουργούν μία πηκτή μάζα. Τα ενέματα αυτά, δεν συνίστανται καθώς μεγάλες μετακινήσεις ή πιέσεις μπορούν να εκτινάξουν το υλικό από τον αρμό σε μερικούς μόλις μήνες.

Τζελ υδροφιλικής πολυουρεθάνης και συστήματα αφρώδων ενεμάτων είναι υδραυλικά πολυμερή που τοποθετούνται σε επαφή με το νερό. Δημιουργούν ένα ανθεκτικό και ελαστικό ζελέ περίπου δέκα φορές πιο ισχυρό από το σκυρόδεμα.. Το νερό μέσα στις τρύπες ενεργοποιεί τις δυνατότητες του ενέματος το οποίο επεκτείνεται και κλείνει πλήρως την τρύπα. Σε μερικές περιπτώσεις συνεχόμενοι σωλήνες ή εύκαμπτοι σωλήνες οδηγιοί τοποθετούνται στην τρύπα και συγκρατούν το υλικό γεμίματος. Οι οδηγοί μπορεί είτε να προσκολλούνται είτε να μην προσκολλούνται στους τοίχους του αρμού. Είναι φτιαγμένοι από ενισχυμένο φυσικό λάστιχο, ελαστομερές ύφασμα, νεοπρένιο και συνθετικό λάστιχο. Ως υλικά γεμίματος των οδηγιών χρησιμοποιούνται πολλά διαφορετικά υλικά όπως νερό, πηλός μπετονίτη και χημικά υλικά.

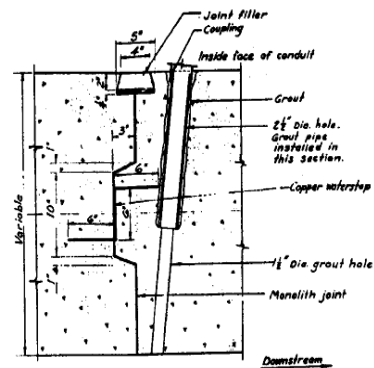
Όσο αφορά τη διάνοιξη της τρύπας εγκάρσια του αρμού χρησιμοποιείται ο πυρήνας γεώτρησης και το σφυρί γεώτρησης. Ο πυρήνας γεώτρησης κοστίζει περισσότερο αλλά επιτρέπει έναν εύκολο οπτικό έλεγχο ότι η τρύπα γίνεται στον αρμό. Αντίθετα για να διενεργηθεί ο ίδιος έλεγχος με το σφυρί γεώτρησης απαιτούνται μικρές αδιάβροχες βιντεοκάμερες. Ωστόσο με καμία μέθοδο δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την επιτυχία της πλήρωσης του αρμού με το χημικό ένεμα[1].

3.1.4 ΠΛΗΡΩΣΗ ΑΡΜΩΝ ΜΕ ΧΗΜΙΚΑ ΕΝΕΜΑΤΑ

Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί για την σφράγιση εξωτερικών αρμών σε ανάντη πλευρές φραγμάτων και απομονωμένων περιοχών εσωτερικών αρμών. Όπως για παράδειγμα σε περιοχές όπου οι στοές διασχίζονται από αρμούς. Στην περίπτωση εσωτερικών αρμών η διαδικασία περιλαμβάνει την διοχέτευση χημικών ενεμάτων μέσα σε τρύπες και σχισμές, αποτελώντας σε μερικές περιπτώσεις το μοναδικό τρόπο επισκευής παλιών waterstop. Τυπικά διανοίγεται μία διάταξη από τρύπες μικρότερης διαμέτρου (κουρτίνα ενέσεων) μέσα από την στοά ή οποιοδήποτε άλλο σημείο εισόδου που μπορεί να διαπερνά τον αρμό πριν το waterstop (εικόνα 3.8). Έπειτα διοχετεύεται ένα ελαστοχημικό ένεμα μέσα στις τρύπες το οποίο καταλήγει στον αρμό και τον κλείνει. Όσον αφορά τις οπές αρχικά διανοίγεται μία σειρά οπών που απέχουν 20 με 40 ft κατά μήκος του μπλοκ και αποτελούν τις κύριες οπές, μέσα από τις οποίες δια διοχετεύεται υλικό πριν από την δημιουργία των δευτερευόντων οπών. Οι δευτερεύουσες οπές χαράσσονται στο μεσοδιάστημα μεταξύ κυρίων οπών. Εάν χρειαστεί και τρίτη σειρά ενέσεων γίνεται στο μέσο της απόστασης κύριων και δευτερευόντων οπών. Η μέθοδος της κουρτίνας ενέσεων χρησιμοποιείται και για ενίσχυση της θεμελίωσης[12].

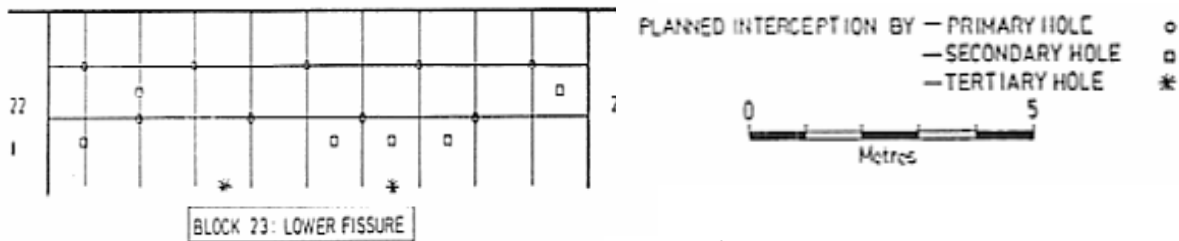
Κατά την διάρκεια της επέμβασης πρέπει να δίνεται προσοχή για μεγάλες πιέσεις και διαρροές. Σε αυτή την περίπτωση για να μειωθεί πιθανή ροή μέσα από τον αρμό ακολουθείται μία απ' τις παρακάτω μεθόδους:

- σφυρηλάτηση μολύβδινου υφάσματος μέσα στον αρμό.
- σφήνωμα του αρμού με αφρώδες υλικό ή λωρίδες από άλλα απορροφητικά υλικά εμποτισμένα με πολυουρεθάνη (που αντιδρά με το νερό).
- ενσωμάτωση σωλήνων μικρής διαμέτρου στο προηγούμενο υλικό ώστε να απελευθερωθεί η πίεση και να διοχετευτεί η ροή.

