

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**Εφαρμογές ινοπλισμένου σκυροδέματος στα ανάντη φράγματος
λιθορριπής.**

Μεταπτυχιακή διατριβή

Αγνή Χ. Βουδούρη

Επιβλέπων καθηγητής: Παναγιώτης Ντακούλας

Βόλος, 2013

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εξετάζει τη συμπεριφορά ενός φράγματος λιθορριπής με ανάντη πλάκα ινοσκυροδέματος (CFRDs). Πραγματοποιήθηκε μη γραμμική τρισδιάστατη ανάλυση κατά την κατασκευή του φράγματος, κατά την πλήρωση της λεκάνης και κατά την επιβολή δυναμικής καθίζησης 1m. στη στέψη του φράγματος. Για την προσομοίωση της λιθορριπής και των χαλίκων χρησιμοποιήθηκε το καταστατικό προσομοίωμα Duncan και Chang, ενώ για την προσομοίωση της πλάκας το ελαστο πλαστικό καταστατικό μοντέλο των Lee και Fenves(1998). Εξετάστηκαν τέσσερα σκυροδέματα με δύο διαφορετικές αντοχές σε θλίψη (25MPa και 37MPa) και δύο διαφορετικούς οπλισμούς (Φ25/20 και Φ36/20).

Λέξεις κλειδιά: φράγμα λιθορριπής με ανάντη πλάκα ινοσκυροδέματος (CFRDs), μη γραμμική τρισδιάστατη ανάλυση.

Abstract

This thesis investigates the behavior of a steel-fiber concrete faced rockfill dam (CFRDs). The study is based on a nonlinear 3-D numerical simulation of the phased construction of the dam, subsequent impoundment and imposition of compression 1m at the crest of the dam. The analysis is based on a robust finite element formulation using the Duncan and Chang model for rockfill and gravel and the concrete damaged plasticity model by Lee and Fenves for the slab. There are used four kind of steel-fiber reinforced concrete that difference in strength (25MPa and 37MPa) and steel reinforcement (Φ25/20 and Φ36/20).

Keywords: steel-fiber concrete faced rockfill dam (CFRDs), nonlinear 3-D numerical simulation

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	i
Πίνακας περιεχομένων.....	ii
Κατάλογος πινάκων.....	iv
Κατάλογος γραφημάτων.....	v
Κατάλογος σχημάτων.....	vi
Ευχαριστίες.....	xi
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.	
1.1. Αντικείμενο: Φράγματα λιθορριπής με ανάντη πλάκα σκυροδέματος.....	1
1.2. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	3
Κεφάλαιο 2: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα.	
2.1. Γενικά.....	4
2.2 Ρόλος των ινών: Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα χρήσης ινών.....	4
2.3 Τύποι ινών.....	7
2.4 Ιδιότητες.....	9
2.4.1 Χωρικές παράμετροι.....	9
2.4.1.1 Μήκος ινών.....	9
2.4.1.2 Λόγος μορφής.....	9
2.4.1.3 Προσανατολισμός ινών στο χώρο.....	9
2.4.1.4 Ποσότητα και απόσταση ινών.....	12
2.4.2 Μηχανισμός αστοχίας.....	14
2.4.3. Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος.....	18
2.4.4. Ιδιότητες του σκληρούμενου σκυροδέματος.....	18
Κεφάλαιο 3: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα με ίνες χάλυβα.	
3.1 Αντοχή σε διαξονική θλίψη-Μελέτη των Traina και (1990,1991).....	19
3.1.1 Αντικείμενο και περιγραφή πειράματος.....	19

3.1.2. Περιγραφή των αποτελεσμάτων	19
3.2. Αντοχή σε συνδυασμό εφελκυσμού-θλίψης-Μελέτη των Demeke και Tegos (1994)	28
3.2.1 Αντικείμενο και περιγραφή πειράματος.....	28
3.2.2 Θεωρητική προσέγγιση	30
3.2.3 Περιγραφή αποτελεσμάτων	31
3.3. Δοκιμές δυσθραυστότητας-Μελέτη Σουλιώτη και Ματίκα (2008)	34
Κεφάλαιο 4: Προσομοίωση της συμπεριφοράς φράγματος λιθορριπής με ανάντη πλάκα από SFRC	
4.1 Πλάκα ινοπλισμένου σκυροδέματος.....	36
4.2 Προσομοίωση του φράγματος	39
4.2.1 Χαρακτηριστικά του φράγματος.....	39
4.2.2 Προσομοίωση της σταδιακής κατασκευής.....	40
4.2.3 Υλικά	41
4.2.3 Σταδιακή κατασκευή και πλήρωση της λεκάνης	43
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα	
5.1 Φράγμα λιθορριπής με ανάντη πλάκα σκυροδέματος	45
5.1.1. Στάδιο πληρώσεις της λεκάνης του φράγματος με νερό	45
5.1.2. Στάδιο επιβολής δυναμικής καθίζηση 1 m στη στέψη του φράγματος.....	47
5.2. Πλάκα ινοπλισμένου σκυροδέματος.....	48
5.2.1. Στάδιο πλήρωσης της λεκάνης του φράγματος με νερό.....	48
5.2.2. Στάδιο επιβολής δυναμικής καθίζησης 1 m στη στέψη του φράγματος.....	68
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.....	87
Βιβλιογραφία	88

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΙΝΩΝ (MAIDL, 1995).....	11
Πίνακας 2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	40
Πίνακας 3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	41
Πίνακας 4. ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	50
Πίνακας 5. ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	54
Πίνακας 6. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	66
Πίνακας 7. ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1Μ ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	70
Πίνακας 8. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1Μ ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	74
Πίνακας 9. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	86

Κατάλογος γραφημάτων

Γράφημα 1. ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΥΡΙΑ ΤΑΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΦΕΤΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	50
Γράφημα 2. ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΥΡΙΑ ΤΑΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΠΕΜΠΤΗΣ ΦΕΤΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	54
Γράφημα 3. ΒΥΘΙΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΕΒΔΟΜΗΣ ΦΕΤΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	66
Γράφημα 4. ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΥΡΙΑ ΤΑΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΦΕΤΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	70
Γράφημα 5. ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΥΡΙΑ ΤΑΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΠΕΜΠΤΗΣ ΦΕΤΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ.ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	74
Γράφημα 6. ΒΥΘΙΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΕΒΔΟΜΗΣ ΦΕΤΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ.ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	86

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1. ΜΕΡΙΚΕΣ ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΝΑΝΤΗ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (a) ΦΡΑΓΜΑ ΜΕ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ T (b) ΦΡΑΓΜΑ ΜΕ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΖΩΝΗ 3B (c) ΦΡΑΓΜΑ ΜΕ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΖΩΝΗ 3C.....	1
Σχήμα 2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΡΩΓΜΩΝ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΙΝΕΣ, FIBERMESH 1989.....	5
Σχήμα 3. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΛΟΓΩ (ARCELORMITTAL 2008).....	6
Σχήμα 4. ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΑ ΕΙΔΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΙΝΩΝ (BISFA, 2009).....	8
Σχήμα 5. ΤΟΜΗ ΜΙΑΣ ΙΝΑΣ ΜΕΣΑ ΣΕ ΜΙΑ ΡΩΓΜΗ ΜΕ ΓΩΝΙΑ θ (BENTUR AND MINDNESS, 1990).	10
Σχήμα 6. ΠΙΘΑΝΟΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΙ ΙΝΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ (MAIDL, 1995).....	10
Σχήμα 7. ΑΠΟΣΤΑΣΗ (SPACING) ΜΕΤΑΞΥ ΔΥΟ ΙΝΩΝ	12
Σχήμα 8. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΙΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (ROMUALDI, BATSON 1963).	12
Σχήμα 9. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΙΝΩΝ - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ, (BENTUR AND MINDNESS, 1990).....	14
Σχήμα 10. ΚΡΙΣΙΜΟ ΜΗΚΟΣ ΙΝΑΣ (MAIDL, 1995).....	15
Σχήμα 11. ΚΥΡΙΑΡΧΑ ΠΡΟΦΙΛ ΙΝΩΝ.	16
Σχήμα 12. ΦΟΡΤΙΣΗ - ΒΕΛΟΣ, ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (BHP TECHNICAL MANUAL, 1981).	17
Σχήμα 13. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΝΩΝ/ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (FRACTURES MECHANICS, ANDERSON 1991).	18
Σχήμα 14. ΜΟΡΦΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΥΠΟ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ: Α) ΑΟΠΛΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, Β) ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ($V_f = 1\%$).....	20
Σχήμα 15. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ I) ΥΠΟ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.	20
Σχήμα 16. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ II) ΥΠΟ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.....	21
Σχήμα 17. ΚΑΜΠΥΛΗ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ-ΚΥΡΙΑΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ I) ΥΠΟ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.....	21
Σχήμα 18. ΚΑΜΠΥΛΗ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ-ΚΥΡΙΑΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ II) ΥΠΟ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.....	22
Σχήμα 19. ΚΑΜΠΥΛΗ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ-ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΠΟ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.	22
Σχήμα 20. ΜΟΡΦΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΥΠΟ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ($\sigma_2/\sigma_1 = 1$): Α)ΑΟΠΛΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, Β) ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ I, $V_f = 1\%$), C) ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ II, $V_f = 1\%$).....	24
Σχήμα 21. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΠΟ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.	24

Σχήμα 22. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ Ι) ΥΠΟ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.....	25
Σχήμα 23. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ ΙΙ) ΥΠΟ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.	25
Σχήμα 24. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΓΓ' ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ Ι).....	26
Σχήμα 25. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΓΙ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ ΙΙ).....	26
Σχήμα 26. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ ΥΙΝ ΕΤ ΑΛ. (1989)...	27
Σχήμα 27. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	29
Σχήμα 28. ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	29
Σχήμα 29. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΟΠΛΟΥ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΣΕ ΙΝΕΣ (VF = 0,5, 1, 1,5%).	31
Σχήμα 30. Α) ΤΥΠΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΡΩΓΜΩΝ Β) ΤΥΠΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.	32
Σχήμα 31. ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΙΝΩΝ ΣΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗ F1 ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ VF.	33
Σχήμα 32. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ F2 ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ VF ΣΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ Α.	33
Σχήμα 33. ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΔΥΣΘΡΑΣΥΤΟΤΗΤΑΣ.	34
Σχήμα 34. ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΙ ΖΩΝΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	39
Σχήμα 35. ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ 3Δ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΟΠΟΥ ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΖΩΝΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΑΝΑΧΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΕΣ ΠΛΑΚΕΣ ΤΟΥ ΑΝΑΝΤΗ ΠΡΑΝΟΥΣ.....	44
Σχήμα 36. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΟ ΦΡΑΓΜΑ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	45
Σχήμα 37. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	46
Σχήμα 38. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.....	47
Σχήμα 39. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	48
Σχήμα 40. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	48
Σχήμα 41. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	49
Σχήμα 42. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	49
Σχήμα 43. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	52
Σχήμα 44. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	52

Σχήμα 45. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	53
Σχήμα 46. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	54
Σχήμα 47. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	57
Σχήμα 48. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	57
Σχήμα 49. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	58
Σχήμα 50. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	58
Σχήμα 51. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	59
Σχήμα 52. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	59
Σχήμα 53. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	60
Σχήμα 54. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	60
Σχήμα 55. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	61
Σχήμα 56. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	61
Σχήμα 57. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	62
Σχήμα 58. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	62
Σχήμα 59. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	63
Σχήμα 60. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	64
Σχήμα 61. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	64
Σχήμα 62. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	65

Σχήμα 63. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	66
Σχήμα 64. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	66
Σχήμα 65. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	67
Σχήμα 66. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	67
Σχήμα 67. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.....	70
Σχήμα 68. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.....	70
Σχήμα 69. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.....	71
Σχήμα 70. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ . ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.....	71
Σχήμα 71. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.....	74
Σχήμα 72. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.....	74
Σχήμα 73. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.....	75
Σχήμα 74. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.....	75
Σχήμα 75. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.....	78
Σχήμα 76. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.....	78
Σχήμα 77. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.....	79
Σχήμα 78. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.....	79
Σχήμα 79. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	81

Σχήμα 80. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	81
Σχήμα 81. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	82
Σχήμα 82. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	82
Σχήμα 83. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	84
Σχήμα 84. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	84
Σχήμα 85. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	85
Σχήμα 86. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	85
Σχήμα 87. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	86
Σχήμα 88. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	86
Σχήμα 89. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	87
Σχήμα 90. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	87
Σχήμα 91. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	88
Σχήμα 92. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	89
Σχήμα 93. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C375, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.	89
Σχήμα 94. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C375, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.	90

Ευχαριστίες

Πρωτίστως, ευχαριστώ θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή της παρούσας διατριβής, τον Κο. Παναγιώτη Ντακούλα, για την άριστη καθοδήγησή του, τις πολύτιμες υποδείξεις του και την υπομονή που υπέδειξε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Η συνεχής υποστήριξή του και η διαρκής διαθεσιμότητά του είχαν καθοριστικό ρόλο στην περάτωση αυτής της έρευνας.

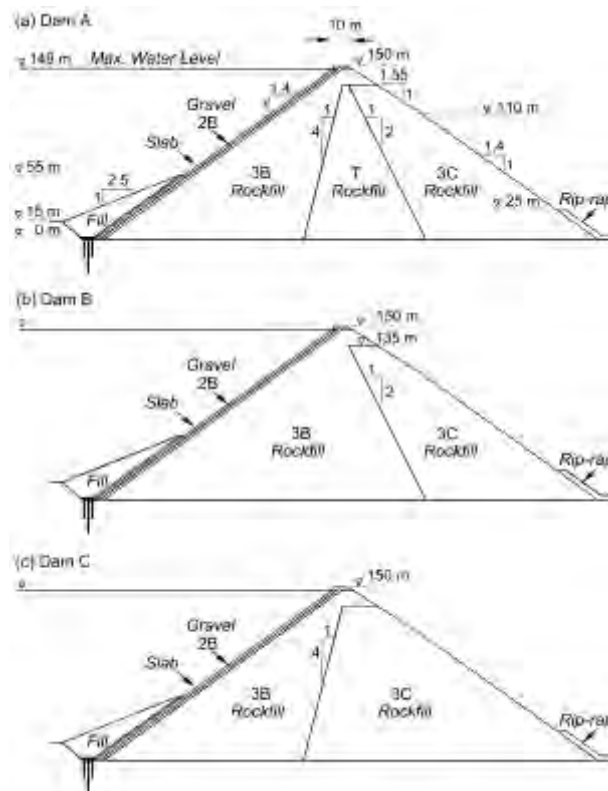
Επίσης, θα ήθελα ιδιαίτερα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, για τη συνεχή υποστήριξη και κατανόηση που έδειξε, καθώς και για τη σημαντική εμπύχωση που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της προσπάθειάς μου.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.

1.1. Αντικείμενο: Φράγματα λιθορριπής με ανάντη πλάκα σκυροδέματος

Κατά τα τελευταία είκοσι χρόνια κατασκευάστηκε ένας σημαντικός αριθμός φραγμάτων λιθορριπής με ανάντη πλάκα σκυροδέματος (CFRDs) στην Κίνα, Βραζιλία, Μεξικό, Η.Π.Α., Αυστραλία, Νότιο-Ανατολική Ασία, και αλλού. Μέχρι το 2008 πάνω από 170 CFRDs είχαν ολοκληρωθεί μόνο στην Κίνα, εκ των οποίων περισσότερα από 40 ήταν υψηλότερα των 100 m και 14 ήταν υψηλότερα των 150 m. Το υψηλότερο φράγμα του κόσμου, το φράγμα Shuibuya βρίσκεται στην Κίνα, έχει ύψος 233 m και ολοκληρώθηκε το 2007. Μερικά από τα ψηλότερα φράγματα που συναντώνται στην Κίνα είναι τα εξής: Jiangringhe με ύψος 221 m, Sanbanxi με ύψος 186 m, Hongjiadu με ύψος 179.5 m, Tianshengqiao I με ύψος 178 m και Tankeng με ύψος 162 m. Επισημαίνεται ότι κάποια από αυτά εμφάνισαν ρηγμάτωση στην πλάκα σκυροδέματος κατά την πλήρωση της λεκάνης.

Στο Σχήμα 1 δίδεται μία τυπική διατομή ενός CFRDs, αποτελούμενη από την ανάντη ζώνη λιθορριπής 3B, μία μεταβατική ζώνη T, και την κατάντη ζώνη λιθορριπής 3C. Η πλάκα σκυροδέματος στην ανάντη πλευρά τοποθετείται πάνω από μία ζώνη χαλίκων 2B. Για περαιτέρω προστασία, στο κάτω μέρος της πλάκας τοποθετείται ένα λεπτόκοκκο επίχωμα.