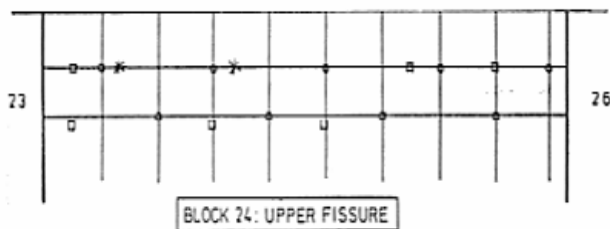


Εικόνα 3.6: Σκαρίφημα τομής τρύπας υπό κλίση προς το κατώτατο σημείο του αρμού ώστε να διοχετευτεί σε αυτόν το συνδετικό υλικό [1]

Όσο αφορά τους εξωτερικούς αρμούς η πλήρωση γίνεται ως εξής: Ένας διαπερατός σωλήνας (grout tube) τοποθετείται κατακόρυφα μεταξύ των άκρων του αρμού και καλύπτεται με ελαστομερές στεγανοποιητικό. Αφού σκληρύνει το υλικό διοχετεύεται στο σωλήνα το ένεμα ώστε να πληρωθεί ο αρμός από την όψη του φράγματος μέχρι το waterstop. Τέλος πριν σκληρύνει το στεγανοποιητικό μπορεί να τοποθετηθεί μία επιφανειακή πλάκα waterstop στον αρμό (βλέπε 1.1.1). [1]



Εικόνα 3.7: Κουρτίνα ενέσεων άνω και κάτω στοάς φράγματος San Esteban[2]

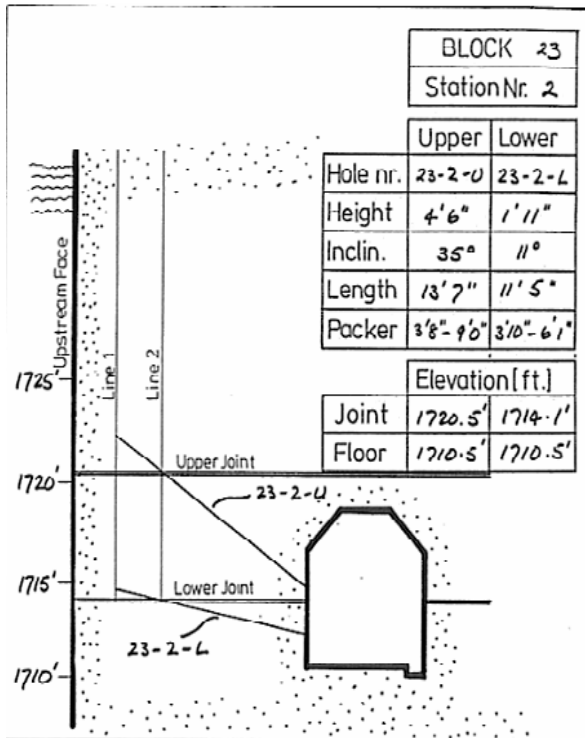


1.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΦΡΑΓΜΑ SAN ESTEBAN

Το φράγμα του San Esteban έχει διαστάσεις 205mx115m και βρίσκεται στον ποταμό River Sil στην βορειοδυτική Ισπανία. Το φράγμα κατασκευάστηκε το 1964, απαρτίζεται από δεκαεπτά μπλοκ σκυροδέματος και τρεις στοές. Κατόπιν συστηματικής καταγραφής μετακινήσεων, παρατηρήθηκε ότι στα ανάντη το φράγμα μετακινούταν κατά ένα χιλιοστό το έτος και μετά από εξέταση των αρμών διαπιστώθηκαν μεγάλες μετακινήσεις, ανύψωση του μεσαίου μέρους του φράγματος και διαρροή μέσα από την κατώτερη στοά.

Για να σφραγιστούν οι αρμοί εφαρμόστηκε η μέθοδος 1.1.4 και χρησιμοποιήθηκε ως ένεμα εποξειδική ρητίνη. Για κάθε οριζόντιο αρμό, σε καθένα από τα δύο μπλοκ, σχεδιάστηκαν τρύπες οι οποίες διέσχιζαν τον αρμό σε διάφορα διαστήματα. Οι δύο βασικές σειρές ενέσεων ολοκληρώθηκαν και μετά ακολούθησαν οι δευτερεύουσες (κουρτίνα ενέσεων)(εικόνα 1.7). Η ανύψωση της κατώτερης στοάς δεν ήταν σταθερή, γι' αυτό η θέση της σχετικά με τους αρμούς δεν ήταν σταθερή. Για να εξακριβωθεί λοιπόν η σωστή θέση τρυπήματος έπρεπε να σχεδιαστεί μία διαβαθμισμένη τομή η οποία θα υποδείκνυε την τοποθεσία, το βάθος και την κλίση της τρύπας καθώς και το σημείο εισόδου στην στοά(εικόνα 1.8).

Η διάνοιξη πραγματοποιήθηκε με υδραυλικηλεκτρικό τρυπάνι με δυνατότητα διάνοιξης τρύπας 4.5cm. Μόλις ανοίχτηκαν οι τρύπες, τοποθετήθηκαν μηχανικά περιβληματα (racker) που τερμάτιζαν κοντά στον αρμό. Έπειτα χρησιμοποιήθηκε εποξειδική ρητίνη με πολύ χαμηλό μέτρο ελαστικότητας (γεγονός που δεν επέτρεπε τη δημιουργία ενός αμετακίνητου συστήματος ρητίνης σκυροδέματος), έτσι σταμάτησε η διαρροή και αυξήθηκαν τα περιθώρια παράμορφωσης της ρητίνης (χωρίς να υπάρχει αποκόλληση) και βελτιώθηκε η σεισμική συμπεριφορά του φράγματος.[2],[9],[10]



Εικόνα 3.8: Καθ' ύψος τομή φράγματος san Esteban[2]

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	
Όψη	Σκόνη
Χρώμα	Κόκκινο
Φαινόμενη πυκνότητα (g/cc)	1,5
pH (αφού αναμιχθεί με νερό)	12
Χρόνος επεξεργασίας (20°C, 50% σχετική υγρασία)	30 λεπτά
Χρόνος πήξης (20°C, 50% σχετική υγρασία)	3 ώρες
Αντοχή σε υδροστατική πίεση	140 m (460 ft.)
Ανάπτυξη αντοχής σε συμπίεση 7 ημέρες:	43,4 MPa
(ASTM C-109) 28 ημέρες:	46,2 MP

Πίνακας1: Στοιχεία κρυσταλλικού υλικού[3]

3. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΑΡΜΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ

Το Krystol Waterstop Grout™ είναι μια ειδική σκόνη που βασίζεται στη δοκιμασμένη χημεία ολοκληρωμένου συστήματος στεγανοποίησης Krystol με κρυσταλλοποίηση. Το Krystol Waterstop Grout χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μονίμως στεγανών αρμών μεταξύ δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα. Τα ενεργά συστατικά του Krystol Waterstop Grout αντιδρούν χημικά με το νερό και το σκυρόδεμα, με αποτέλεσμα το σχηματισμό εκατομμυρίων βελονοειδών κρυστάλλων που αναπτύσσονται σε όλες τις διευθύνσεις πληρώνοντας τους τριχοειδείς πόρους, τις ρωγμές και τους αρμούς, που διαφορετικά ενδεχομένως να επέτρεπαν την εισροή του νερού [3]. Τέλος έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Έχει αντοχή σε εξαιρετικά υψηλή υδροστατική πίεση.
- Δεν περιέχει διαβρωτικές χημικές ουσίες.
- Ανθεκτικό – ελάχιστες πιθανότητες να πάθει ζημιά στο εργοτάξιο.
- Πολύ υψηλή αντοχή.
- Δεν υπάρχει κίνδυνος κατά την επαφή του με πόσιμο νερό.
- Εύκολη τοποθέτηση.