Σχήμα 1. ΜΕΡΙΚΕΣ ΤΥΠΙΚΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΝΑΝΤΗ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (α) ΦΡΑΓΜΑ ΜΕ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ T (b) ΦΡΑΓΜΑ ΜΕ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΖΩΝΗ 3B (c) ΦΡΑΓΜΑ ΜΕ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΖΩΝΗ 3C.

Τα CFRDs προσφέρουν μερικά σημαντικά πλεονεκτήματα (Sherard & Cooke 1987, Ma & Cao 2007, Gazetas & Dakoulas 1992):

- i) Είναι δυνατή η δημιουργία μεγάλων κλίσεων πρανών λόγω της μεγάλης τιμής της γωνίας διατμητικής αντοχής συμπτκνωμένων χαλίκων και λιθορριπής.
- ii) Αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής της λιθορριπής λόγω της πίεσης του νερού.
- iii) Επιτυγχάνεται οικονομία χρόνου διότι η κατασκευή του επιχώματος είναι δυνατόν να γίνει υπό βροχή κάτι που οδηγεί και σε καλύτερη συμπύκνωση.
- iv) Γίνεται οικονομία υλικών λόγω μεγάλων κλίσεων πρανών και γενικά απαιτούνται λιγότερα υλικά από μακρινές περιοχές.
- v) Η κατασκευή είναι ταχύτερη, η λειτουργία ασφαλέστερη και η συντήρηση ευκολότερη.
- vi) Η σεισμική συμπεριφορά φαίνεται να είναι πολύ καλή.

Η εξέλιξη του σχεδιασμού των CFRDs μέχρι τώρα βασίστηκε κυρίως στην εμπειρία από την συμπεριφορά των ήδη κατασκευασμένων φραγμάτων. Τα βασικά χαρακτηριστικά του σχεδιασμού των CFRD's όπως αυτά καθορίστηκαν από την εμπειρία των B. Cooke & J. Sherard (Fitzpatrick&al.1985) είναι:

- i) το συμπτκνωμένο λιθόρριπτο επίχωμα με τις μεταβατικές ζώνες, ικανό να παροχετεύσει χωρίς προβλήματα μεγάλες ροές διαμέσου του σώματος του, χωρίς την ανάπτυξη πίεσης πόρων.
- ii) η πλάκα σκυροδέματος, πάχους μεταβαλλόμενου ανάλογα με το ύψος νερού, με ειδικά σχεδιασμένους κατακόρυφους αρμούς.
- iii) η πλίνθος, εδραζόμενη σε υγιή βράχο, με πλάτος ανάλογα με το υδραυλικό φορτίο και τον αρμό πλίνθου-πλάκας ώστε να παραλάβει τις παραμορφώσεις.

Η κύρια ανησυχία για την ευστάθεια των CFRDs είναι η παραμόρφωση της πλάκας σκυροδέματος. Κατά την πλήρωση του φράγματος με νερό, η υδατική πίεση και οι παραμορφώσεις του φράγματος οδηγούν στην παραμόρφωση της πλάκας. Η πλάκα λειτουργεί σαν αδιαπέρατη μεμβράνη και οποιαδήποτε ρηγμάτωση της επιφάνειάς της θα επιτρέψει στο νερό να διεισδύσει στον πυρήνα λιθορριπής του φράγματος με αποτέλεσμα τη μερική διάβρωση και περαιτέρω αύξηση των καθιζήσεων της λιθορριπής με άμεση συνέπεια την αύξηση των ζημιών της πλάκας σκυροδέματος.

Οι πιο κοινές αιτίες των αστοχιών των φραγμάτων είναι:

- i) Υπερχείλιση των αναχωμάτων λόγω ανεπάρκειας του υπερχειλιστή.
- ii) Λάθη στο σχεδιασμό ή στη κατασκευή.
- iii) Γεωλογικά προβλήματα στη θεμελίωση.
- iv) Κατολισθήσεις στον ταμιευτήρα.
- v) Ανθρώπινοι παράγοντες.

Μελέτες της συμπεριφοράς φραγμάτων λιθορριπής έχουν αναδείξει ότι πολλά φράγματα ανέπτυξαν μικρές ή μεγάλες ρωγμές στην πλάκα σκυροδέματος. Μερικές από τις πιο συχνές αιτίες είναι:

- i) συνολικά μικρή δυσκαμψία της λιθορριπής στην ανάντη και κατάντη ζώνη.
- ii) σημαντικά μικρότερη δυσκαμψία της κατάντη ζώνης σχετικά με εκείνη της ανάντη ζώνης με αποτέλεσμα σημαντικές βυθίσεις της πλάκας κοντά στην στέγη.
- iii) παρουσία τοπικά απότομων κλίσεων της πλίνθου και ανώμαλη επιφάνεια του βράχου στα αντερείσματα, που δημιουργούν συγκέντρωση τάσεων στην πλάκα
- iv) ταυτόχρονη κατασκευή και μερική πλήρωση της λεκάνης που επιβάλλει σημαντικές καθιζήσεις στην πλάκα.

Τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν στο σχεδιασμό των φραγμάτων και κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους, ώστε να αποφευχθούν αστοχίες συνοψίζονται στα εξής:

- i) Αύξηση της ακαμψίας του επιχώματος στην ανάντη περιοχή στα 2/3 της διατομής και στο πάνω τμήματος του φράγματος, με βελτίωση της πυκνότητας του. Απαιτείται καλύτερη διαβάθμιση στην λιθορριπή, στρώσεις συμπύκνωσης 0.6 - 0.8m, περισσότερες διελεύσεις δονητικού οδοστρώτηρα και συστηματικής διαβροχής.
- ii) Πρόβλεψη χρόνου για ολοκλήρωση του μέγιστου μέρους των καθιζήσεων πριν την κατασκευή της πλάκας.
- iii) Ενίσχυση της πλάκας ώστε να αντιμετωπίζονται τα φαινόμενα θλιπτικής αστοχίας της (αύξηση πάχους πλάκας, οπλισμός σε δύο εσχάρες και στις παρειές των αρμών, δημιουργία κατακόρυφων αρμών ώστε να απορροφηθούν οι παραμορφώσεις).

Η ενίσχυση της πλάκας σκυροδέματος, που περιγράφεται παραπάνω, μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ινοπλισμένου σκυροδέματος με ίνες χάλυβα, το οποίο παρουσιάζει βελτιωμένες ιδιότητες και πιο πλαστική συμπεριφορά σε σχέση με το συμβατικό οπλισμένο σκυρόδεμα

1.2. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς της ανάντη πλάκας σκυροδέματος σε φράγμα λιθορριπής, η οποία έχει κατασκευαστεί από ινοπλισμένο σκυρόδεμα και η επίδραση διαφόρων παραγόντων στην εντατική κατάσταση και πιθανή ρηγμάτωση της πλάκας.

Κεφάλαιο 2: Ινοπλισμένο Σκυρόδεμα.

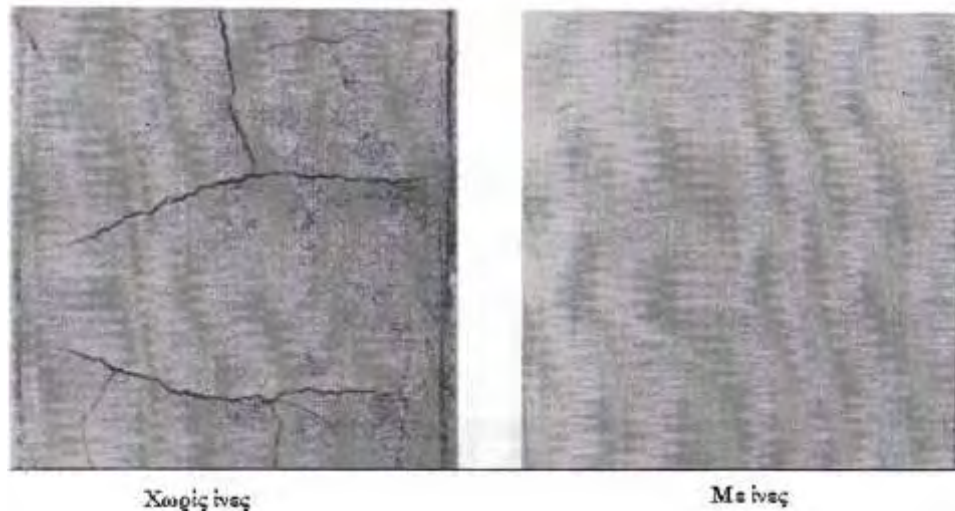
2.1. Γενικά

Για περισσότερο από έναν αιώνα το πλέον διαδεδομένο υλικό κατασκευής στατικών φορέων είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα επί μέρους υλικά, δηλαδή ο χαλύβδινος οπλισμός και το σκυρόδεμα (μίγμα χαλικιού, άμμου, τσιμέντου και νερού) έχουν εξαιρετική σχέση κόστους-παρεχόμενων είναι εύχρηστα και απαιτούν σχετικά απλή εξειδίκευση για την υλοποίηση της κατασκευής. Σήμερα με την ταχεία εξέλιξη στην τεχνολογία των σύνθετων υλικών διατίθενται και άλλες εναλλακτικές μορφές οπλισμένου για χρήση στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Έτσι, ενώ μέχρι προσφάτως ο όρος οπλισμένο για το σκυρόδεμα υπονοούσε οπλισμένο με χαλύβδινες ράβδους, στο μέλλον το σκυρόδεμα μπορεί να είναι οπλισμένο είτε με ίνες (από χάλυβα (steel fibers), ή από άνθρακα (carbon fibers), ή από γυαλί (glass fibers) ή από αραμίδιο (aramid fibers), είτε με συνθετικές ράβδους ποικίλων σχημάτων και μηχανικών ιδιοτήτων (Fiber Reinforced Composite Bars) (Πανταζοπούλου, 2001).

2.2 Ρόλος των ινών: Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα χρήσης ινών.

Η χρήση των ινών στο σκυρόδεμα προσφέρει πολλά συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι του συμβατικού οπλισμού, χωρίς όμως να μπορεί γενικά να τον αντικαταστήσει. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης τους μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- i) Οι ίνες διασκορπίζονται ομοιογενώς στο μίγμα και περιορίζουν τις ρωγμές, σε μήκος και πλάτος, καθώς και τις επιπτώσεις της συστολής. Το αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχήμα 2.
- ii) Δημιουργεί πιο ασφαλές συνθήκες για το προσωπικό που χειρίζεται το ινοπλισμένο σκυρόδεμα, γιατί δεν χρειάζεται να τοποθετήσει πλέγμα σε συνήθως, μεγάλο ύψος. Η ασφάλεια του προσωπικού μάλιστα, μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερη όταν χρησιμοποιείται τηλεχειριζόμενο ρομπότ εκτόξευσης του ινοπλισμένου σκυροδέματος.
- iii) Παρατηρείται σημαντική βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος. Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα παρουσιάζει όχι μόνο καλύτερες πρώιμες αντοχές, αλλά και μεγαλύτερη αντοχή σε κρούση, σε διάτμηση, ενώ έχει και αυξημένη δυσθραυστότητα, δηλαδή ικανότητα να απορροφήσει ενέργεια κατά την παραμόρφωση. Επίσης αναπτύσσει μεγαλύτερη δύναμη συνάφειας με την επιφάνεια που διαστρώνεται σε σχέση με το συμβατικό οπλισμένο σκυρόδεμα.



Σχήμα 2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΡΩΓΜΩΝ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΙΝΕΣ, FIBERMESH 1989.

- iv) Οι ίνες μπορούν να συνδυαστούν με συμβατικό οπλισμό, παίζοντας το ρόλο της δευτερογενούς ενίσχυσης.
- v) Το σκυρόδεμα γίνεται πιο όλκιμο, άρα και καταλληλότερο να ενδίδει στις συγκλίσεις, χωρίς να αστοχεί η επένδυση.
- vi) Η χρήση ινών οδηγεί σε οικονομία υλικών και σε οικονομία χρόνου. Αυτό δεν οφείλεται μόνο στην κατάργηση του πλέγματος και στην μείωση των εργατικών, αλλά και στο μικρότερο όγκο εκτοξευόμενου σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθεί συνολικά. Οι ίνες δεν απαιτούν ελάχιστη επικάλυψη, όπως το πλέγμα, αλλά ούτε πρέπει να γίνεται γέμισμα των όποιων κενών με σκυρόδεμα. Ενδεικτικό διάγραμμα της μείωσης του χρόνου απεικονίζεται στο Σχήμα 3.
- vii) Γενικά δεν απαιτούν ειδικό μηχανικό εξοπλισμό για τη χρήση τους. Ωστόσο, το ακροφύσιο και οι σωληνώσεις πρέπει να είναι ικανού πάχους ώστε οι ίνες να μην τις φράζουν. Επίσης, μπορούν να συνδυαστούν με όλα τα πρόσθετα και πρόσμικτα της αγοράς.
- viii) Κατάλληλες ίνες όταν προστίθενται στο σκυρόδεμα αυξάνουν κατά πολύ την ανθεκτικότητά του σε υψηλές θερμοκρασίες, περιορίζοντας τη θραύση του.
- ix) Οι ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εργασίες επισκευών υφιστάμενων κατασκευών. Επιπλέον, εάν μια επένδυση ινοπλισμένου σκυροδέματος χρειαστεί επισκευή ή ενίσχυση αυτή πραγματοποιείται ευκολότερα σε σχέση με μια επένδυση με συμβατικό οπλισμό.
- x) Αύξηση της αντοχής σε εφελκυσμού του υλικού. Αν το μέτρο ελαστικότητας της ίνας είναι υψηλό σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος ή του συνδετικού

κονιάματος, οι ίνες βοηθούν στη μεταφορά της φόρτισης, αυξάνοντας έτσι την αντοχή σε εφελκυσμό του υλικού.



Σχήμα 3. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΛΟΓΩ (ARCELORMITTAL 2008).

Αντίστοιχα, τα μειονεκτήματα χρήσης τους μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

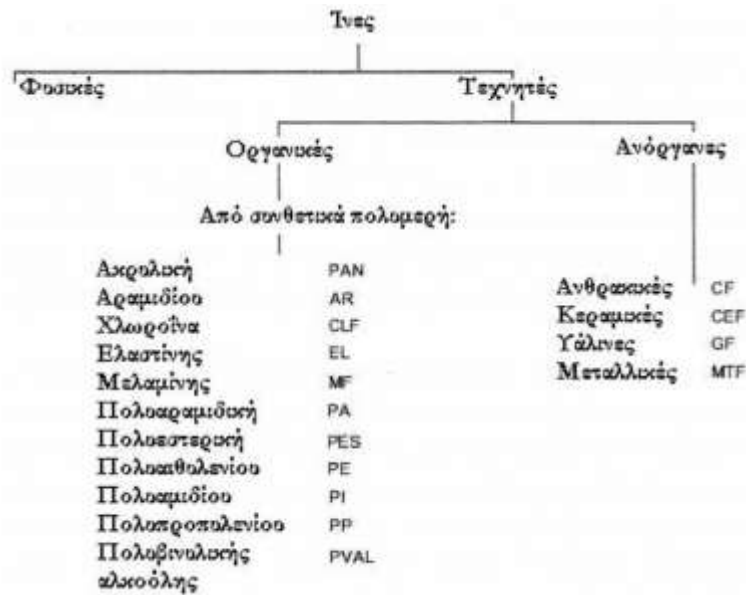
- i) Παρά το γεγονός ότι οι ίνες διασπορίζονται στο μίγμα, μόνο έναν ποσοστό από αυτές παραλαμβάνει φορτία και περιορίζει το άνοιγμα των ρωγμών. Το ποσοστό αυτό μπορεί να είναι μόνο 25%, που σημαίνει ότι μεγάλο μέρος τους δεν αξιοποιείται. Πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη ότι ένα μέρος τους χάνεται ως υλικό αναπήδησης. Ειδικά, στην περίπτωση της ξηρής μίξης αυτό το ποσοστό μπορεί να φθάσει το 50%.
- ii) Οι χαλύβδινες ίνες είναι σχετικά κοφτερές και μπορεί να προκαλέσουν εκδορές ή μικροτραυματισμούς στο προσωπικό, αν δεν τις διαχειρίζονται προσεκτικά.
- iii) Οι ίνες είναι αδύνατον να αντικαταστήσουν πλήρως τον συμβατικό οπλισμό. Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα δε μπορεί να αναπτύξει αντίστοιχη εφελκυστική αντοχή με αυτή του συμβατικά οπλισμένου σκυροδέματος (Wong C. 2004).
- iv) Η μίξη των ινών πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην δημιουργούνται συσσωματώματα ινών που αργότερα θα φράξουν τις σωληνώσεις ή θα υποβαθμίσουν την ποιότητα του σκυροδέματος.
- v) Οι χαλύβδινες ίνες φθείρονται όταν εκτίθενται σε υγρασία, ενώ οι υάλινες έχουν μικρή ανθεκτικότητα σε αλκαλικά περιβάλλοντα. Επίσης, οι ίνες που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια, έχουν από μικρή έως ελάχιστη επικάλυψη, έτσι τείνουν να εμφανίζουν σημεία σκουριάς. Για λόγους αισθητικής και ασφάλειας, προτείνεται, η μόνιμη επένδυση από ινοπλισμένο σκυρόδεμα να προστατεύεται από ένα λεπτό στρώμα κονιάματος.