3.2.2 ΠΛΗΡΩΣΗ ΑΡΜΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΡΗΤΙΝΟΕΙΔΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

Η γενική ιδέα της μεθόδου είναι παρόμοια με αυτή που αναφέρθηκε στην 1.1.3 αλλά αντί για ελαστικό υλικό τοποθετούνται σωλήνες φτιαγμένοι από ρητίνη ουρεθάνης οι οποίοι όταν έρθουν σε επαφή με το νερό διογκώνονται. Η ρητίνη ουρεθάνης είναι ένα υγρό υλικό όμως όταν συνδυάζεται με καταλύτες μετατρέπεται σε άκαμπτο καουτσούκ. Ωστόσο όταν το υλικό ενυδατωθεί αντιδρά με το νερό και αυξάνει τον όγκο του. Με αυτόν τον τρόπο η τρύπα στεγανοποιείται και δημιουργείται ένα νέο waterstop που σφραγίζει τον αρμό[6]. Αναλυτικά

1. Ανοίγεται μία τρύπα-υποδοχή περίπου 12cm από την κορυφή του φράγματος μέχρι και τουλάχιστον 1.5m κάτω από την θεμελίωση, λαμβάνοντας τα απαραίτητα μέτρα ώστε να διασχίζει πάντα τον κατακόρυφο αρμό. Η τοποθεσία της τρύπας είναι τέτοια ώστε να μην επηρεάσει το υπάρχον waterstop και την υπόγεια στοά. (εικόνα 3.9)
2. Τοποθετείται μέσα στην τρύπα υποβρύχια κάμερα για να επαληθευτεί ότι η τρύπα είναι στον αρμό και να ελεγχθεί η κατάσταση του σκυροδέματος και η στάθμη του νερού (μέσα στην τρύπα) (εικόνα 3.10).
3. Τοποθετούνται οι σωλήνες ο ένας πάνω στον άλλο και σταδιακά αντιδρούν με το νερό και διαστέλλονται (εικόνα 3.11).

Αυτή η μέθοδος πλεονεκτεί καθώς δεν περιορίζει την κίνηση του αρμού, εγκαθίσταται από το κατάστρωμα του φράγματος, όχι υποβρυχίως και εμποδίζεται από ροή νερού μέσα στον αρμό. Τέλος επισημαίνεται ότι κατά το στάδιο του σχεδιασμού της επισκευής ο μηχανικός πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός για να επιτευχθεί η επιθυμητή διόγκωση του υλικού, γιατί αν ο σωλήνας υπερδιογκωθεί θα αστοχήσει το σκυρόδεμα..



Εικόνα 3.9: 1^ο στάδιο [8]

Εικόνα 3.10: 2^ο στάδιο [8]

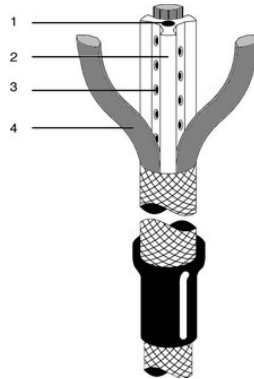
Εικόνα 3.11: 3^ο στάδιο [8]

3.2.3 ΠΛΗΡΩΣΗ ΑΡΜΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΝΕΣΙΜΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ

Οι ενέσιμοι σωλήνες είναι μία νέα τεχνολογία waterstop που συνδυάζει τεχνολογία ρευστοκονιάματος και ακρυλικών εστέρων, με χαμηλότερο κόστος από τα συνηθισμένα waterstop και παροχή πλήρης σφράγισης. Ο πιο διαδεδομένος ενέσιμος σωλήνας waterstop αποτελείται από ενισχυμένο σπирάλ από χαλύβδινο σύρμα, για να εμποδίζεται η αστοχία του σωλήνα όταν χύνεται το σκυρόδεμα. Το σύρμα καλύπτεται με ύφασμα ώστε να φιλτράρονται τα σωματίδια και να επιτρέπει την εύκολη διέλευση της ενέσιμης ρητίνης μέσω του σωλήνα. Ένας ενέσιμος σωλήνας αποτελείται από εύκαμπτο σωλήνα ρευστοκονιάματος από PVC σε συνδυασμό με ένα ακρυλικό εστέρα με βάση χημικών ενεμάτων ρητίνης.[7]

Πριν την τοποθέτηση των ενέσιμων σωλήνων διανοίγεται οπή από το κατάστρωμα του φράγματος που διαπερνά τον αρμό ώστε να τοποθετηθεί ο ειδικός σωλήνας. Ο σωλήνας μπαίνει στο κέντρο του ανοίγματος της οπής και αγκυρώνεται στο κατώτατο σημείο της με πλαστικούς συνδετήρες. Το ενέσιμο υλικό διοχετεύεται μέσω του σωλήνα, δημιουργείται εσωτερική πίεση και οι λωρίδες νεοπρενίου αφήνουν το ένεμα να διαπεράσει οποιοσδήποτε

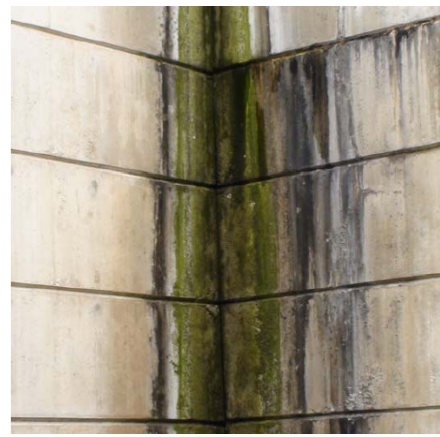
σχισμές. Τέλος, οι κατασκευαστές αναπτύσσουν χαμηλό ιξώδες στη ρητινένωση για να υπάρχει πρόσβαση στο σωλήνα σε μελλοντική ένεση.



Εικόνα 3.13: Τομή ενέσιμο σωλήνα όπου απεικονίζονται οι οπές που διοχετεύουν το ένεμα (1) και λωρίδες νεοπρεπενίου που το αφήνουν να τις διαπεράσει ομοιόμορφα

3.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ – LITTLE GOOSE DAM

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής των παλαιών waterstop και της χρήσης ρητινοειδών σωλήνων τρίτης γενιάς αποτελεί το Little Goose Dam στην Ουάσιγκτον. Σε αυτήν την περίπτωση οι μεγάλες πιέσεις στην θεμελίωση της κατασκευής προκάλεσαν μετακινήσεις στους αρμούς. Αρχικά διανοίχθηκαν οπές διαμέτρου 150mm και οι αρμοί πληρώθηκαν με χημικά ενέματα (βλ 1.1.4). Όμως λόγω των μεγάλων μετακινήσεων και της μικρής παραμορφωσιμότητας του ενέματος, το υλικό πλήρωσης αστόχησε. Για την νέα επισκευή έγινε χρήση ρητινοειδών σωλήνων τρίτης γενιάς οι οποίοι τοποθετήθηκαν στην ίδια στην θέση των waterstop που είχαν αστοχήσει. Πριν την τοποθέτηση των νέων υλικών αφαιρέθηκαν τα παλαιά ενέματα με την χρήση νερού υψηλής πίεσης και συστημάτων αναρρόφησης. Για κάθε οπή κατασκευάστηκαν κύλινδροι διαμέτρου 125mm και μήκους μεγαλύτερου του 1m, οι οποίοι απλά αφέθηκαν από ύψος 56m και στα τελευταία 24m της διαδρομής ήρθαν βυθίστηκαν στον νερό, το οποίο είχε εισρεύσει μέσα στην τρύπα. Η τοποθέτηση διήρκησε μερικές ώρες. Τέλος η αποτελεσματικότητα της μεθόδου φαίνεται στις παρακάτω εικόνες[6]