- vi) Εύκολα, επίσης, μπορεί να προκληθεί φθορά στις ίνες από ακατάλληλη συσκευασία ή μεταφορά.
- vii) Η εμπειρία από τη χρήση τους δεν είναι τόσο διαδομένη όσο αυτή του δομικού πλέγματος. Ο εξοπλισμός φθείρεται σημαντικά περισσότερο σε σχέση με το κοινό εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Έτσι, το κόστος λόγω συντήρησης ή αντικατάστασης του εξοπλισμού, αυξάνει.
- viii) Είναι συνήθως ακριβότερες σε σχέση με τον συμβατικό οπλισμό, και η διαθεσιμότητά τους στον χώρο του έργου μπορεί να είναι περιορισμένη.

2.3 Τύποι ινών.

Οι ίνες κατασκευάζονται από υλικά όπως ο χάλυβας, η ύαλος, ο άνθρακας, ο αμίαντος, καθώς και συνθετικά ή κεραμικά υλικά (Σχήμα 4). Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες ίνες είναι οι χαλύβδινες, αν και η χρήση υάλινων ή ανθρακικών αρχίζει να γίνεται πιο συχνή. Ο χάλυβας συνεργάζεται καλά με το σκυρόδεμα, λόγω των μηχανικών του ιδιοτήτων και της ανθεκτικότητάς του στα αλκαλικά. Είναι δυνατή η διαμόρφωση των ινών, ώστε να έχουν για παράδειγμα άγκιστρα στα άκρα ή γραμμώσεις. Η εφελκυστική αντοχή των χαλύβδινων ινών κυμαίνεται από 400 έως 1500 MP. Οι ίνες ανθρακούχου χάλυβα μπορούν να ξεπεράσουν τα 4000MP με ψυχρή κατεργασία. Χρησιμοποιούνται διάφορες μορφές χαλύβδινων ινών, που καθορίζονται από τον τρόπο παραγωγής τους. Οι πιο συνήθεις ίνες παράγονται με συρματοποίηση ή φρεζάρισμα.

Οι ίνες από σύρμα παράγονται κυρίως με ολική ακατέργαστου σύρματος μέσα από λεπυνόμενα ανοίγματα έως ότου επιτευχθεί η απαιτούμενη διάμετρος. Το σύρμα στη συνέχεια οδηγείται δια μέσου δύο αντιστρόφως περιστρεφόμενων κυλίνδρων ώστε να διαμορφωθεί κατάλληλα. Το σύρμα διαμορφώνεται στη στερεή του κατάσταση (εν ψυχρώ) και η διαδικασία είναι κατάλληλη για όλα τα όλκιμα μέταλλα. Στα σύρματα είναι δυνατή η κατεργασία της επιφάνειας με μεθόδους όπως η γαλβάνιση. Η αντοχή τους είναι 800 έως 1000MP.



Σχήμα 4. ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΑ ΕΙΔΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΙΝΩΝ (BISΓΑ, 2009).

Ίνες μπορούν να παραχθούν και ως ρινίσματα με το φρεζάρισμα τεμαχίων χάλυβα από περιστρεφόμενο κοπτικό. Οι ίνες που παράγονται με αυτό τον τρόπο έχουν κοίλο (δρεπανοειδές) σχήμα, είναι συστρεμμένες, και έχουν την εξωτερική επιφάνεια λεία και την εσωτερική τραχεία. Η αντοχή τους είναι περίπου 700MP. Οι παραγόμενες ίνες είναι ελαφρά ψαθυρές και πιο ακανόνιστες από τις ίνες από σύρματα. Ως αποτέλεσμα της θερμότητας που παράγεται κατά την κοπή, η επιφάνειά τους επιστρώνεται με ένα οξείδιο που προσδίδει στις ίνες ένα μικρό βαθμό αντιοξειδωτικής προστασίας.

Ίνες παράγονται και με την κοπή χαλύβδινων λεπτών φύλλων. Τα φύλλα κόβονται αρχικά σε λωρίδες και στη συνέχεια σε ίνες. Ασκώντας πίεση μπορεί να δημιουργηθεί τοπική πλάτυση ή άγκιστρα στα άκρα. Η αντοχή των ινών που παράγονται είναι μεταξύ 400 και 1000 MP. Ίνες μεταλλικές παράγονται επίσης με την εξαγωγή τους κατευθείαν από ένα λουτρό τηγμένου σιδήρου ή χάλυβα. Ένας δίσκος με εγκοπές περιστρέφεται ακριβώς επάνω από το τηγμένο λουτρό. Το υλικό που αφαιρείται από εκεί πήζει και σταθεροποιείται αμέσως.

2.4 Ιδιότητες

2.4.1 ΧΩΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

2.4.1.1 Μήκος ινών

Το μήκος των ινών (Melby, 2001) δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 50-60% (50% Sika, 2007; 2/3 Vandewalle, 2008) της διαμέτρου του σωλήνα άντλησης. Αυτό σημαίνει ότι για χειρωνακτικό ψεκασμό το μέγιστο μήκος ίνας είναι 25mm, ενώ για ρομπότ με σωλήνες άντλησης 65mm, υπάρχει δυνατότητα ψεκασμού με ίνες μήκους ως και 40mm. Επίσης, το μήκος των ινών θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το διπλάσιο του μέγιστου κόκκου των αδρανών.

2.4.1.2 Λόγος μορφής

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της ίνας, που την καθιστούν επιλέξιμη ή όχι για την εκάστοτε εφαρμογή, είναι το υλικό κατασκευής και η μορφή των ινών. Οι ίνες παράγονται σε πολλές μορφές και μεγέθη, και μπορεί να είναι κυκλικής, πολυγωνικής ή ακόμη και ακανόνιστης διατομής. Για τις ίνες που δεν είναι κυκλικής ή πρισματικής διατομής, ορίζεται η ισοδύναμη διάμετρος d_e ως εκείνη που είναι ίση τη μέση διάμετρό της. Ίνες με μικρή ισοδύναμη διάμετρο έχουν σχετικά μικρή δυσκαμψία, κι έτσι έχουν μια συγκεκριμένη ικανότητα να προσαρμόζονται στο σχήμα και στο χώρο που καταλαμβάνουν ανάμεσα στους κόκκους των αδρανών. Στην περίπτωση χαλύβδινων ινών με ακανόνιστη μορφή, η ισοδύναμη διάμετρος (σε mm) δίδεται από τη σχέση (Maccaferri):

$$d_e = \sqrt{\frac{4}{\pi \cdot \rho}} \cdot \sqrt{\frac{m}{L}} = 12.74 \cdot \sqrt{\frac{m}{L}}; \rho = 0.00785 \text{ g/mm}^3$$

Όπου: m = η μάζα σε g της ίνας

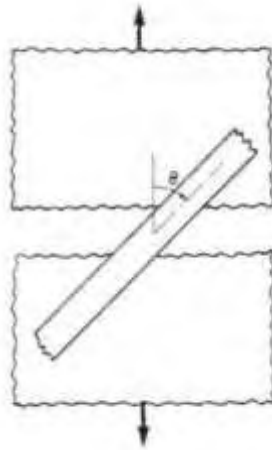
L = το μέσο μήκος της ίνας (mm)

Ο λόγος μήκους προς διάμετρο της ίνας (l/d) ονομάζεται λόγος μορφής και εκφράζει την ευκαμψία της. Στην περίπτωση των συνθετικών ινών, αντί για τον λόγο μορφής η κατηγοριοποίηση γίνεται με την γραμμική μάζα 9 χιλιομέτρων ίνας, που ονομάζεται *denier*.

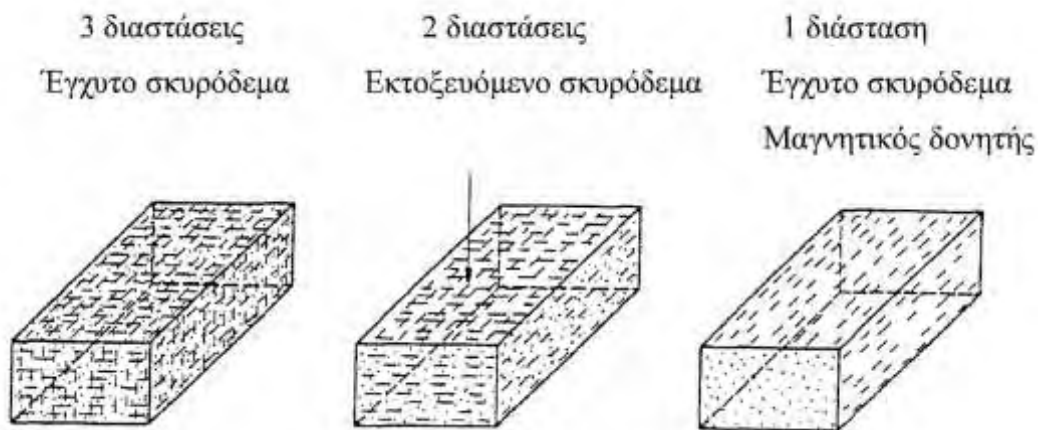
2.4.1.3 Προσανατολισμός ινών στο χώρο

Η κατανομή και ο προσανατολισμός των ινών στο μίγμα επηρεάζει σημαντικά της μηχανικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Οι ίνες σε τρισδιάστατη διασπορά μέσα στη μάζα του σκυροδέματος παρεμποδίζουν τη διεύρυνση και τη διάδοση των μικρορωγμών, επιτρέποντας ταυτόχρονα την παραλαβή εφελκυστικών τάσεων από επιφάνεια σε επιφάνεια της ρωγμής, δρώντας έτσι ως γέφυρες «συρραφής». Η μορφή των ρωγμών εξαρτάται από τη φύση του

φορτίου (εφελκυσμός, θλίψη, διάτμηση) και από τη γεωμετρία του στοιχείου. Οι ρωγμές αναπτύσσονται κάθετα στην κατεύθυνση της εφελκυστικής τάσης. Όπως και στη χρήση οπλισμών χάλυβα, οι ίνες είναι βέλτιστα τοποθετημένες εάν προσανατολίζονται προς την κατεύθυνση της εφελκυστικής τάσης και διασταυρώνονται κάθετα με τη ρωγμή. Η μείωση της αποτελεσματικότητας της ίνας λόγω της λοξότητας της (Σχήμα 5), ως προς τη ρωγμή, μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας (Maidl, 1995) συντελεστές προσανατολισμού (Πίνακας 1). Στο Σχήμα 6 παρατηρούμε χαρακτηριστικούς προσανατολισμούς των ινών.



Σχήμα 5. ΤΟΜΗ ΜΙΑΣ ΙΝΑΣ ΜΕΣΑ ΣΕ ΜΙΑ ΡΩΓΜΗ ΜΕ ΓΩΝΙΑ θ (BENTUR AND MINDNESS, 1990).



Σχήμα 6. ΠΙΘΑΝΟΙ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΙ ΙΝΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ (MAIDL, 1995).

Πίνακας 1. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ ΙΝΩΝ (MAIDL, 1995)

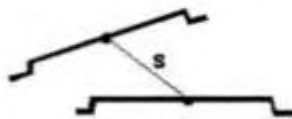
Συντελεστής προσανατολισμού	Σχόλια, πηγή
$\eta_{\phi 2D} = 0.444$	Το κέντρο της ίνας βρίσκεται σε απόσταση $L_f/2$ από ένα άκρο
$\eta_{\phi 2D} = 0.375$	Krenchel, 1964
$\eta_{\phi 2D} = 0.637$	Parimi, Rao, 1971
$\eta_{\phi 2D} = 1 - \frac{2}{15}(1 - V_f) \left(\frac{6(n-1)}{n} + v_c \right)$	Schnütgen, 1975

όπου: V_f =ποσότητα ινών % κατ' όγκο, $n=E_{\text{ίνας}}/E_{\text{μίσγμα}}$, v_c =λόγος Poisson

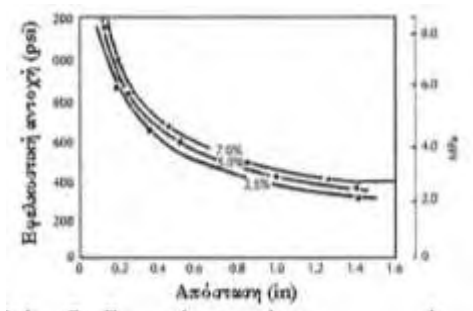
2.4.1.4 Ποσότητα και απόσταση ινών.

Περιεκτικότητα σε ίνες χάλυβα μεγαλύτερη από 25kg/m³ είναι απαραίτητη για τη βελτίωση των ιδιοτήτων του σκληρυμένου σκυροδέματος. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε περίπου 1% κατά βάρος, ή 0.33% κατ' όγκο. Αν και η αποτελεσματικότητα των ινών βελτιώνεται με την αύξηση της περιεκτικότητάς τους στο σκυρόδεμα, πέρα από ένα ανώτατο όριο περιεκτικότητας, η εργασιμότητα του μίγματος επηρεάζεται αρνητικά. Το τεχνικό όριο για την περιεκτικότητα των ινών, στις γενικές εφαρμογές, είναι μεταξύ 50 και 100 kg/m³, ανάλογα με τη μέθοδο προσθήκης των ινών και τον τύπο τους (Maidl, 1995). Υπάρχει ωστόσο και μια ειδική διαδικασία που επιτρέπει τη χρήση υψηλών ποσοστών ινών, και βασίζεται στην αργή ροή των ινών σε ένα καλούπι και στη μετέπειτα διείσδυση της τσιμεντόπαστας. Το δομικό υλικό που προκύπτει είναι γνωστό ως SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber CONcrete). Ανάλογα με τον τύπο της ίνας, όταν χρησιμοποιηθεί αυτή η διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί περιεκτικότητα ινών ακόμη και πάνω από 20% κατ' όγκο. Αυτό το υλικό προορίζεται για ειδικές χρήσεις, όπως στρατιωτικές εφαρμογές, και είναι ιδιαίτερα δαπανηρό λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε ίνες (Maidl, 1995).

Η απόσταση των ινών στο χώρο, (s, spacing) ορίζεται ως το μήκος μεταξύ του μέσου δυο ινών, όπως αυτό φαίνεται στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7. ΑΠΟΣΤΑΣΗ (SPACING) ΜΕΤΑΞΥ ΔΥΟ ΙΝΩΝ



Σχήμα 8. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΙΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (ROMUALDI, BATSON 1963).

Όσο μειώνεται η απόσταση, τόσο αυξάνει η αντοχή του σκυροδέματος. Το διάγραμμα στο Σχήμα 8 δείχνει τη σχέση μεταξύ απόστασης ινών και αντοχής σε εφελκυσμό, για διάφορες ποσοστιαίες προσθήκες ινών κατ' όγκο.

Σύμφωνα με τη Θεωρία του McKee:

$$s = \sqrt[3]{\frac{\pi \cdot d_f^2 \cdot l_f}{4 \cdot v_f}} \leq 0.45 \cdot l_f \Rightarrow v_f \geq \frac{8.6}{\left(\frac{l_f}{d_f}\right)^2}$$

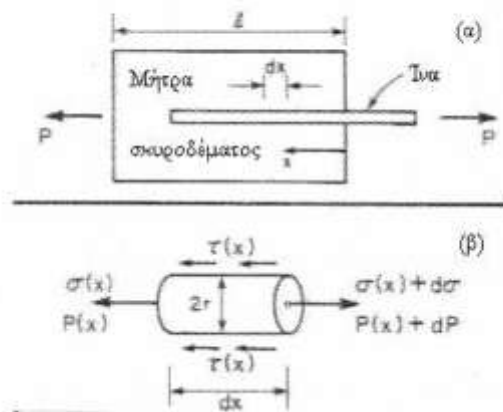
όπου

l_f και d_f το μήκος και η διάμετρος κάθε ίνας, και v_f η αναλογία τους στο σκυρόδεμα κατ' όγκο. Για παράδειγμα, αν $l_f=30\text{mm}$, $d_f=0.60 \rightarrow l_f/d_f=50 \rightarrow s < 13.5\text{mm}$, $v_f > 0.34\% \text{κ.ό.} \rightarrow w_f > 27\text{kg/m}^3$.

2.4.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Η αστοχία των ινών στο ινοπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να προέλθει από δύο (Σχήμα 9) βασικές διαφορετικές αιτίες:

- i) Αστοχία λόγω εξόλκευσης των ινών (α)
- ii) Αστοχία λόγω θραύσης των ινών (β)



Σχήμα 9. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΙΝΩΝ - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ, (BENTUR AND MINDNESS, 1990).