Εικόνα 3.15: Πλήρης κάλυψη του αρμού μετά την επισκευή (Little Goose Dam 2009) [6]

4. ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΡΩΓΜΩΝ

Η αιτία της ρωγμής σε ένα τσιμεντένιο φράγμα είναι συνήθως δύσκολο να διακριθεί και να κατανοηθεί. Για παράδειγμα το φράγμα μπορεί να μην λειτουργεί μονολιθικά όπως είχε σχεδιαστεί λόγω της γεωλογίας του εδάφους. Οι ρωγμές εμφανίζονται λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, ανάπτυξης πίεσης πόρων και πιθανών εσωτερικών ροών στην κατασκευή εξαιτίας χρήσης αδρανών και τσιμέντου ικανά να αντιδράσουν αλκαλικά. Ανάλογα με την αιτία οι ρωγμές μπορεί να εμφανιστούν αμέσως ή μετά από χρόνια λειτουργίας του έργου. Η ύπαρξή τους υποδεικνύει εφελκυστικές τάσεις ή σπανιότερα διατμητικές. Σε κάθε περίπτωση υπάρχει μία ασυνέχεια στο φράγμα και αν εμφανιστεί στα ανάντη θα αλλάξει σημαντικά την ακεραιότητα και την λειτουργία του.

4.2 ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.2.1 ΕΝΕΜΑΤΑ ΣΙΛΙΚΟΝΗΣ, ΦΑΙΝΟΛΗΣ ΚΑΙ ΑΚΡΥΛΙΚΑ ΕΝΕΜΑΤΑ

Παλαιότερα εάν η ρωγμή ήταν μεγάλη γινόταν χρήση κονιαμάτων με βάση του τσιμέντο. Αντίθετα, μικρές ρωγμές επισκευάζονταν με σιλικόνη, φαινόλη ή ακρυλικά ενέματα. Αυτές οι επεμβάσεις είχαν αμφίβολη επιτυχία και συχνά έπρεπε να επαναλαμβάνονται. Αυτό συνέβαινε επειδή:

- τα παραπάνω υλικά είναι ψαθυρά οπότε όταν έφταναν στην αντοχή τους αστοχούσαν.
- η χρήση τους προϋποθέτει την πτώση της στάθμης του φράγματος.
- Διαλύονταν λόγω της υψηλής πίεσης ή ταχύτητας του νερού.
- Διαχωρίζονταν και διαχέονταν κατά την τοποθέτησή τους.
- Τα ενέματα δεν προσαρμόζονταν σε περίεργες γεωμετρίες.
- Δεν διοχετεύονταν μέσα στην ρωγμή με μεγάλη πίεση ώστε τη γεμίσουν πλήρως
- Είχαν μικρή εργασιμότητα.

Εφόσον αυτές οι επισκευές είναι μη αντιστρεπτές, μία ανεπαρκής επισκευή με λάθος υλικό θα είναι αποτυχία.[10]

4.2.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ RODUR

Η Rodur χρησιμοποιείται για σφράγισμα αρμών και επανένωση τμημάτων. Βασίζεται στην χρήση διαφόρων τύπων συνθετικών ρητινών. Ανάλογα με τη σύσταση της η κάθε ρητίνη έχει ένα εύρος αρχικών τιμών ιξώδους το οποίο παραμένει σταθερό μέχρι να πολυμεριστούν στην προκαθορισμένη στιγμή. Γενικότερα λοιπόν το ένεμα πρέπει :

1. Να είναι ομογενές υγρό ώστε να πληρώνει καθολικά την σχισμή ακόμα και αν οι επιφάνειες είναι ανώμαλες ή μικρές
2. Να μην αναμιγνύεται με το νερό.
3. Να σκληραίνει αμέσως μετά από την είσοδο του στην ρωγμή.
4. Να έχει ένα ελεγχόμενο ιξώδες ανάλογα με το εύρος της ρωγμής.
5. Να έχει την μικρότερη δυνατή συστολή ξήρανσης.
6. Να είναι ανθεκτικό.
7. Να μπορεί να συνδεθεί με υγρές επιφάνειες, κάτω από υψηλή υδροστατική πίεση, χαμηλές θερμοκρασίες ακόμα και υπό υψηλές εφελκυστικές και διατμητικές τάσεις
8. Να έχει μικρότερο μέτρο ελαστικότητας από το σκυρόδεμα.
9. Να είναι εργάσιμο χωρίς να επηρεάζεται από το περιβάλλον.

Η απόσταση ανάμεσα στις τρύπες που διαπερνούν την ρωγμή εξαρτάται από τις παραμέτρους του ενέματος, την ακτίνα κάθε τρύπας και την πίεση της ένεσης. Αυτή η πίεση εξαρτάται κυρίως από την γεωμετρία της ρωγμής και το ιξώδες του ενέματος. Η ροή ενός ιξωδοελαστικού υλικού σε μία οριζόντια ρωγμή σταθερού πάχους σταθερού βάθους που διακόπτεται από κυκλική οπή είναι ισοδύναμη με την ροή φυγόκεντρης ακτινικής κυκλοφορίας σε πορώδες μέσο με πλασματικό συντελεστή διαπερατότητας K

$$K = \frac{B^2 * \gamma}{12 * \mu} \quad (1)$$

όπου

- B : βάθος της ρωγμής
- γ : ειδικό βάρος σκυροδέματος
- μ : δυναμικό ιξώδες

Για σταθερό άνοιγμα ρωγμής, η κατανομή της πίεσης είναι λογαριθμική και μεταβάλλεται με τον χρόνο. Η μέγιστη πίεση της ένεσης (p_0) σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά της οπής απ' όπου θα διοχετευτεί ως εξής

$$p_0 = p_a + \frac{6\mu Q}{\pi * B^2} * \ln\left(\frac{R}{r_0}\right) \quad (2)$$

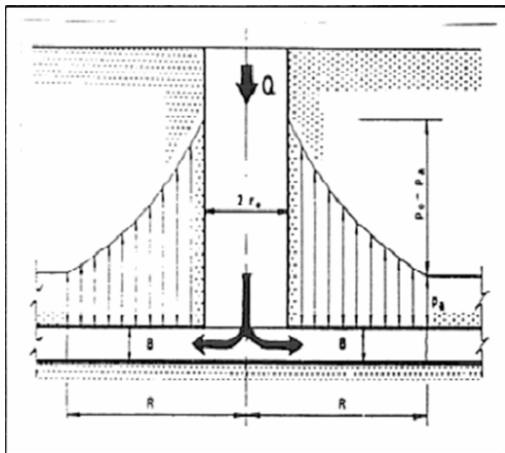
- P_0 μέγιστη πίεση ένεσης (MPa)
- P_a η πίεση του νερού στην σχισμή, επειδή έχει χαμηλότερο ιξώδες από την ρητίνη θεωρούμε ότι πίεση του νερού είναι σταθερή και κατά την εκτόπιση από την ρητίνη υπάρχει μία πολύ μικρή αύξηση.
- Q ρυθμός της ένεσης (lt/min)
- r_0 ακτίνα της τρύπας (cm)

$$R - r_0 = \sqrt{\frac{Q * t}{\pi * B * r_0^2} + 1}$$

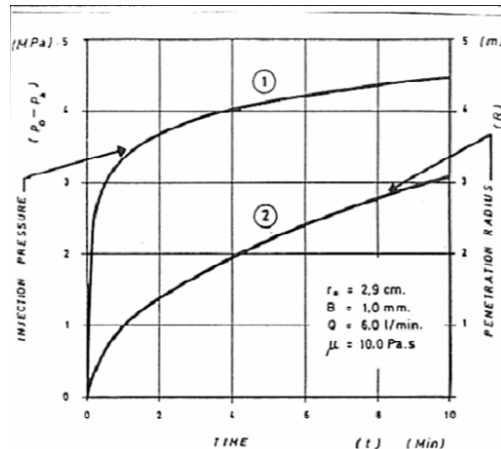
- R ακτίνα δράσης της ρητινένεσης, την εφαρμογή της ρητίνης

(3), όπου t ο χρόνος από

Το διάγραμμα 2 περιγράφει το αποτέλεσμα των δύο παραπάνω εξισώσεων. [9]



Εικόνα 4.1: Κατανομή της πίεσης κατά την διασπορά της ρητίνης όταν εισέρχεται στην σχισμή [9]



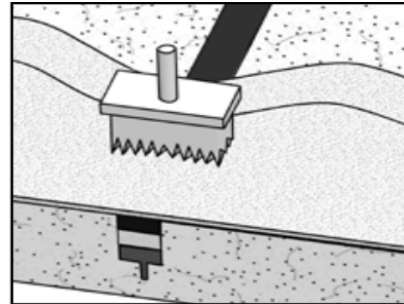
Εικόνα 4.2: Τυπικές καμπύλες από τις εξισώσεις 1 και 2 [9]

Εάν υποθεθεί ότι η σχισμή μεγαλώνει λόγω της πίεσης της ένεσης, οι τιμές της πίεσης και η ακτίνα δράσης της ρητίνης είναι μικρότερες από τις υπολογιζόμενες στις (2) και (3). Θα πρέπει να γίνεται χρήση υψηλού ιξώδους κονιαμάτων λόγω αδυναμίας διατήρησης πίεσης της ρητίνης κατά την άντληση και επίσης γιατί δεν πρέπει να μετατραπεί σε γαλάκτωμα κατά τη διάρκεια της υγρής της φάσης. Οι ρητίνες χρειάζονται υψηλές πιέσεις για να υπερνικήσουν τις απώλειες και να μπορούν να ρέουν μέσα στις ρωγμές. Κάτω από τέτοιες συνθήκες, οι υψηλές πιέσεις σε μικρές περιοχές (σε σχέση με όλη την μάζα του φράγματος) δεν είναι επικίνδυνες. Επιπλέον, η ρητίνη δεν παραμένει ρευστή για μεγάλο χρονικό διάστημα οπότε δεν ασκεί συνεχώς μεγάλη πίεση. Ακόμα με την υψηλή πίεση η ρητίνη μπορεί να εισχωρεί στα κενά των πόρων του σκυροδέματος και έτσι απομακρύνεται το νερό και έχουμε στεγνές επιφάνειες που βοηθούν στην καλύτερη σύνδεση των επιφανειών.[9][10]

4.3 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.3.1 ΣΤΕΓΑΝΩΣΗ ΡΩΓΜΩΝ ΜΕ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ ΔΙΟΓΚΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ

Η μέθοδος αναφέρεται στην διαδικασία στεγάνωσης ρωγμών και αρμών στο σκυρόδεμα. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε ρωγμές ή αρμούς που υπόκεινται σε κίνηση, σε αυτή την περίπτωση η επισκευή γίνεται με ένα εύκαμπτο σύστημα όπως είναι η ένεση ουρεθάνης.[4]. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται παρακάτω είναι υψηλής συγκέντρωσης κρυσταλλικά υλικά και είναι τα Α, Β, Γ. Η διαδικασία είναι η εξής:



Εικόνα 4.3: Τελικό στάδιο επισκευής ρωγμής όπου παρουσιάζονται όλες οι στρώσεις των υλικών [4]

- Αρχικά προετοιμάζεται κατάλληλα η επιφάνεια σκαλίζοντάς την σε βάθος 40mm και άνοιγμα 25mm.
- Το επόμενο βήμα γίνεται στην περίπτωση όπου υπάρχει οποιαδήποτε ροή νερού. Διακόπτεται η ροή του νερού και τοποθετείται στόκος (στο 1/3 του βάθους) στο αυλάκωμα που ανοίχτηκε προηγουμένως. Αυτό γίνεται για να σταματήσει η διαρροή και γίνεται σε μήκος της και όχι μόνο σ' αυτό που έχει διαρροή γιατί διαφορετικά θα μεταφερθεί με αποτέλεσμα να χρειαστεί νέα επισκευή.

- Η επιφάνεια σκυροδέματος πρέπει να είναι κορεσμένη από νερό ούτως ώστε τα υλικά που θα προστεθούν να διεισδύσουν και να αντιδράσουν με αυτή. Στη συνέχεια τοποθετείται με πάχος 13mm το υλικό Α με νερό σε αναλογία $\frac{A}{N} = 5$

- Σε αναλογία $\frac{B}{N} = 4$ τοποθετείται το υλικό Β με πάχος 1/3 του βάθους.

- Σε αναλογία $\frac{\Gamma}{N} = 3$, τοποθετείται το υλικό Γ, που είναι μια επικάλυψη πηλού χρησιμοποιώντας βούρτσα σκυροδέματος, συνεπώς το αυλάκωμα κλείνει. Τέλος το υλικό αποκτά πλήρως την αντοχή του τρείς μέρες μετά την τοποθέτηση.