Η διαδικασία αστοχίας με εξόλκευση περιλαμβάνει τρεις φάσεις:

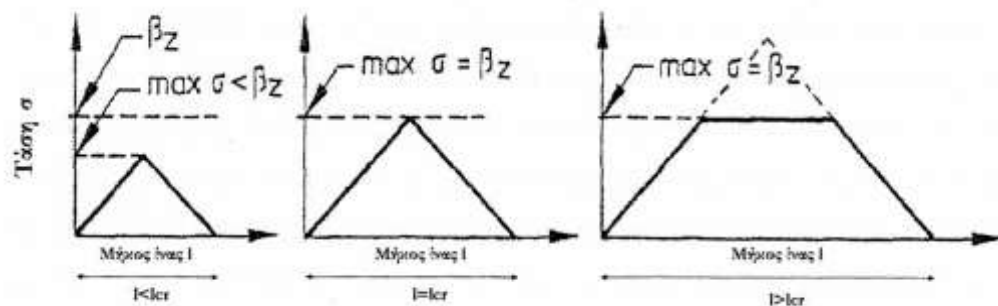
- i) Προοδευτική αποκόλληση των ινών με βραδεία επέκταση της ρωγμάτωσης.
- ii) Αποκόλληση των ινών και ταχεία επέκταση της ρωγμάτωσης
- iii) Ενεργοποίηση των ινών που δεν επιτρέπουν την ολίσθηση

Γενικά, ο τρόπος με τον οποίον εκδηλώνεται ο μηχανισμός αστοχίας εξαρτάται από τις εξής παραμέτρους:

- i) Λόγος μορφής
- ii) Αγκύρωση
- iii) Εφελκυστική αντοχή της ίνας
- iv) Πρόσφυση ίνας – σκυροδέματος

Οι πρώτοι τρεις παράγοντες εξαρτώνται εξολοκλήρου από τα χαρακτηριστικά της ίνας. Ο βαθμός πρόσφυσης εξαρτάται και από την ποιότητα της επιφάνειας της ίνας και από την αντοχή της σκυροδέματος. Κατά συνέπεια, οι ίδιες ίνες μπορούν να παρουσιάσουν απολύτως διαφορετικούς μηχανισμούς αστοχίας σε διαφορετικά σκυροδέματα (Maidl, 1995).

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ευθύγραμμες ίνες με μικρό μήκος, η αστοχία της αντοχής του ινοσκυροδέματος οφείλεται κυρίως στην εξόλκευση και όχι στη διαρροή των ινών. Αντί της αναμενόμενης αστοχίας ψαθυρής μορφής του κοινού σκυροδέματος, στο ινοπλισμένο σκυρόδεμα εμφανίζεται σταδιακή ενεργοποίηση των ινών, η οποία προσδίδει χαρακτηριστικά πλαστικής συμπεριφοράς. Επομένως, απαιτείται ο ορισμός του κρίσιμου μήκους ίνας. Αυτό το μήκος είναι τέτοιο ώστε ο μέγιστη τάση που μπορεί να εξασφαλίσει η υπάρχουσα πρόσφυση, στο μισό μήκος της ίνας, να αντιστοιχεί στην εφελκυστική αντοχή της ίνας. Ίνες με υπερκρίσιμα μήκη ($l > l_{cr}$) αστοχούν αρχικά σε θραύση. Αντίθετα, όταν οι ίνες έχουν υποκρίσιμα μήκη ($l < l_{cr}$) ολισθαίνουν στη μήτρα του σκυροδέματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 10 (Maidl, 1995).



Σχήμα

10. ΚΡΙΣΙΜΟ ΜΗΚΟΣ ΙΝΑΣ (MAIDL, 1995).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το κρίσιμο μήκος (l_{cr}) ίνας θα είναι:

$$l_{cr} = \frac{d \cdot \beta_z}{2 \cdot \tau_m}, \text{ (James, 1990)}$$

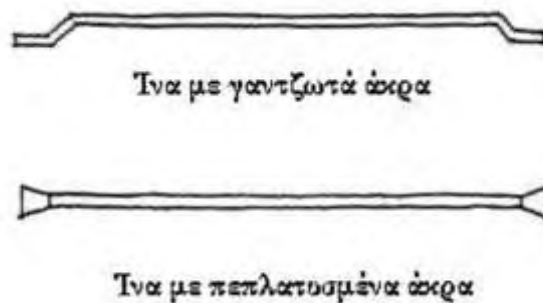
Όπου d : διάμετρος ίνας

β_z : εφελκυστική αντοχή ίνας

τ_m : μέση τάση πρόσφυσης

Ωστόσο, με την εφαρμογή της παραπάνω σχέσης προκύπτει ότι για να επιτευχθεί εύλογη τάση αγκύρωσης, απαιτούνται ίνες με πολύ υψηλό λόγο μορφής. Αυτές είναι δύσχρηστες και είναι δυνατόν να αντικατασταθούν από ίνες κυματοειδούς μορφής ή με άγκιστρα στα άκρα.

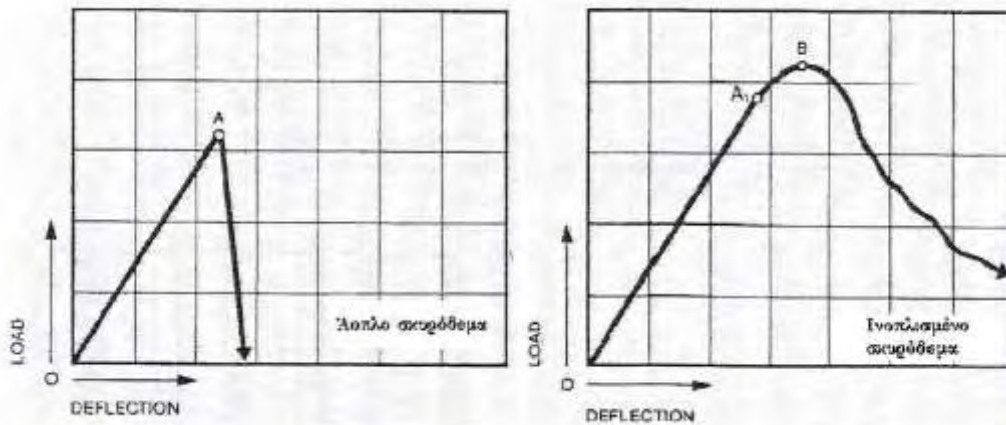
Οι τυποποιημένες ίνες χάλυβα με λόγο μορφής μεταξύ 50 και 100 έχουν γενικά υποκρίσιμο μήκος. Συνήθως η αστοχία οφείλεται σε εξόλκευση και όχι σε διαρροή του χάλυβα. Έτσι, οι ίνες δε χρησιμοποιούνται στο μέγιστό τους βαθμό, ως προς την αντοχή τους σε εφελκυσμό. Αιφνίδια αστοχία δεν παρατηρείται σε ινοπλισμένα σκυροδέματα, με κατάλληλες ίνες, και σε ποσοστά της τάξης του 0,7% κατ' όγκο. Αυτή η πλαστική συμπεριφορά δίνει τη δυνατότητα μείωσης των συντελεστών ασφαλείας (Maidl, 1995). Στις χαλύβδινες ίνες επικρατούν αυτές με τα άγκιστρα στα άκρα αλλά και αυτές με τα διευρυμένα ή πεπλατυσμένα άκρα (Σχήμα 11).



Σχήμα 11. ΚΥΡΙΑΡΧΑ ΠΡΟΦΙΛ ΙΝΩΝ.

Μία ίνα με άγκιστρα είναι γενικά σχεδιασμένη να αστοχεί σε εξόλκευση και όχι σε θραύση. Έχει ικανή αντοχή σε εξόλκευση, λόγω του σχεδιασμού της, ωστόσο το μειονέκτημά της είναι ότι μετά τη διαρροή έχει μικρή ικανότητα να περιορίζει το άνοιγμα της ρωγμής. Αντίθετα, οι ίνες με πεπλατυσμένα άκρα, σε μία αντίστοιχη φόρτιση, αναπτύσσουν αυξημένη τριβή με το σκυρόδεμα και ανθίστανται σαφώς καλύτερα στο άνοιγμα της ρωγμής. Το δικό τους όμως μειονέκτημα είναι ότι δεν έχουν τόσο μεγάλη αντοχή πριν την αστοχία, δηλαδή αστοχούν σε εξόλκευση σαφώς ευκολότερα σε σχέση με τις ίνες με τα γαντζωτά άκρα (Banthia, Armelin, 2001).

Για την καλύτερη όμως κατανόηση του μηχανισμού αστοχίας των ινών, πρέπει να μελετηθεί η συμπεριφορά του ινοπλισμένου σκυροδέματος σε κάμψη, συγκριτικά με το άοπλο σκυρόδεμα. Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας δοκιμής φαίνονται στο Σχήμα 12.



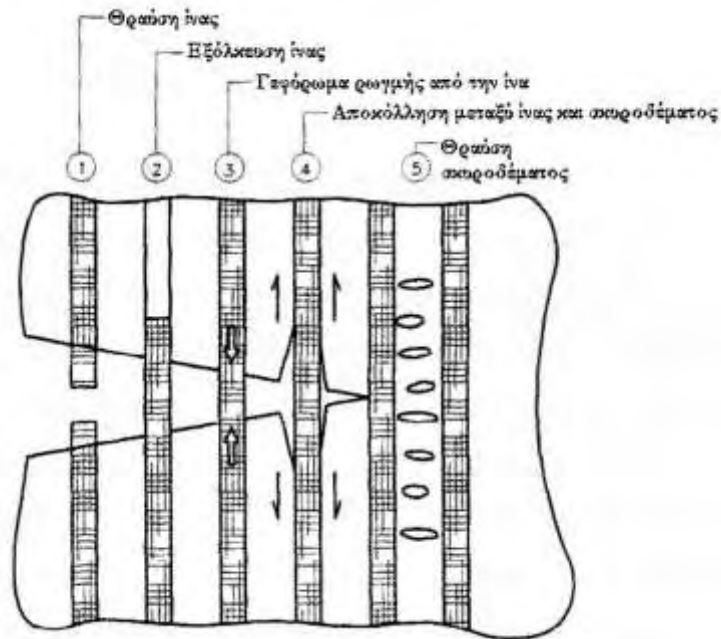
Σχήμα 12. ΦΟΡΤΙΣΗ - ΒΕΛΟΣ, ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (BHP TECHNICAL MANUAL, 1981).

Στο ινοπλισμένο σκυρόδεμα (δεξιά) υπάρχουν τα εξής σημεία που πρέπει να σημειωθούν:

- i) Το σημείο A1 είναι λίγο υψηλότερα σε σχέση με το αντίστοιχο σημείο A (όρια διαρροής). Έως το σημείο αυτό έχουμε το ελαστικό στάδιο, με πλήρη επαφή των ινών και περιβάλλοντος υλικού.
- ii) Μέχρι το σημείο B είναι η περιοχή που αρχίζουν να εκδηλώνονται οι μικρορωγμές, ενώ έχουμε τις πρώτες αποκολλήσεις ινών.
- iii) Στο σημείο B, εκεί που εκδηλώνεται δηλαδή η αστοχία, έχουμε το μέγιστο φορτίο ενώ είναι εμφανείς τώρα οι ρωγμές.
- iv) Πέρα από το σημείο B, έχουμε εξόλκευση ινών και οι ρωγμές σταδιακά επεκτείνονται. Μπορεί να ονομαστεί και στάδιο τριβής διότι η μετάδοση των τάσεων γίνεται με δυνάμεις τριβής (BHP technical manual, 1981).

Αν παρατηρήσουμε αντίστοιχα το άοπλο σκυρόδεμα (αριστερά), μέχρι το σημείο A υπάρχει παρόμοια συμπεριφορά. Ωστόσο, εκεί έχουμε αστοχία και μετέπειτα το υλικό δεν μπορεί να παραλάβει περαιτέρω φορτία.

Το Σχήμα 13 παρουσιάζει τρόπους με τους οποίους οι ίνες περιορίζουν το άνοιγμα των ρωγμών. Ξεκινώντας από τα αριστερά, στην πρώτη έχουμε θραύση της χαλύβδινης ίνας. Στη δεύτερη η αστοχία οφείλεται σε εξόλκευση της. Στην τρίτη έχουμε συγκράτηση της ρωγμής και η ίνα εφελκύεται. Στην τέταρτη έχουμε αστοχία καθότι σπάει ο δεσμός μεταξύ ίνας και του σκυροδέματος, ενώ στην πέμπτη έχουμε απλά θραύση του σκυροδέματος. Είναι σημαντικό να επισημανθεί εδώ ότι οι παραπάνω μηχανισμοί δεν επηρεάζονται από την απόσταση (5) μεταξύ των ινών. Αυτό που παίζει κυρίως ρόλο είναι το συνολικό μοντέλο λειτουργίας των ινών στο σκυρόδεμα (ΖοΠο, 1996).



Σχήμα 13. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΝΩΝ/ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (FRACTURES MECHANICS, ANDERSON 1991).

2.4.3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Είναι η εργασιμότητα του σκυροδέματος. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ποσότητα ινών μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους των αδρανών του μίγματος και του λόγου μορφής, για μέγιστο κόκκο αδρανών 8 και 16 mm και λόγο μορφής 60, η επιτρεπόμενη ποσότητα ινών για αντλούμενο σκυρόδεμα είναι 95 και 65 kg/m³ αντίστοιχα.

2.4.4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΚΛΗΡΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

Οι ίνες του χάλυβα αυξάνουν σημαντικά την ολκιμότητα και την ικανότητα παραμόρφωσης του σκυροδέματος και κατ' επέκταση την πλαστιμότητα του. Η ύπαρξη των ινών βελτιώνει την κατανομή των ρωγμών. Η θλιπτική αντοχή στις πρώτες ώρες της σκλήρυνσης είναι σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή του άοπλου σκυροδέματος και η παραμένουσα καμπτική εφελκυστική αντοχή εξακολουθεί να υφίσταται και μετά την επίτευξη της μέγιστης τιμής. Η δυσθραυστότητα σε καμπτικό εφελκυσμό είναι η μεγάλη συνεισφορά των ινών.

Κεφάλαιο 3: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα με ίνες χάλυβα.

3.1 Αντοχή σε διαξονική θλίψη-Μελέτη των Traina και (1990,1991).

3.1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.

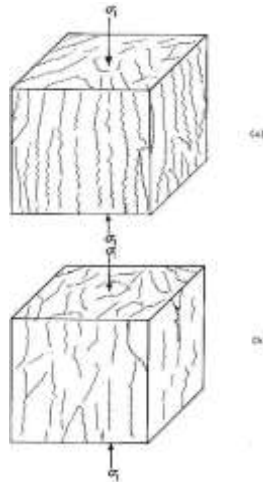
Η μελέτη αυτή, που διεξήχθη το 1991, έχει ως στόχο την πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς του ινοπλισμένου σκυροδέματος υπό συνθήκες διαξονικής θλίψης. Οι περιβάλλουσες αστοχίας που προέκυψαν από την έρευνα αυτή, όπως και αυτές των Yin et al. (1989), χρησιμοποιήθηκαν και εκ των υστέρων ως υπόβαθρο για σύγκριση με αναλυτικά προσομοιώματα που αναπτύχθηκαν. Μέχρι την εποχή εκείνη, ο σχεδιασμός φορέων από ινοπλισμένο σκυρόδεμα γινόταν με χρήση δεδομένων που βασίζονταν μόνο στην μονοαξονική αντοχή του ινοπλισμένου σκυροδέματος. Οι Traina και Mansour (1991) επισήμαναν την αναγκαιότητα μελέτης της διαξονικής συμπεριφοράς του υλικού, καθώς η μονοαξονική κατάσταση συναντάται πολύ σπάνια στις εφαρμογές του μηχανικού.

Για την εκτέλεση των πειραμάτων κατασκευάστηκαν κυβικά δοκίμια ($76 \times 76 \times 76$ mm) από άοπλο και ινοπλισμένο σκυρόδεμα. Στα οπλισμένα δοκίμια έγινε χρήση δύο κατηγοριών ίνας, σε διάφορες περιεκτικότητες. Οι ίνες της πρώτης κατηγορίας (τύπος I) είχαν λόγο μήκους προς διάμετρο $l/d = 60$ με μήκος 30 mm και κυκλική διατομή διαμέτρου 0,5 mm. Μέσω του σχήματος τους, εξασφαλιζόνταν αγκύρωση στα άκρα και η εφελκυστική τους αντοχή ήταν 1.172 MPa. Η δεύτερη κατηγορία (τύπος II) περιλάμβανε ίνες με λόγο $l/d = 33$. Οι ίνες, αυτές, ήταν μήκους 25,4 mm, ημικυκλικής διατομής, με ισοδύναμη διάμετρο $d_e = 0,77$ mm και είχαν πτυχώσεις καθ' όλο το μήκος τους. Η εφελκυστική τους αντοχή ήταν 966 MPa. Οι περιεκτικότητες και των δύο τύπων ινών στα δοκίμια που δοκιμάστηκαν ήταν 0,5, 1 και 1,5% κατ' όγκο. Σε όλα τα δοκίμια εφαρμόστηκαν τρεις συνδυασμοί τάσεων, των οποίων οι λόγοι σ_1/σ_2 ήταν 0, 0,5 και 1.