4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

4.4.1 ΦΡΑΓΜΑ COQUITLAM

Το φράγμα Coquitlam έχει 31m ύψος και άνοιγμα 290m. Το φράγμα θεμελιώθηκε σε έδαφος από γρανίτη, όμως μέσα από τις σχισμές του ανέβλυζε νερό με υδροστατική πίεση 68.9 kPa-82.7 kPa. Το νερό εισχώρησε στο σκυρόδεμα και παρατηρήθηκε στους αρμούς με

ταυτόχρονη δημιουργία οριζόντιων και κατακόρυφων ρωγμών. Για να σταματήσει η διαρροή και να σφραγιστούν οι ρωγμές χρησιμοποιήθηκε ένα προηγμένο σύστημα επισκευής ρωγμών της Krytron. Αρχικά ποτίσαμε το υπάρχον σκυρόδεμα με χημικά τα οποία απορροφήθηκαν από την τριχοειδή δράση του σκυροδέματος και την διάχυση. Μέσα στο σκυρόδεμα λοιπόν τα κρυσταλλικά υλικά άρχισαν να πολυμερίζονται και εξαπλώθηκαν μέχρι να καλύψουν όλους τους πόρους του σκυροδέματος. Μόλις λοιπόν σφραγιστεί η ρωγμή το υλικό αδρανοποιείται μέχρι να δημιουργηθούν νέες ρωγμές λόγω καθίζησης ή σεισμικές δραστηριότητας. Στο φράγμα coquitlam λοιπόν έγιναν οι εξής διεργασίες. Αρχικά διανοίχθηκαν οι ρωγμές σε βάθος 10cm και όπου υπήρχε διαρροή αφαιρέθηκε το σαθρό σκυρόδεμα και σφραγίστηκε πρόχειρα. Έπειτα, οι ρωγμές με τσιμεντοειδή κρυσταλλικά υλικά υψηλής αντοχής τα οποία πολυμερίστηκαν. Τέλος, δημιουργήθηκε μία επίστρωση από τσιμεντοειδή πηλό.[4],[5]



Εικόνα 4.4: Επισκευή ρωγμών του φράγματος Coquitlam [5]

5. ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ

Σε πολλές περιπτώσεις είναι αναγκαία η υποβρύχια σκυροδέτηση καθώς εμφανίζονται φαινόμενα σπηλαίωσης στην ανάντη όψη φραγμάτων.

5.1 ΥΛΙΚΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

5.1.1 ΠΡΟΣΜΙΞΕΙΣ ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Πρόκειται για χημικές προσμίξεις που χρησιμοποιούνται για τη συνένωση του νερού με το σκυρόδεμα και μειώνουν την απώλεια των λεπτών υλικών στο νερό κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης. Τα συστατικά από τα οποία αποτελούνται είναι: πολυμερή σώματα ψηλού μοριακού βάρους, μίξεις υψηλής τεχνολογίας για μείωση νερού και παράγωγα κυτταρίνης. Μεγάλη δόση πρόσμικτων αντιεδαφικής διάβρωσης παρέχει στο σκυρόδεμα επαρκή συνοχή εμποδίζοντας την απόπλυση και το διαχωρισμό κατά τη σκυροδέτηση. Το σκυρόδεμα που φτιάχνεται με αυτά τα πρόσμικτα είναι κολλώδες και ευαίσθητο σε πρόσθεση ορισμένων άλλων πρόσμικτων.[11]

5.1.2 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ TREMIE ME ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ ΥΛΙΚΑ

Το σκυρόδεμα Tremie διαφέρει από το αντλούμενο σκυρόδεμα γιατί η ροή του οφείλεται στο βάρος του σκυροδέματος και στην πίεση από την αντλία και εγχέεται από ένα σωλήνα ειδικού τύπου (συνδέσιμος σωλήνας που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει το σκυρόδεμα από τους κάδους και τη χοάνη στο κατώτατο σημείο του σωρού). Έχει υψηλή περιεκτικότητα

σε τσιμεντοειδή υλικά και συντίθεται από λεπτό ρευστοκονίαμα με αδρανή διαμέτρου έως και 40mm.

Η μέθοδος είναι σχετικά απλή καθώς ο εξοπλισμός σπάνια δυσλειτουργεί, χρειάζεται όμως πειραμένο προσωπικό. Αυτές οι απαιτήσεις δύσκολα μπορούν να ικανοποιηθούν σε σχέση με το αντλούμενο σκυρόδεμα. Κατά την τοποθέτηση του σκυροδέματος για να σφραγιστεί το στόμιο του σωλήνα αρχικά δημιουργείται ένα ανάχωμα σκυροδέματος. Η κλίση ροής του και το βάθος του αναχώματος καθορίζουν το πλάτος της τοποθέτησης και με αυτή την μέθοδο δεν μπορεί να δημιουργηθεί λεπτή στρώση σκυροδέματος.

Έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε υποβρύχιες επισκευές, συγκεκριμένα στο Tarbela Dam έγινε επισκευή λόγω σπηλαιώσης (Ολλανδία 1996). Η χρήση του συνίσταται όταν πρόκειται για επισκευές μεγάλου όγκου όπου ο σωλήνας σκυροδέτησης δεν χρειάζεται να μετακινείται συχνά ή για πιο βαθιές σκυροδετήσεις όπου το αντλούμενο σκυρόδεμα δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Τέλος ενδείκνυται για τοποθέτηση ενεμάτων σε μικρές περιοχές και για πλήρωση κοιλοτήτων. [11]

5.1.3 ΑΝΤΛΟΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ Ή ΤΣΙΜΕΝΤΟΚΟΝΙΑ

Με αυτή τη μέθοδο το σκυρόδεμα παράγεται στη ξηρά και στη συνέχεια αντλείται και τοποθετείται υποβρυχίως. Το σκυρόδεμα αποτελείται από τσιμέντο Portland, άμμο, και μπορεί να περιέχει αέριο πυριτίου και ιπτάμενη τέφρα. Επίσης ο λόγος λεπτόκοκκων προς χονδρόκοκκων αδρανών είναι μεγάλος με αποτέλεσμα να βελτιώνεται συνεκτικότητα. Το ρευστοκονίαμα είναι πιο ρευστό από το σκυρόδεμα και δεν περιέχει χονδρόκοκκα αδρανή και διεισδύει μέσα στις ρωγμές. Ακόμα τοποθετούνται γρηγορότερα συνεπώς μειώνεται η απώλεια λόγω διάβρωσης και εδαφικής διάβρωσης.

Το αντλούμενο σκυρόδεμα είναι από τις πιο κοινές μεθόδους διάθεσης σκυροδέματος για τις υποβρύχιες επισκευές. Σε σχέση με το σκυρόδεμα tremie πλεονεκτεί γιατί ο σωλήνας είναι μικρότερος και εύκαμπτος και μπορεί να φτάσει σε πιο δύσκολα σημεία. Σε αυτές τις περιπτώσεις το σκυρόδεμα περιέχει ίνες χάλυβα ή αέριο πυριτίου και οι συντελεστές ελαστικότητας και θερμικής διαστολής είναι αμελητέοι.

Αυτή τη διαδικασία απαιτεί πειραμένο προσωπικό και κατάλληλο εξοπλισμό. Το σκυρόδεμα ή το τσιμεντοκονίαμα το οποίο τοποθετείται στην αρχή της άντλησης πρέπει να διαχωριστεί από το νερό μέχρι την ολοκλήρωση της τοποθέτησης. Η αντλία τοποθέτησης χρησιμοποιείται για το γέμισμα ενός πασσάλου (pile jacket) με τσιμεντοκονίαμα ή με μικρά αδρανή. Όσο αφορά την εξάλειψη του νερού και τη μείωση της αραιώσης του υλικού, επιτυγχάνεται με συμμετρική τοποθέτηση υλικών χρησιμοποιώντας δύο ή περισσότερες αντλίες. Συνεπώς μειώνεται και η πλευρική στρέβλωση του υφασμάτινου πάσσαλου.[11]

5.1.4 ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΗ

Πρόκειται για μία μέθοδο που σκοπό έχει την πλήρωση κενών. Για πλήρωση μικρών κενών τα ενέματα αυτά περιέχουν εποξειδική ρητίνη χωρίς αδρανή ή ειδικά διαβαθμισμένη άμμο πυριτίου ενώ στην περίπτωση μεγαλύτερων κενών περιέχουν μεγαλύτερα αδρανή ούτως ώστε να δημιουργηθεί ένα πολυμερές εποξεικού κονιάματος ή σκυρόδεμα.

Επίσης γίνεται χρήση εποξικού ενέματος, μανδύα και σκυροδέματος τα οποία έχουν διαφορετικές φυσικές ιδιότητες. Ο ρόλος του μανδύα είναι να προστατεύει την εξωτερική επιφάνεια της κατασκευής από την τριβή, να μειώνει τη ροή του οξυγόνου στην υπό κατασκευή περιοχή και να την προστατεύει από χημικές και φυσικές επιδράσεις. Σύμφωνα

με τις οδηγίες η πλήρωση των κενών μεταξύ μανδύα και σκυροδέματος χωρίζεται σε δύο κατηγορίες όπου η μία αφορά μεγάλα κενά (>20mm) και η άλλη μικρότερα (3-20mm).

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα εποξειδικά ενέματα που συνήθως περιέχουν άμμο πυριτίου και η ποσότητά της εξαρτάται από το μέγεθος των κενών και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Αυτά τα υλικά μπορεί να χύνονται μεταξύ του υπάρχον σκυροδέματος και του μανδύα ή να τοποθετούνται στη θέση τους. Τα αντλούμενα εποξειδικά κονιάματα περιέχουν μεγαλύτερη ποσότητα άμμου πυριτίου από το εγχυόμενο γι' αυτό απαιτείται από το σύστημα να επιτρέπει τη διέλευσή τους. Στην περίπτωση που τοποθετείται μικρή ποσότητα υλικού μεταξύ σκυροδέματος και μανδύα οι εποξειδικές ρητίνες συνδυάζονται με επιλεγμένη διαβάθμιση άμμου πυριτίου, πυρίτιο ή σκόνη χαλαζία έτσι ώστε να γίνει ένα μη διαχωρίσιμο μείγμα. Το εποξειδικό ένεμα σχεδιάζεται για να συνδέσει το σκυρόδεμα εξαλείφοντας τον ψυχρό αρμό μεταξύ σκυροδέματος και μανδύα.

Το σύστημα παρέχει πρόσθετη ενίσχυση στην κατασκευή συνεπώς η επισκευή μπορεί να γίνει και χωρίς οπλισμό. Όμως εάν θα χρησιμοποιηθεί θα ενσωματωθεί στα εποξειδικά κονιάματα τα οποία θα τον προστατέψουν.

Το σύστημα του μανδύα είναι ένα ελαφρύ σύστημα με γρήγορη και εύκολη εγκατάσταση και παρέχει προστασία από τη διάβρωση της άμμου, τα κύματα, τους θαλάσσιους οργανισμούς, τα σκουπίδια που επιπλέουν, τους κύκλους υγρού-ξηρού, τις ζημιές κατά την κατάψυξη-απόψυξη, το αλάτι και τη διείσδυση χημικών. Οι μανδύες προσφέρονται σε τυποποιημένα μεγέθη και σχήματα. Το εποξικό τμήμα είναι το πιο κρίσιμο για την επισκευή για αυτό απαιτείται σωστή εφαρμογή των προτύπων ελέγχου ποιότητας για την ανάμιξη και το χειρισμό των εποξειδικών. Η τοποθέτηση του εποξειδικού ενέματος πρέπει να μπορεί να τοποθετείται με έγχυση, άντληση ή με το χέρι παρουσία νωπού υφάλμυρου ή αλμυρού νερού και σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες (3-50°C).

Στις υποβρύχιες επισκευές η θερμοκρασία έχει μικρές διακυμάνσεις. Όμως τα εποξικά υλικά επισκευής φθάνουν σε ψηλότερες θερμοκρασίες όταν επισκευάζουν τσιμεντοειδή κονιάματα και σκυρόδεμα σε μεγάλα ανοίγματα. Επομένως για το λόγο αυτό και λόγω κόστους αυτή η μέθοδος περιορίζεται στην πλήρωση μικρών ανοιγμάτων ή ρωγμών. Τέλος χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό και εξοπλισμός γιατί πρόκειται για επικίνδυνα χημικά.

Όσο αφορά τη διαδικασία εγκατάστασης για τις επισκευές με μανδύα η εγκατάσταση του μανδύα με την εποξειδική γίνεται μετά τον καθαρισμό της επιφάνειας από τη σκουριά και το σπασμένο σκυρόδεμα. Η τοποθέτηση του ολοκληρώνεται στο πάνω μέρος φορτηγού ή σε σκαλωσιά και στη συνέχεια γλιστρά στο νερό και τοποθετείται από τους δύτες, (εικόνα 5.1)



Εικόνα 5.1: Στάδιο τοποθέτησης πάνελ σε φράγμα του ποταμού Troy Lock [11]

Σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή το εποξειδικό μίγμα αναμιγνύεται με καθορισμένη ποσότητα άμμου και χονδρόκοκκων αδρανών και αμέσως μετά γίνεται έγχυση ή διοχέτευση του μέσα στην κοιλότητα του μανδύα εκτοπίζοντας το νερό. Τα αντλούμενα εποξειδικά κονιάματα τοποθετούνται με μεγάλου διαμέτρου σωλήνες (23-35mm), μεταξύ της κατασκευής σκυροδέματος και του μανδύα και στη συνέχεια ο σωλήνας αφαιρείται αργά καθώς γεμίζεται η τρύπα και εκτοπίζεται το νερό.

Τέλος για καλή απόδοση των μεθόδων απαιτείται η επιφάνεια σκυροδέματος και το εσωτερικό του μανδύα να είναι καθαρά και κατάλληλα προετοιμασμένα για να ενωθεί το εποξικό κονίαμα με το υπόστρωμα σκυροδέματος και το μανδύα. [11]

5.1.5 ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗ ΕΝΕΣΗ

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για επισκευή ρωγμών ή αρμών. Τα εποξικά υλικά χαμηλού ιξώδους διεισδύουν σε ρωγμές 0,38 mm και μεγαλύτερες, ενώ για ρωγμές 0,10 mm χρησιμοποιείται τζελ εποξειδικής ρητίνης. Και τα δύο υλικά έχουν χαμηλό ιξώδες, ζελατινώδη συνοχή και μπορούν να συγκολληθούν ή να επισκευάσουν ρωγμές όταν υπάρχει επαρκής πρόσφυση καθώς έχουν μειωμένη συστολή κατά την επισκευή.