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε περιλάμβανε μια διάταξη φόρτισης, ειδικά σχεδιασμένη για τριαξονικές δοκιμές. Για την εξάλειψη της τριβής επαφής δοκιμίου-πλάκας φόρτισης, χρησιμοποιήθηκαν δύο στρώματα από φύλλα πολυαιθυλενίου ανάμεσα στα οποία παρεμβαλλόταν μια λεπτή στρώση λιπαντικής ουσίας πάχους 0,1 mm. Αντίστοιχες στρώσεις είχαν χρησιμοποιηθεί και σε παλαιότερες δοκιμές άοπλου σκυροδέματος (Mills, 1967, Mills et al., 1970).

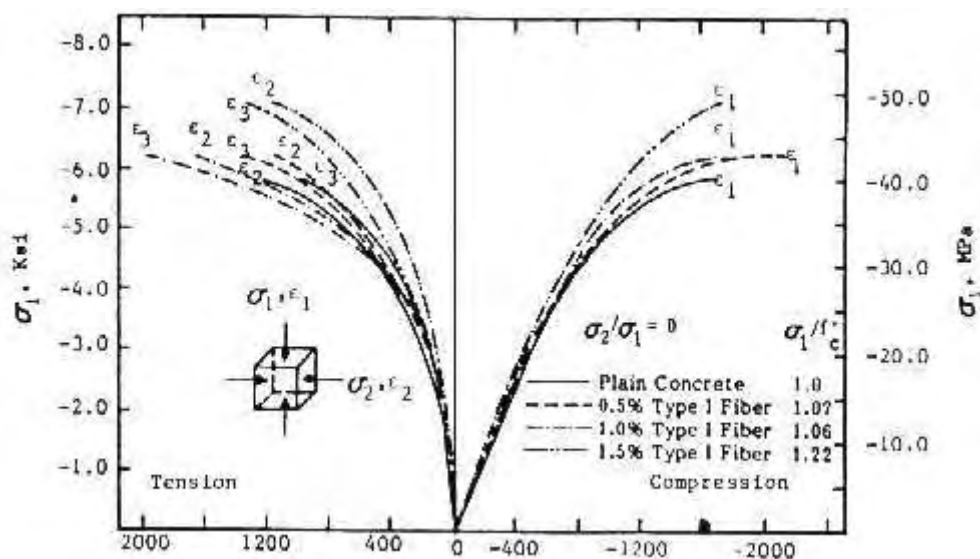
3.1.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.

Μετά την εκτέλεση των πειραμάτων, όσον αφορά στην μονοαξονική θλίψη, παρατηρήθηκε ότι οι ρωγμές που διαμορφώθηκαν για τα δοκίμια άοπλου σκυροδέματος ήταν παράλληλες στο εξασκούμενο φορτίο. Τα ινοπλισμένα δοκίμια παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά.

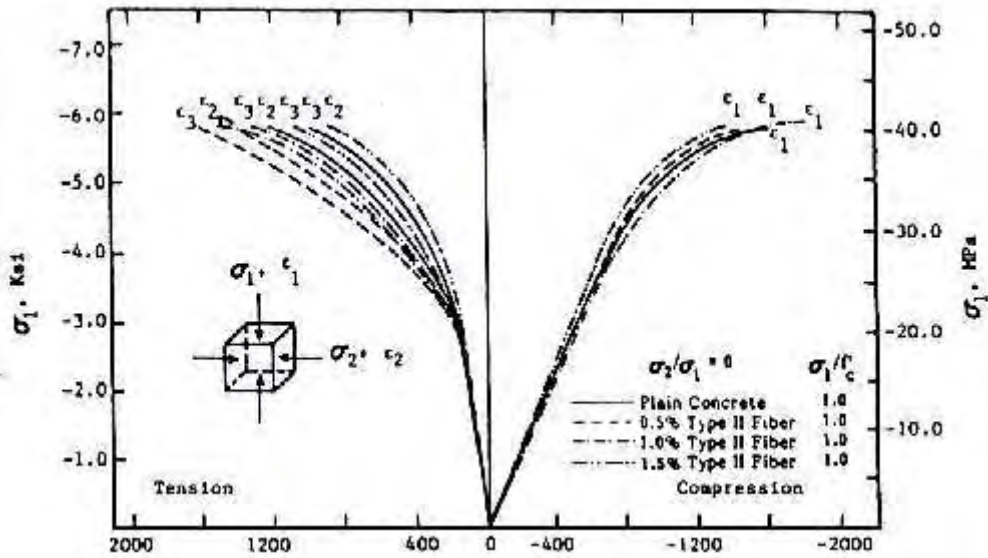


Σχήμα 14. ΜΟΡΦΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΥΠΟ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ: Α) ΑΟΠΛΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, Β) ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (VF = 1%).

Τα δοκίμια με ίνες τύπου Ι απέδωσαν καλύτερη συμπεριφορά απ' ό,τι αυτά με ίνες τύπου ΙΙ, αφού παρατηρήθηκε μια αύξηση της θλιπτικής αντοχής και της δυσκαμψίας τους. Αυτό αποδόθηκε στα καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά των ινών τύπου Ι, που οδήγησαν σε μεγαλύτερη ενεργή περισφιγξη του σκυροδέματος. Οι μορφές αστοχίας των ινοπλισμένων και άοπλων δοκιμίων υπό μονοαξονική θλίψη παρουσιάζονται στο Σχήμα 14. Παρατίθενται, επίσης, οι καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων των δοκιμίων υπό μονοαξονική θλίψη (Σχήματα 15, 16). Από τις καμπύλες, προκύπτει ότι υπήρξε μια αύξηση της αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας για τα δοκίμια που περιείχαν ίνες τύπου Ι, κάτι που δεν φαίνεται να συμβαίνει και στα δοκίμια με ίνες τύπου ΙΙ. Η διαφορά στην συμπεριφορά αποδίδεται και πάλι, στα καλύτερα χαρακτηριστικά των ινών τύπου Ι (μέγεθος, σχήμα, λόγος l/d). Η ευνοϊκή συμπεριφορά των ινών τύπου Ι γίνεται φανερή και από τις καμπύλες ογκομετρικής παραμόρφωσης (Σχήματα 17, 18). Τα αντίστοιχα δοκίμια με 1,5% περιεκτικότητα παρουσίασαν μικρότερη τιμή του ελαχίστου όγκου και σε μεγαλύτερο επίπεδο έντασης σε σχέση με το άοπλο σκυρόδεμα, γεγονός που εξηγεί και την αύξηση της αντοχής. Οι ίνες τύπου ΙΙ δεν έδειξαν παρόμοια συμπεριφορά και οι αντίστοιχες καμπύλες της ογκομετρικής παραμόρφωσης παρέμεναν πιο χαμηλά από αυτές του άοπλου σκυροδέματος (Σχήμα 18).

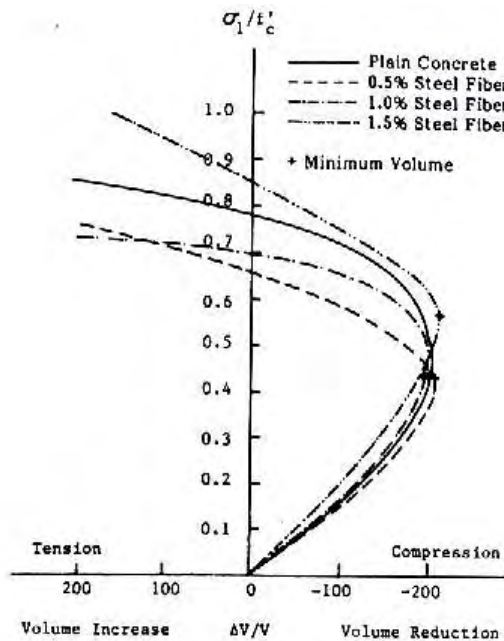


Σχήμα 15. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ Ι) ΥΠΟ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.

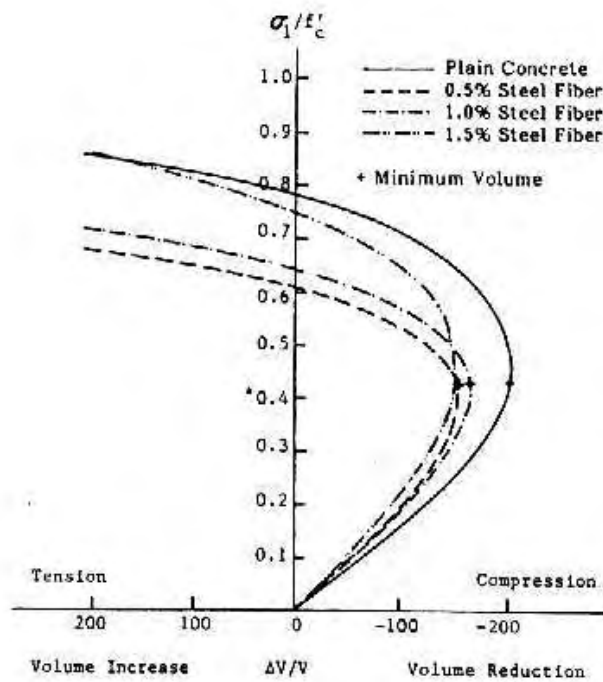


Σχήμα 16. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ ΙΙ) ΥΠΟ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.

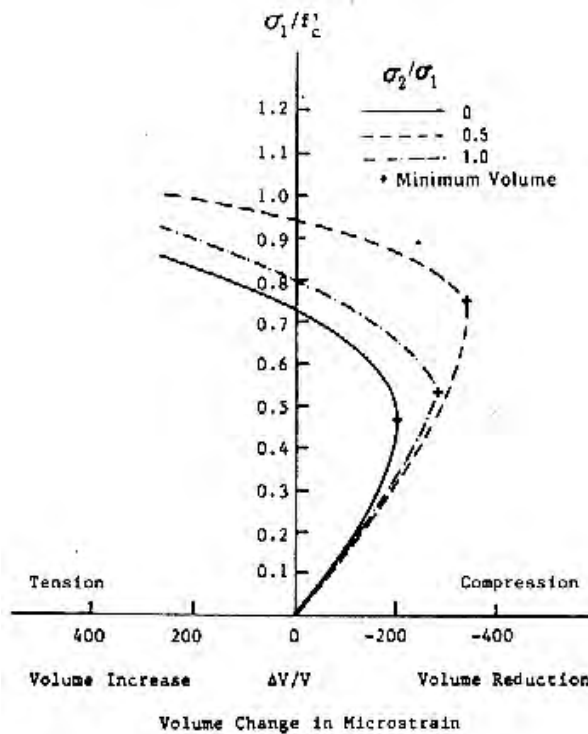
Κάνοντας σύγκριση με την καμπύλη ογκομετρικής παραμόρφωσης του άοπλου σκυροδέματος σε διαξονική δοκιμή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 19, προκύπτει ότι η μεγαλύτερη αύξηση της διαξονικής αντοχής (15%) προέκυψε σε αναλογία τάσεων 0,5, την στιγμή που ο όγκος έπαιρνε την ελάχιστη τιμή του. Στην συγκεκριμένη αναλογία τάσεων ο όγκος ελαχιστοποιήθηκε σε μεγαλύτερο επίπεδο έντασης, σε σύγκριση με τις άλλες δύο αναλογίες. Αυτή η παρατήρηση μπορεί να εξηγήσει την υψηλότερη μονοαξονική αντοχή και δυσκαμψία που προσέδωσαν οι ίνες τύπου Ι στο σκυρόδεμα.



Σχήμα 17. ΚΑΜΠΥΛΗ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ-ΚΥΡΙΑΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ Ι) ΥΠΟ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.

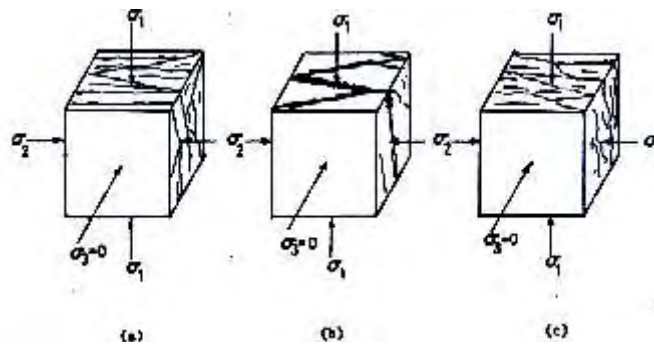


Σχήμα 18. ΚΑΜΠΥΛΗ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ-ΚΥΡΙΑΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΛΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ ΙΙ) ΥΠΟ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.



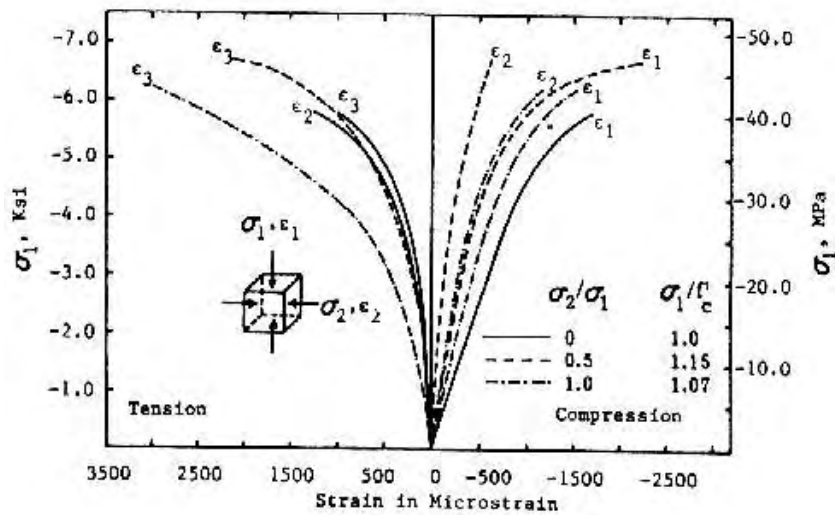
Σχήμα 19. ΚΑΜΠΥΛΗ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ-ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΛΟΠΛΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΠΟ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.

Οι μορφές αστοχίας των δοκιμίων που δοκιμάστηκαν υπό διαξονική ένταση, προέκυψαν αρκετά διαφορετικές από τις αντίστοιχες των μονοαξονικών που αποτελούνταν από ρωγμές με αντίστοιχη μορφή με αυτές που συναντώνται στα υποστυλώματα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 20, οι ρωγμές που αναπτύχθηκαν διαμορφώθηκαν σε κεκλιμένα διατμητικά επίπεδα. Οι γωνίες των επιπέδων αυτών ποικίλουν από 15-40 μοίρες σε σχέση με το επίπεδο σ1-σ3, ανάλογα με το είδος και την περιεκτικότητα του δοκιμίου σε ίνες. Είναι φανερό, όπως και στην έρευνα των Yin et al. (1989), ότι η περίσφιγξη που δημιουργούν οι ίνες, άλλαξε τον τρόπο αστοχίας του δοκιμίου και απέτρεψε την εφελκυστική αστοχία.

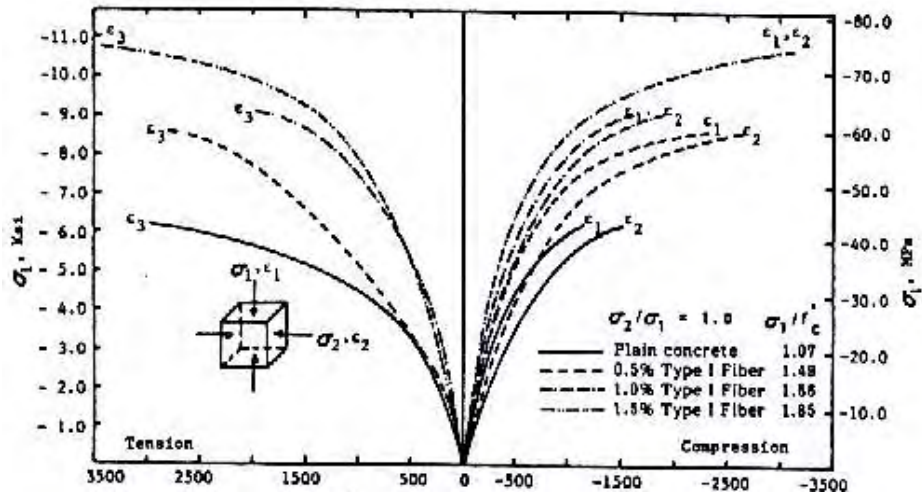


Σχήμα 20. ΜΟΡΦΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΥΠΟ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ($\sigma_2/\sigma_1 = 1$): Α) ΑΟΠΛΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, Β) ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ Ι, $V_f = 1\%$), Γ) ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ ΙΙ, $V_f = 1\%$).