Οι ρητίνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι μόνο ειδικά εποξειδικά σκευάσματα για υποβρύχια χρήση, όχι μόνο λόγω της ύπαρξης του νερού αλλά λόγω παρουσίας διαλυμένων μεταλλικών αλάτων, ιλύος, πηλού και θραύσματα διαφόρων μετάλλων. Για την εφαρμογή της εποξειδικής ρητίνης απαιτείται να εκτοπιστεί το νερό, εξασφαλίζοντας υγρασία στην επιφάνεια και στη συνέχεια να γίνει η επισκευή.

Το στεγανωτικό της επιφάνειας πρέπει να μπορεί να προσκολλάται στο σκυροδέμα, να προσαρμόζεται στις συνθήκες του περιβάλλοντος και να περιορίζει τη εποξειδική ρητινέωση κατά την επισκευή. Φτιάχνεται από βάση υδραυλικού τσιμέντου ή από πάστα που περιέχει ειδικά εποξικά υλικά διαμορφωμένα για το υποβρύχιο περιβάλλον. Η επιλογή ενός τσιμέντου εποξικού τύπου εξαρτάται από τη θερμοκρασία του νερού, τα ρεύματα και την προηγούμενη επαγγελματική εμπειρία των δυτών είτε των τεχνικών εγχύσεων. Επίσης το ιξώδες του υλικού πρέπει να είναι συμβατό με τον εξοπλισμό άντλησης στην προβλεπόμενη θερμοκρασία για να διεισδύσει στη ρωγμή και να την επισκευάσει.

Όσο αφορά στην εγκατάσταση υπάρχουν τρεις τύποι συστημάτων εποξειδικής άντλησης:

- Ογκομετρικές αντλίες: Οι αντλίες αναμιγνύουν το εποξειδικό υλικό πριν την είσοδο στη ρωγμή.
- Δοχεία υπό πίεση.
- Αντλίες προοδευτικής κοιλότητας: Οι αντλίες αναμιγνύουν το εποξειδικό υλικό κατά την άντληση.

Πριν την έναρξη της διαδικασίας καθαρίζονται οι εκτεθειμένες επιφάνειες σκυροδέματος και από τις δύο πλευρές της ρωγμής. Στη συνέχεια δημιουργούνται ανοίγματα για την εισροή της εποξειδικής ρητίνης στη ρωγμή και εγκαθίσταται μία θύρα εισόδου στην τρύπα. Ο μηχανισμός αυτός συνδέεται με την επιφάνεια σκυροδέματος και προσκολλάται με υδραυλικό τσιμέντο και εποξειδική πάστα. Τέλος το μέγεθος του ανοίγματος της τρύπας εξαρτάται από το μέγεθος της κοιλότητας που πρέπει να εγχυθεί, το πάχος του σκυροδέματος και το μήκος της ρωγμής.[11]

6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όσο αφορά την επισκευή αρμών, οι σύγχρονες μέθοδοι επεμβάσεων διαφέρουν από τις παλαιότερες ως προς την τεχνική της αποκατάστασης της σφράγισης του αρμού. Αυτό συμβαίνει γιατί χρησιμοποιούνται νέα αυτοδιογκούμενα ελαστικά υλικά, τα οποία ενσωματώνονται πλήρως στον αρμό. Αντιθέτως, οι προηγούμενες μέθοδοι απλά κάλυπταν τον αρμό εξωτερικά με μεγάλο κίνδυνο εκτίναξης του νέου υλικού είτε είναι ψαθυρό είτε όχι. Ωστόσο, μπορούν πολύ πιο εύκολα και οικονομικά να αντικατασταθούν σε σχέση με τις

νέες τεχνολογίες, οι οποίες όχι μόνο δεν αντικαθίστανται αλλά απαιτείται και μεγάλη προσοχή κατά το σχεδιασμό της επέμβασης. Συνεπώς όταν οι μετακινήσεις είναι μικρές και δεν υπάρχει διαρροή μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παλιότεροι μηχανισμοί.

Σχετικά με την επισκευή ρωγμών, η χρήση ρητινενέσεων (2.2.2) συνεχίζει να εφαρμόζεται χωρίς να έχουν αναφερθεί αξιοσημείωτες αποτυχίες καθώς η ρητίνες μπορούν με επιτυχία να συγκρατήσουν τις παραμορφώσεις του σκυροδέματος. Ακόμα παρότι τα διογκούμενα υλικά (2.3.1) είναι μία καινοτόμα τεχνολογία η οποία δεν επηρεάζεται από την θερμοκρασία, υπενθυμίζεται ότι απαιτούνται περίπου τρεις ολόκληρες μέρες για να αποκτήσουν την αντοχή τους.

Οι υποβρύχιες επισκευές, αν και είναι αρκετά πολύπλοκες και απαιτούν ειδικό εξοπλισμό, επιλύουν πλήρως το πρόβλημα. Όμως πρέπει να γίνονται στοχευμένα καθώς είναι αναπόφευκτες και πολυδάπανες.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Repair-Evaluation-Maintenance-Rehabilitation Research Program, "Case history of dam repair: Remedial waterstops", REMR TECHNICAL NOTE CS-MR-8.8, Supply 5 (1992)
- [2] Donald A. Bruce, Pedro De Porcellinis, "The system at work-San Esteban", Sealing cracks in concrete dams to provide structural stability, Hydro Review vol4, No10, pp120-121, 1991
- [3] Krystol Waterstop Grout™, "Σύστημα στεγανοποίησης κατασκευαστικών αρμών με τεχνολογία ανάπτυξης κρυστάλλων", <http://www.reliablematerial.com/articles.php?artid=68>, 2010, τεχνικό δελτίο 602
- [4] Krystol Waterstop Grout™, "Krystol® Crack Repair System", http://www.kryton-ireland.com/pdf/Repair/AI-301_crack_repair.pdf, 2010, application instruction 301
- [5] Kryton Company, "Coquitlam Dam- Crack Repair", www.kryton.com
- [6] Tatro Stephen, Harrison William, "New Approach -Third Generation Replaceable Waterstops", 2nd International Conference on Long Term Behavior of Dams 2009, Waterstop Technology for the 21st Century, pp 2-6, 2009
- [7] BBZ Company, "reinjectable grout tubes and hydrophilic waterstop system", http://www.greenstreak.com/SubPacks/Technical_Paper_for_Reinjectable_Waterstop_Hose_Systems.pdf, A Reinjectable waterstop system for watertight joints, pp 4-5
- [8] Emagineer Infrastructure solution (LLC), "Waterstop RWS-G5", http://www.waterstopg5.com/brochure_v2.pdf
- [9] Bruce D.A., DePorcellinis.P, "Injection materials and theory of fissure injection", International Conference on structural faults and repair London 1989, The RODUR process of a concrete dam repair: A recent case history pp.1-4, 1989
- [10] Bruce D.A., DePorcellinis.P, "Structural repair of major concrete", concrete repair bulletin, 1990, pp1
- [11] ACI Comitee 546, "Methods and Materials", Guide to underwater repair of concrete, 2006, pp48-73
- [12] US. Department of Defense, "Order of Drilling and Grouting", Unified Facilities Criteria, Grouting methods and equipment, 2004, pp20-21
- [13] http://www.alibaba.com/productshowimg/sa102544738-107818594-100786284/PVC_Waterstop.html