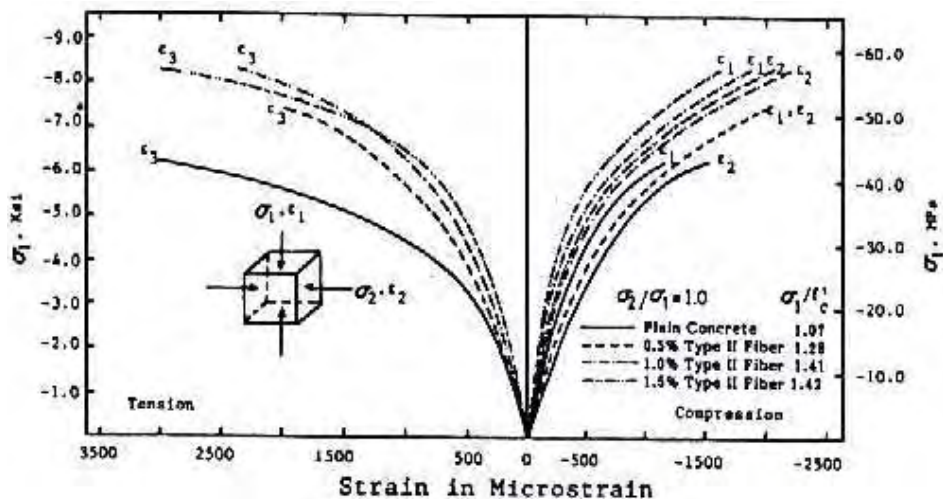
Στα Σχήματα 21, 22, 23 παρουσιάζονται οι καμπύλες τάσεων- παραμορφώσεων που προέκυψαν από τις διαξονικές δοκιμές. Τόσο στο άοπλο, όσο και στο ινοπλισμένο σκυρόδεμα, είναι φανερό ότι η εφαρμογή μιας πλευρικής τάσης σ_2 προκαλεί αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας. Για αναλογία τάσεων 0,5 και περιεκτικότητα ινών 1,5%, τα δοκίμια με ίνες τύπου Ι παρουσίασαν αύξηση αντοχής της τάξης του 85% της μονοαξονικής αντοχής του άοπλου σκυροδέματος. Η αντίστοιχη αύξηση των δοκιμών με ίνες τύπου ΙΙ ήταν περίπου 45% (Σχήματα 20, 23).



Σχήμα 21. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΑΟΠΛΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΥΠΟ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.

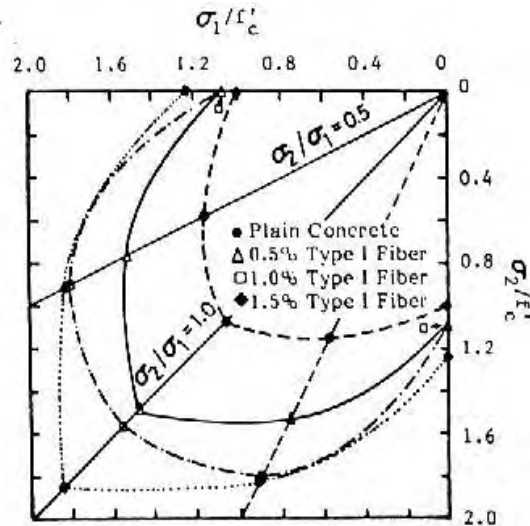


Σχήμα 22. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΛΟΙΠΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ Ι) ΥΠΟ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.

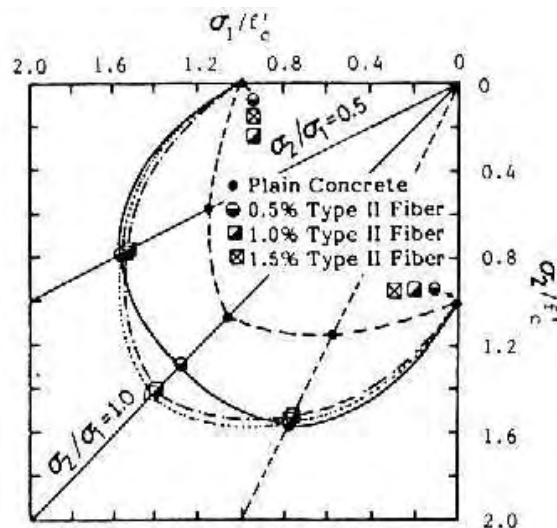


Σχήμα 23. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΑΣΕΩΝ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΛΟΙΠΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ ΙΙ) ΥΠΟ ΔΙΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.

Παρατίθενται, στην συνέχεια, οι περιβάλλουσες αστοχίας για τους δύο τύπους ινών στα Σχήματα 24, 25. Οι διαξονικές αντοχές προκύπτουν μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες μονοαξονικές για όλες τις αναλογίες φόρτισης και για τους δύο τύπους ινών. Οι διαφορές μεταξύ του τύπου Ι και του τύπου ΙΙ έγιναν για ακόμα μια φορά φανερές. Οι ίνες τύπου Ι έδωσαν σημαντικά μεγαλύτερες διαξονικές αντοχές.

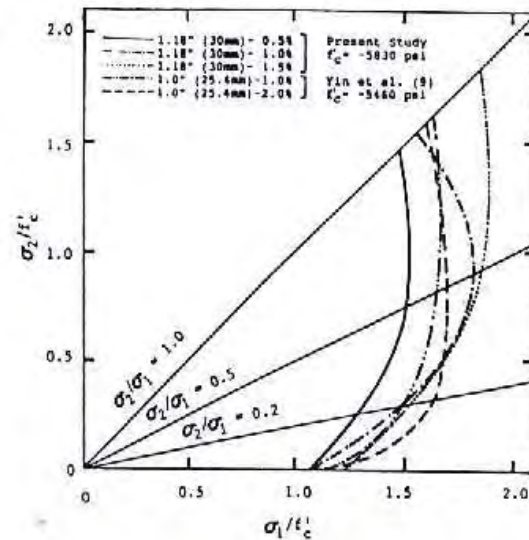


Σχήμα 24. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΓΥ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ Ι).



Σχήμα 25. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΓΥ ΑΟΠΛΟ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΙΝΕΣ ΤΥΠΟΥ ΙΙ).

Παρατίθενται, επίσης, οι περιβάλλουσες αστοχίας για ίνες τύπου Ι σε σύγκριση με αυτές των Yin et al. (1989). Ο τύπος Ι επιλέχτηκε λόγω του λόγου l/d , που είναι ίδιος με αυτόν των ινών που χρησιμοποίησαν και οι Yin et al. (Σχήμα 26). Παρά τις διαφορές που φαίνεται να υπάρχουν στα δύο διαγράμματα (οι διαφορές αυτές αποδόθηκαν από τους Traina και Mansour, στην διαφορετική πειραματική διάταξη, και στον διαφορετικό τύπο ίνας και στην περιεκτικότητα), υπάρχει γενικά μια παρόμοια συμπεριφορά και στις δύο ομάδες πειραμάτων.



Σχήμα 26. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ YIN ET AL. (1989).

Συμπερασματικά, φαίνεται να επιβεβαιώνεται η παρατήρηση ότι η προσθήκη ινών αυξάνει σημαντικά την διαξονική αντοχή του σκυροδέματος, η αύξηση δε αυτή, εξαρτάται από τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ινών και την περιεκτικότητά τους. Για χρήση ινών τύπου I, η αύξηση αυτή έφτασε το 88% της αντοχής του άοπλου σκυροδέματος. Σε αντίθεση με την έρευνα των Yin et al. (1989), στην παρούσα έρευνα φάνηκε ευνοϊκή επιρροή των ινών και στην μονοαξονική αντοχή, παρόλο που η επίδραση τους δεν ήταν ξεκάθαρη. Η αποτελεσματικότητα των ινών στο να παρέχουν μια πρόσθετη περίσφιγξη, οδηγεί σ' αυτή την αύξηση της μονοαξονικής αντοχής. Η αύξηση αυτή, ενδεικτικά, έφτασε και μέχρι το 22% για τύπο ίνας I ($l/d = 60, 30 \text{ mm} \times 0,5 \text{ mm}$) σε περιεκτικότητα 1,5%. Ο τύπος της αστοχίας των δοκιμίων μεταβλήθηκε από πλήρως εφελκυστικό σε πιο διατμητικό. Οι παρατηρήσεις αυτές, γενικά, επιβεβαιώνουν και τις παρατηρήσεις των Yin et al. (1989) που αναλύθηκαν και παραπάνω και ενισχύουν τις απόψεις για την βελτίωση που προσδίδουν οι μεταλλικές ίνες στην συμπεριφορά του σκυροδέματος.

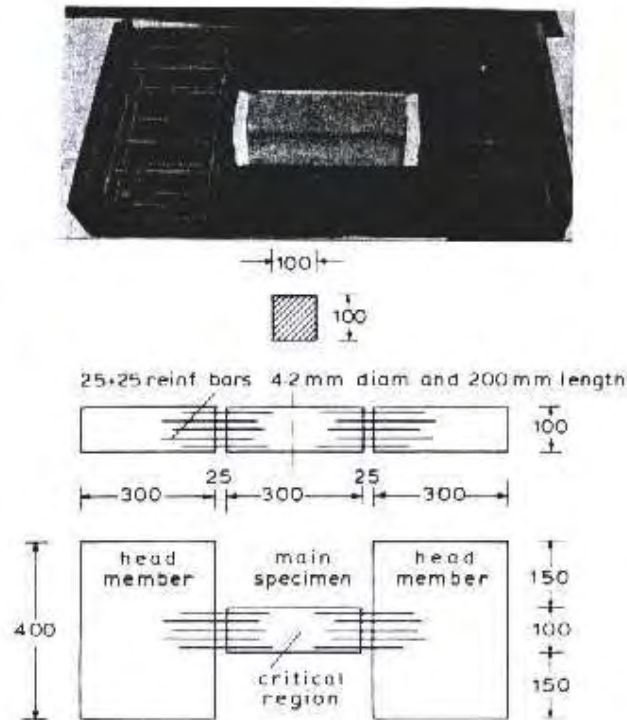
3.2. Αντοχή σε συνδυασμό εφελκυσμού-θλίψης-Μελέτη των Demeke και Tegos (1994).

3.2.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.

Ο στόχος της έρευνας αυτής, που δημοσιεύτηκε το 1994, είναι η πειραματική διερεύνηση της διαξονικής συμπεριφοράς του ινοπλισμένου σκυροδέματος υπό καταστάσεις συνδυασμένου εφελκυσμού-θλίψης. Η έρευνα αυτή δίνει χρήσιμα αποτελέσματα για την περιοχή της διαξονικής ετερόσημης έντασης, όπου τα δεδομένα που υπάρχουν στη βιβλιογραφία εξακολουθούν να είναι ιδιαίτερος περιορισμένα, καθώς οι πειραματικές διατάξεις που απαιτούνται για τέτοιου είδους δοκιμές είναι αρκετά πολύπλοκες. Οι Demeke και Tegos (1994) επισήμαναν την σημασία της μελέτης του ινοπλισμένου σκυροδέματος υπό όλους τους συνδυασμούς των διαξονικών εντάσεων, διότι η ολοκληρωμένη γνώση της συμπεριφοράς αυτής θα οδηγήσει στην καλύτερη κατανόηση του τρόπου αστοχίας του υλικού.

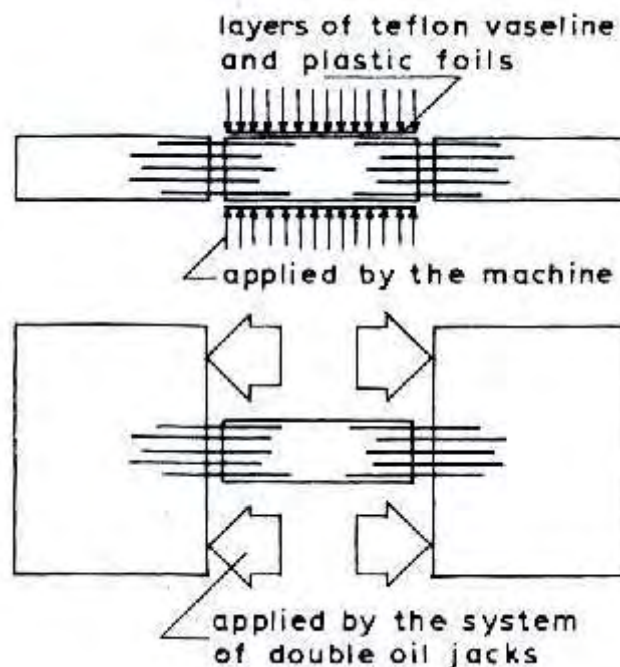
Για τις ανάγκες των πειραμάτων, αυτών, κατασκευάστηκαν 160 δοκίμια άοπλου και ινοπλισμένου σκυροδέματος. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν ήταν η ποσότητα κατ' όγκο των ινών και ο λόγος των εφελκυστικών θλιπτικών τάσεων. Για όλες τις παρτίδες χρησιμοποιήθηκε η ίδια ποιότητα σκυροδέματος αντοχής 30 MPa και ο ίδιος τύπος ινών (χαλύβδινες ίνες με αγκύρωση στα άκρα, $l = 30 \text{ mm}$ $d = 0,5 \text{ mm}$). Τα κύρια δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μορφής ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου με διατομή διαστάσεων $100 \times 100 \text{ mm}^2$ και μήκος 300 mm.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 27, τα δοκίμια συνδέθηκαν εκατέρωθεν, μέσω χαλύβδινων ράβδων οπλισμού, με δύο πρισματικά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Τα στοιχεία αυτά λειτούργησαν μόνο ως θέσεις αντίδρασης των εμβόλων που ασκούσαν την εφελκυστική δύναμη. Οι ράβδοι οπλισμού αγκυρώθηκαν σε διάφορα μήκη μέσα στην μάζα του δοκιμίου, αφήνοντας ελεύθερη μια περιοχή γύρω στα 60 mm, στο κέντρο του δοκιμίου. Σημειώνεται, ότι η θραύση των δοκιμίων επήλθε μέσα στην, ανεπηρέαστη από τις χαλύβδινες ράβδους, ζώνη μόνο υπό την επίδραση των εντατικών καταστάσεων που εφαρμόστηκαν.



Σχήμα 27. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.

Για την εφαρμογή των εντάσεων, έγινε χρήση μιας απλής θλιπτικής μηχανής και ενός συστήματος εμβόλων. Η εφελκυστική ένταση, όπως ήδη αναφέρθηκε, εξασκούταν μέσω των γρύλλων στα δύο πρίσματα από σκυρόδεμα, τα οποία μέσω των ράβδων οπλισμού μετέφεραν το φορτίο στο δοκίμιο (Σχήμα 28). Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της τριβής, χρησιμοποιήθηκαν δύο διαδοχικές στρώσεις από Τεφλόν πάχους 0,26 mm, μία στρώση από ρευστό υλικό με βάση το πετρέλαιο και τρία λεπτά φύλλα από πλαστικό υλικό. Προκαταρκτικές δοκιμές επιβεβαίωσαν την αποτελεσματικότητα των στρώσεων αυτών.



Σχήμα 28. ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.

3.2.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.

Οι Demeke και Tegos (1994), παράλληλα με την πειραματική προσέγγιση του θέματος, επιχείρησαν να μελετήσουν και θεωρητικά το ζήτημα της εφελκυστικής αντοχής του ινοπλισμένου σκυροδέματος με την ταυτόχρονη παρουσία θλιπτικής έντασης. Από παλαιότερες έρευνες είχε φανεί ότι η βελτίωση στην συμπεριφορά του σκυροδέματος από την προσθήκη μεταλλικών ινών, μπορεί να συσχετιστεί άμεσα με την περιεκτικότητα, κατ' όγκο, σε ίνες V_f , με τον λόγο των διαστάσεων των ινών l/d και με έναν αδιάστατο συντελεστή συνάφειας, που αναφέρεται στα διαφορετικά χαρακτηριστικά εξώλκευσης των διαφόρων τύπων ίνας (Tegos, 1989).

Με την υπόθεση ότι οι ίνες και το σκυρόδεμα υφίστανται ίσες ελαστικές παραμορφώσεις, η εφελκυστική αντοχή του ινοπλισμένου σκυροδέματος, με ίνες μικρού μήκους, τυχαία προσανατολισμένες μέσα στην μάζα του υλικού, μπορεί να εκφραστεί σύμφωνα με τον αθροιστικό νόμο ως εξής:

$$f_{tf} = (1-V_f) f_{tp} + V_f \sigma_f \quad (1)$$

όπου f_{tf} και f_{tp} , είναι οι εφελκυστικές αντοχές του ινοπλισμένου σκυροδέματος

(αντοχή του σύμμεικτου υλικού) και του άοπλου σκυροδέματος, αντίστοιχα σ_f , είναι η εφελκυστική τάση των ινών και V_f και V_{fe} είναι ο ολικός όγκος και ο ενεργός όγκος των ινών στην διεύθυνση της έντασης, αντίστοιχα.

Ο ενεργός όγκος V_{fe} μπορεί να εκφραστεί ως τμήμα του ολικού όγκου V_f :

$$V_{fe} = \alpha V_f \quad (2)$$

Το επόμενο βήμα, είναι να εισαχθεί μια σχέση που να συνδέει τη μέση εφελκυστική τάση στην ίνα με την μέση τάση συνάφειας τ . Σύμφωνα με τον τύπο που εισήγαγαν οι Swamy και Mangat, για ευθύγραμμες ίνες και με παραδοχή γραμμικής κατανομής τάσεων συνάφειας, η μέγιστη τιμή της τάσης συνάφειας είναι διπλάσια της μέσης τάσης συνάφειας, η δε μέση εφελκυστική τάση στην ίνα, σχετίζεται με την μέση τάση συνάφειας ως εξής:

$$\sigma_f = 2\tau l/d \quad (3)$$

όπου, l/d είναι ο λόγος διαστάσεων των ινών. Στην περίπτωση ινών με αγκύρωση στα άκρα η εξίσωση (3) μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\sigma_f = \beta\tau l/d, \beta > 2 \quad (4)$$

Ομοίως, η οριακή τάση συνάφειας f_b μπορεί να θεωρηθεί ως συνάρτηση της τάξης του σκυροδέματος, εκφρασμένης από την εφελκυστική αντοχή του f_{tp} , και της περίσφιγξης, η οποία εξαρτάται από την τιμή της κύριας θλιπτικής τάσης που εφαρμόζεται στο δοκίμιο. Έτσι είναι:

$$f_b = \tau_u = \gamma_o \delta \sqrt{f_c} = \gamma \delta f_{tp} \quad (5)$$

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω εκφράσεις των V_{fe} και σ_f στην εξίσωση (1) προκύπτει η εφελκυστική αντοχή του σύμμεικτου υλικού που περιέχει τυχαία προσανατολισμένες χαλύβδινες ίνες:

$$f_{tf} = (1-V_f) f_{tp} + \alpha\beta\gamma\delta f_{tp} V_f l/d \quad (6)$$

όπου, α , β , γ και δ είναι σταθερές που σχετίζονται με τον ενεργό όγκο των ινών, την γεωμετρία των ινών, την κατηγορία του σκυροδέματος και την αναλογία των κυρίων τάσεων, αντίστοιχα. Κατά συνέπεια, η τελική έκφραση της οριακής εφελκυστικής αντοχής του σύμμεικτου υλικού είναι:

$$f_{tf} = (1-V_f)f_{tp} + Af_{tp} V_f l/d \approx f_{tp} + Af_{tp} V_f l/d \quad (7)$$

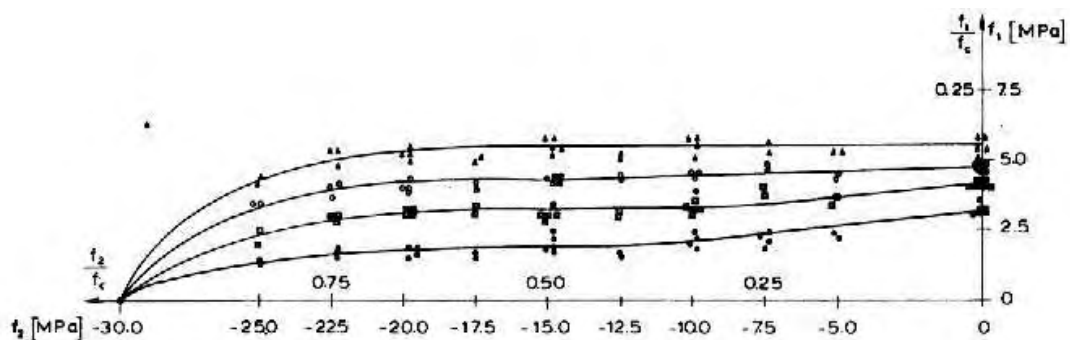
όπου,

$$A = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta \quad (8)$$

Η εγκυρότητα της εξίσωσης (6) χρειάζεται επαλήθευση και θα τεκμηριωθεί με την χρήση των πειραματικών αποτελεσμάτων.

3.2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.

Οι περιβάλλουσες αστοχίες για το άοπλο και το ινοπλισμένο σκυρόδεμα, με τις διάφορες περιεκτικότητες ινών, που προέκυψαν, παρουσιάζονται στο Σχήμα 29.

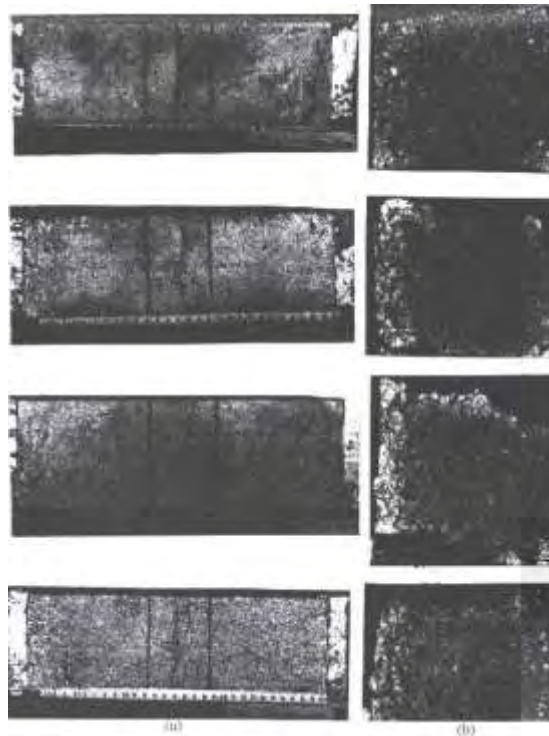


Σχήμα 29. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΟΠΛΟΥ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΣΕ ΙΝΕΣ ($V_f = 0,5, 1, 1,5\%$).

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η οριακή αντοχή υπό συνδυασμό εφελκυσμού- θλίψης είναι, γενικά, μικρότερη της μονοαξονικής εφελκυστικής αντοχής. Το ποσοστό της μείωσης αυτής εξαρτάται από την αναλογία των τάσεων που εφαρμόζονται. Για το άοπλο σκυρόδεμα, μια σημαντική μείωση παρατηρήθηκε κοντά στην περιοχή $f_2/f_c = 0,50$, ενώ όσο η αναλογία αυτή αυξάνει στο διάγραμμα, η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος κυμαίνεται γύρω στο 50% της μονοαξονικής εφελκυστικής αντοχής. Η προσθήκη των ινών προκαλεί αύξηση τόσο της μονοαξονικής, όσο και της διαξονικής εφελκυστικής αντοχής. Η αύξηση, αυτή, εξαρτάται από την ποσότητα των ινών. Για μεγάλα ποσοστά όγκου ινών, η διαξονική αντοχή γίνεται περίπου ίση με την μονοαξονική για σχεδόν όλη την περιοχή. Ενδεικτικά, για ποσοστό ινών 1,5% και κοντά στην περιοχή όπου $f_2 = 0,5f_c$, η αντοχή αυξήθηκε περίπου τρεις φορές. Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων της παρούσας έρευνας, επιβεβαιώνεται και πάλι η παρατήρηση της μελέτης των Yin *et al.* (1989), που αναλύθηκε προηγουμένως, ότι η προσθήκη μεταλλικών ινών, δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την μονοαξονική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος.

Οι μορφές των ρηγματώσεων που παρατηρήθηκαν, παρουσιάζονται στο Σχήμα 30. Για τα ινοπλισμένα δοκίμια η αστοχία επήλθε με μηχανισμό εξώλκευσης των ινών και το εύρος της

περιοχής θραύσης ποικίλει ανάλογα με την περιεκτικότητα σε ίνες. Τα άοπλα δοκίμια αστόχησαν ξαφνικά και διαχωρίστηκαν σε δύο κομμάτια με το που εμφανίστηκε μια μεγάλη εφελκυστική ρωγμή. Τα δοκίμια αστόχησαν όλα, στην επιθυμητή ζώνη, στο κέντρο του δοκιμίου, όπου το πεδίο εντάσεων που αναπτυσσόταν από την αγκύρωση των ράβδων οπλισμού ήταν ανενεργό.



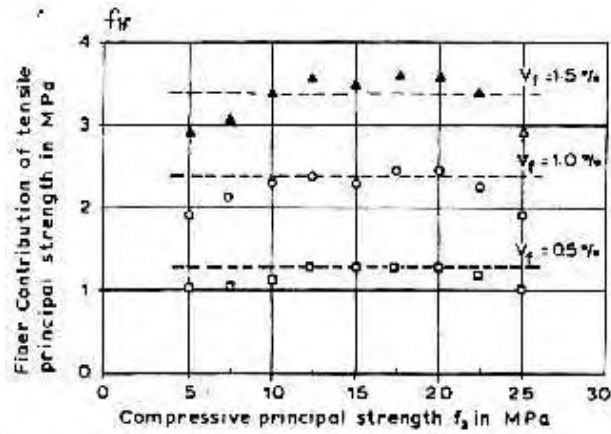
Σχήμα 30. Α) ΤΥΠΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΡΩΓΜΩΝ Β) ΤΥΠΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.

Η οριακή διαξονική εφελκυστική αντοχή f_1 του κάθε δοκιμίου μπορεί να εκφραστεί, σύμφωνα με αυτά που προέκυψαν παραπάνω, ως εξής:

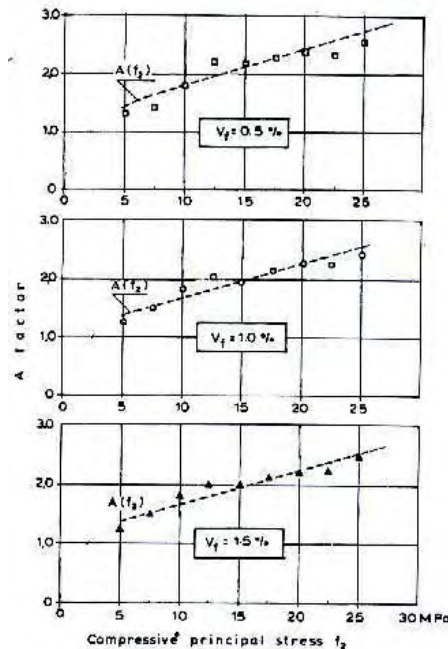
$$f_1 = f_{1f} + f_{1p} = f_{1p} + AV_f / df_{1p} \quad (9)$$

όπου, f_{1f} είναι η αντοχή με την οποία συμβάλλουν οι ίνες και f_{1p} , είναι η αντίστοιχη αντοχή του άοπλου σκυροδέματος. Τα αποτελέσματα, όπως ειπώθηκε, δείχνουν ότι η αύξηση στην f_{1f} είναι ευθέως ανάλογη με την ποσότητα των ινών και τα αποτελέσματα είναι σε συμφωνία με αυτά που προκύπτουν από την εξίσωση (9).

Στην εν λόγω μελέτη, η γεωμετρία και ο λόγος των διαστάσεων των ινών, όπως επίσης και η κατηγορία του σκυροδέματος, έχουν διατηρηθεί σταθερά. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι παράμετροι που επηρεάζουν την διαξονική αντοχή είναι η συμβολή του σκυροδέματος f_{1p} και η εφαρμοζόμενη περίσφιγξη. Και οι δύο παράμετροι εξαρτώνται από την κάθετη κύρια θλιπτική τάση f_2 . Όπως φαίνεται στο Σχήμα 31, όπου παρουσιάζεται η συμβολή των ινών f_{1f} σε σχέση με την κύρια θλιπτική τάση f_2 για τις διάφορες περιεκτικότητες V_f . Η συμβολή αυτή φαίνεται να είναι σταθερή, χωρίς καμία επιρροή από την τάση f_2 . Η εξομάλυνση των καμπυλών $f_1(f_2)$ που αντιστοιχούν στις διάφορες τιμές του V_f , όπως φαίνεται και στο Σχήμα 28, μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι οι τιμές της παραμέτρου A επηρεάζονται σημαντικά από τις τιμές της f_2 (Σχήμα 32).



Σχήμα 31. ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΙΝΩΝ ΣΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗ f_1 ΚΑΙ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ V_f .



Σχήμα 32. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ f_2 ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ V_f ΣΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ A .

Συμπερασματικά, όσον αφορά στην συμπεριφορά του ινοπλισμένου σκυροδέματος υπό συνθήκες ετερόσημης έντασης, μπορούμε να πούμε ότι η προσθήκη χαλύβδινων ινών με αγκυρώσεις, οδηγεί σε σημαντική αύξηση της μονοαξονικής εφελκυστικής αντοχής του υλικού (περίπου διπλάσια αντοχή για $V_f = 1,5\%$). Για την διαξονική αντοχή η αύξηση ήταν μεγαλύτερη ειδικά κοντά στην περιοχή όπου ισχύει $f_2/f_c = 0,50$ (περίπου τριπλάσια αντοχή από αυτήν του άοπλου σκυροδέματος). Επίσης, όπως παρατηρήθηκε, οι ίνες οδηγούν σε μεγάλο βαθμό, στην εξομάλυνση της περιβάλλουσας αστοχίας προσεγγίζοντας για μεγάλο εύρος τις τιμές της μονοαξονικής εφελκυστικής αντοχής.

Η περιβάλλουσα αστοχίας για το άοπλο σκυρόδεμα, που προέκυψε, βρίσκεται σε συμφωνία με τις αντίστοιχες περιβάλλουσες παλαιότερων μελετών, όπως αυτή των Kupfer *et al* (1969), γεγονός που επιβεβαιώνει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

3.3. Δοκιμές δυσθραυστότητας-Μελέτη Σουλιώτη και Ματίκα (2008).

Για την αποτίμηση της δυσθραυστότητας των δοκιμίων ακολουθήθηκε η διαδικασία που προδιαγράφεται στο ASTM C1609/C 1609M-05. Τα δοκίμια που υποβλήθηκαν σε πειράματα κάμψης στα τρίτα ήταν 10x10x40 cm, με άνοιγμα μεταξύ των στηρίξεων 30 cm.

Η φόρτιση έγινε με σερβο-υδραυλική μηχανή Instron 8801 (Σχήμα 33) με μέγιστο στατικό και δυναμικό φορτίο ± 100 kN, ενώ το σύστημα εφαρμογής και υποστήριξης του δοκιμίου σχεδιάστηκε σύμφωνα με την προδιαγραφή C78-02 και τις διαστάσεις των δοκιμίων, ώστε να παράγει φόρτιση τεσσάρων σημείων χωρίς εκκεντρότητα ή στρέψη. Για την ακριβή μέτρηση του βέλους κάμψης, χρησιμοποιείται ένα ηλεκτρονικό μηκυνσιόμετρο (mitutoyo) το οποίο τοποθετείται πάνω σε ένα ζυγό (yoke). Με τον τρόπο αυτό, το βέλος κάμψης μετριέται από τον ουδέτερο άξονα μέχρι την επάνω επιφάνεια του δοκιμίου.



Σχήμα 33. ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΟΚΙΜΗΣ ΔΥΣΘΡΑΣΥΤΟΤΗΤΑΣ.

Η δοκιμή τερματίζει, όταν το βέλος κάμψης φθάσει τουλάχιστον το $1 / 150$ του ανοίγματος του δοκιμίου, δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση τα 2 mm. Στην πειραματική αυτή μέθοδο δεν υπολογίζονται δείκτες δυσθραυστότητας, όπως στη μέθοδο C1018-97. Υπολογίζεται η δυσθραυστότητα T100,2.0, ως η ενέργεια, η οποία είναι ισοδύναμη με τη συνολική επιφάνεια κάτω από την καμπύλη φορτίου – βέλους κάμψης μέχρι το βέλος κάμψης να φθάσει τα 2mm. Μπορούν, επιπλέον, να υπολογισθούν η μέγιστη αντοχή αιχμής, η μέγιστη καμπτική αντοχή, καθώς και η παραμένουσα αντοχή, όταν το βέλος κάμψης είναι 0.5 και 2 mm.

Από τις δοκιμές δυσθραυστότητας παρατηρείται ότι, μετά την πρώτη ρωγμή, το ινοπλισμένο σκυρόδεμα διατηρεί ακόμα την ικανότητά του να φέρει φορτία. Η ικανότητα αυτή, την οποία προσδίδουν στο σκυρόδεμα οι ίνες, οδηγεί στην αύξηση της δυσθραυστότητάς του. Το άοπλο σκυρόδεμα, αντίθετα, δεν έχει τη δυνατότητα να φέρει φορτία μετά την πρώτη ρωγμή και διαχωρίζεται σε δύο κομμάτια. Από τα αποτελέσματα των δοκιμών, παρατηρείται και η σημαντική επίδραση του ποσοστού κατ' όγκο των ινών στις μηχανικές ιδιότητες του

σκυροδέματος. Η αύξηση του ποσοστού όγκου των ινών, αυξάνει σημαντικά τη μέγιστη αντοχή αιχμής, την καμπτική αντοχή, την παραμένουσα αντοχή, καθώς και τη δυσθραυστότητα του σκυροδέματος.

Οι ίνες με κεκαμμένα άκρα εμφανίζουν αυξημένη παραμένουσα αντοχή για βέλος κάμψης 0.5 mm και 2mm και δυσθραυστότητα σε σχέση με τις κυματοειδείς ίνες, οι οποίες εμφανίζουν μεγαλύτερη αντοχή αιχμής και μεγαλύτερη καμπτική αντοχή.

Κεφάλαιο 4: Προσομοίωση της συμπεριφοράς φράγματος λιθορριπής με ανάντη πλακά από SFRC.

4.1 Πλάκα ινοπλισμένου σκυροδέματος.

Η σύνδεση των χαρακτηριστικών του απλού σκυροδέματος με αυτά του ινοπλισμένου σκυροδέματος γίνεται με τις εξισώσεις που εξέτασε ο M.C. Nataraja (1999), οι οποίες χρησιμοποιώντας αντοχή σε θλίψη και την αντίστοιχη παραμόρφωση του απλού σκυροδέματος καταλήγουν στις αντίστοιχες ιδιότητες του ινοπλισμένου με ίνες χάλυβα σκυροδέματος και στις καμπύλες τάσης – παραμόρφωσης για το υλικό αυτό.

Από τις εξισώσεις αυτές, διαμορφώνονται οι καμπύλες τάσης – παραμόρφωσης για την κάθε επιμέρους αντοχή SFRC που εξετάζεται σε θλίψη και εφελκυσμό. Η αντοχή σε εφελκυσμό υπολογίζεται ίση με το 1 / 10 της αντίστοιχης σε θλίψη. Εν συνεχεία, τα δεδομένα του καταστατικού αυτού προσομοιώματος εισάγονται στο πρόγραμμα Abaqus και εξετάζεται η συμπεριφορά ενός κυβικού δοκιμίου από SFRC σε θλίψη και εφελκυσμό ώστε τελικά να προκύψουν αποτελέσματα, με κατάλληλη προσομοίωση, για το φράγμα λιθορριπής με ανάντη πλακά SFRC το οποίο είναι και ο σκοπός της παρούσας μελέτης.

Σύμφωνα με τον Nataraja (1999), για σκυρόδεμα με θλιπτική αντοχή έως 50 MPa ισχύουν οι σχέσεις :

- Θλιπτική Αντοχή

$$f'_{cf} = f_c + 2.1604(RI) \quad (1)$$

Όπου :

- f_c : η θλιπτική αντοχή του απλού σκυροδέματος σε MPa
- f'_{cf} : η θλιπτική αντοχή του ινοπλισμένου με ίνες χάλυβα σκυροδέματος (SFRC) σε MPa
- RI : ο δείκτης ενίσχυσης ($RI = WfLf/Df$, Wf : το βάρος των ινών από χάλυβα)

- Παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη τάση

$$\epsilon_{of} = \epsilon_o + 0.0006RI \quad (2)$$

Όπου :

- ε_o : η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη τάση για το απλό σκυρόδεμα
- ε_{of} : η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη τάση για το SFRC
- Λόγος δυσθραυστότητας

$$TR_{cf} = TR_c + 0.0978RI \quad (3)$$

Όπου :

- TR_c : η δυσθραυστότητα για το απλό σκυρόδεμα
- TR_{cf} : η δυσθραυστότητα για το SFRC

Κάποιες άλλες εξισώσεις οι οποίες δίνουν την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του SFRC, είναι :

$$\frac{f_c}{f'_{cf}} = \frac{\beta \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{of}} \right)}{\beta - 1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{of}} \right)^\beta} \quad (4)$$

Όπου :

- f'_{cf} : η θλιπτική αντοχή του ινοπλισμένου σκυροδέματος
- ε_{of} : η αντίστοιχη μέγιστη παραμόρφωση
- f_c, ε_c : η τάση και η αντίστοιχη παραμόρφωση του απλού σκυροδέματος
- β : παράμετρος του υλικού η οποία εξαρτάται από τη μορφή του διαγράμματος τάσης – παραμόρφωσης

Από την (4), για να προκύψει η καμπύλη τάσης – παραμόρφωσης για ινοπλισμένο σκυρόδεμα δεδομένης θλιπτικής αντοχής, f'_{cf} , χρειάζονται μόνο οι τιμές των παραμέτρων ε_{of} και β .

Συνήθως στην πραγματικότητα, στο ινοπλισμένο σκυρόδεμα, η περιεκτικότητα σε ίνες, το μήκος και η διάμετρος των ινών είναι γνωστά με αποτέλεσμα να μπορεί να υπολογιστεί ο δείκτης όπλισης RI. Επιπλέον, οι ίνες στο σκυρόδεμα έχουν μεγαλύτερη επίδραση στον φθίνοντα κλάδο της καμπύλης τάσης – παραμόρφωσης. Για τον υπολογισμό της παραμέτρου

β , έχουν βρεθεί σχέσεις οι οποίες συνδέουν το β με το δείκτη όπλισης και την κλίση E_i στο σημείο καμψής του φθίνοντα κλάδου.

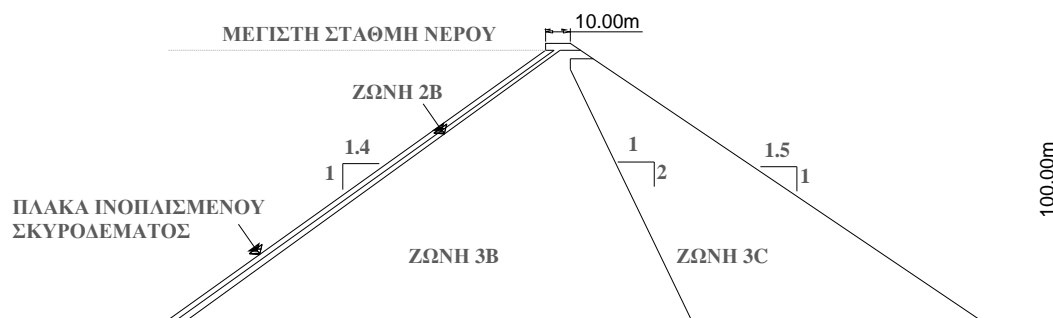
Για πτυχωτές ίνες και RI έως 3, οι σχέσεις που συνδέουν τις δύο αυτές παραμέτρους είναι :

$$\beta = 0.5811 + 1.93RI^{(-0,7406)} \quad (5)$$

4.2 Προσομοίωση του φράγματος.

4.2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.

Το φράγμα που προσομοιώνεται έχει ύψος 100m και βρίσκεται σε στενή τραπεζοειδή κοιλάδα. Η γεωμετρία της μέγιστης διατομής και οι ζώνες των υλικών δίδονται στο Σχ. 2. Η ανάντη κλίση είναι 1:1.4, ενώ η κατάντη 1:1.5. Οι ζώνες 3B και 3C αποτελούνται από λιθορριπή λατομείου ή αναγκαστικές εκσκαφές, χρησιμοποιώντας υγιή ή ελαφρά αποσαθρωμένο ασβεστόλιθο. Η πλάκα ινοπλισμένου σκυροδέματος θεωρείται ότι έχει τοποθετηθεί πάνω σε μία στρώση καλά διαβαθμισμένου χαλικιού πάχους ζώνη 2B. Λόγω της κοκκομετρικής διαβάθμισης και καλύτερης συμπίκνωσης, η ζώνη 2B είναι αρκετά πιο δύσκαμπτη από την ζώνη 3B. Η πλάκα ινοπλισμένου σκυροδέματος αποτελείται από 14 πανέλα με κανονικό οπλισμό και στις δύο διευθύνσεις. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα μισά, λόγω συμμετρίας.



Σχήμα 34. ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΙ ΖΩΝΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.

4.2.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΔΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.

Η αριθμητική προσομοίωση της σταδιακής κατασκευής και πλήρωσης της λεκάνης πραγματοποιείται στα εξής 4 στάδια:

Στάδιο 1: Το επίχωμα κατασκευάζεται σταδιακά με 40 στρώσεις.

Στάδιο 2: Κατασκευάζεται η πλάκα ινοσκυροδέματος στην ανάντη πλευρά.

Στάδιο 3: Η στάθμη του νερού ανέρχεται σε υψόμετρο 98 m.

Στάδιο 4: Επιβάλλεται δυναμική καθίζηση στη στέψη του φράγματος της τάξεως του 1 m.

Πίνακας 2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΖΩΝΗ 3B	ΖΩΝΗ 3C	ΖΩΝΗ 2B
Πυκνότητα ρ (kg / m³)	2150	2150	2150
K	502	1004	377
K_{ur}	1255	2510	942
K_b	125	251	94
n	0.45	0.45	0.45
m	0.22	0.22	0.22
R_f	0.59	0.59	0.59
φ_0	51°	51°	51°
$\Delta\varphi$	9°	9°	9°

Συντελεστής τριβής σκυροδέματος – χαλίκων , $\mu = 0.8$

Πίνακας 3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΤΙΜΕΣ
Πυκνότητα ρ , (kg / m ³)	2350
Μέτρο ελαστικότητας Young, E , (GPa)	29
Λόγος Poisson, ν	0.2
Συντελεστής τριβής σκυροδέματος- σκυροδέματος, μ_c	0.5
Δείκτης ενίσχυσης, RI	2.5%

4.2.3 ΥΛΙΚΑ.

Για την ρεαλιστική πρόβλεψη της συμπεριφοράς της λιθορριπής και των χαλίκων χρησιμοποιείται το καταστατικό προσομοίωμα Duncan et al. (1970). Το προσομοίωμα θεωρεί μία υπερβολική σχέση τάσης-παραμόρφωσης, στην οποία το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας Young δίδεται από την σχέση

$$E_t = K p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \left[1 - \frac{R_f (\sigma_1 - \sigma_3) (1 - \sin \phi)}{2\sigma_3 \sin \phi + 2c \cos \phi} \right]^2 \quad (1)$$

όπου $\sigma_1, \sigma_3 =$ κύριες τάσεις, $K, R_f, n =$ σταθερές του υλικού, $\phi =$ γωνία διατμητικής αντοχής, $c =$ συνοχή, και $p_a =$ ατμοσφαιρική πίεση. Η γωνία διατμητικής αντοχής εξαρτάται από την περιβάλλουσα τάση ως εξής

$$\phi = \phi_o - \Delta\phi \log \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right) \quad (2)$$

όπου ϕ_o και $\Delta\phi =$ σταθερές του υλικού. Το μέτρο Young κατά την αποφόρτιση δίδεται από την σχέση

$$E_{ur} = K_{ur} p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (3)$$

όπου K_{ur} = σταθερά η οποία λαμβάνει τιμές μεταξύ $1.2K \leq K_{ur} \leq 3K$. Επίσης το μέτρο διόγκωσης δίδεται από την σχέση

$$B = K_b p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^m \quad (4)$$

όπου K_b, m = σταθερές. Τα όρια της τιμής του B καθορίζονται από την σχέση $B = E_t / 3(1 - 2\nu)$, όπου ν είναι ο λόγος Poisson. Η μέγιστη τιμή είναι $B_{max} = 17E_t$ ($\nu = 0.49$), ενώ η ελάχιστη τιμή αντιστοιχεί σε γεωστατικές συνθήκες

$$B_{min} = \frac{E_t}{3} \left(\frac{2 - \sin \phi}{\sin \phi} \right) \quad (5)$$

Το κριτήριο φόρτισης / αποφόρτισης καθορίζεται από την σχέση (Clough 1984, Ebeling et al. 1992)

$$S = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_{1f} - \sigma_{3f}} \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^{1/4} \quad (6)$$

όπου σ_{1f}, σ_{3f} = κύριες τάσεις στην αστοχία. Αν $S \geq S_{max}$ τότε χρησιμοποιούνται τα μέτρα φόρτισης, ενώ διαφορετικά τα μέτρα αποφόρτισης. Το καταστατικό προσομοίωμα ενσωματώθηκε στο κώδικα ABAQUS (2011) και επιβεβαιώθηκε εκτενώς (Dakoulas 2007).

4.2.3 ΣΤΑΔΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.

Στάδιο 1 : Η σταδιακή κατασκευή του επιχώματος προσομοιώνεται θεωρώντας 40 στρώσεις. Το αριθμητικό προσομοίωμα διακριτοποιεί με ακρίβεια την 3Δ γεωμετρία του επιχώματος, χρησιμοποιώντας 1258 πεπερασμένα στοιχεία. Εκτός των 40 οριζοντίων στρώσεων της κατασκευής, η διατομή υποδιαιρείται σε τρεις βασικές ζώνες: την ανάντη ζώνη 3B, την κατάντη ζώνη 3C, και την ζώνη χαλικιού 2B. Έτσι, η μέγιστη διατομή του φράγματος χωρίζεται συνολικά σε 60 ζώνες, κάθε μία από τις οποίες διακριτοποιείται χωριστά με μέγιστη διάσταση στοιχείων μεταξύ 4 m και 6 m. Στο Σχήμα 35 δίδεται η διακριτοποίηση της 3Δ γεωμετρίας του αριθμητικού προσομοιώματος του φράγματος, όπου διακρίνονται οι ζώνες υλικών του αναχώματος και οι ανεξάρτητες πλάκες του ανάντη πρανού.

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν απευθείας μετρήσεις της δυσκαμψίας της λιθορριπής, αφού πρόκειται για μια ιδεατή κατασκευή, οι αρχικές τιμές των παραμέτρων του προσομοιώματος λήφθηκαν από δημοσιευμένα δεδομένα για παρόμοια υλικά σε παρόμοια φράγματα (Duncan et al. 1980), και στην συνέχεια βαθμονομήθηκαν οι σταθερές K , K_w και K_b . Οι τιμές όλων των παραμέτρων του προσομοιώματος της βασικής ανάλυσης δίδονται στον Πίνακα 2.

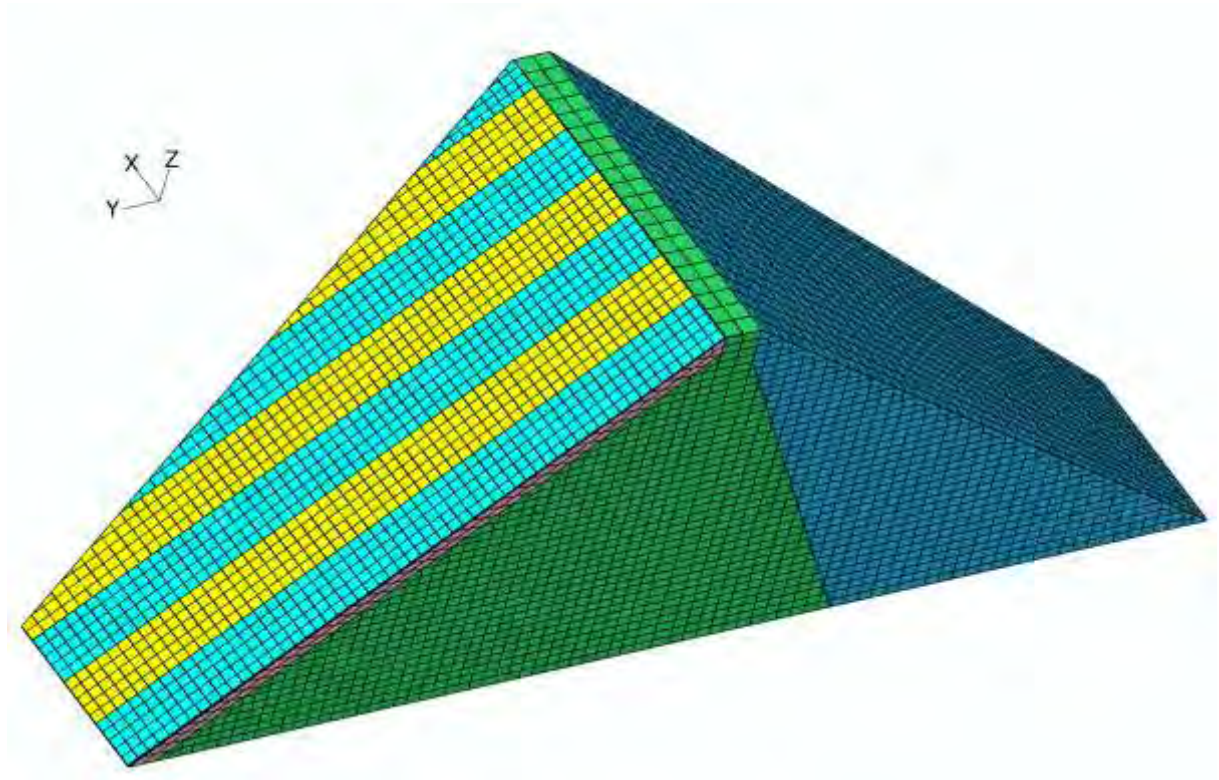
Η προσομοίωση της σταδιακής κατασκευής επαναλαμβάνεται δύο ή τρεις φορές και μετά από κάθε ανάλυση η αρχική γεωμετρία του φράγματος τροποποιείται έτσι ώστε μετά την επιβολή του 94% της βαρύτητας η επιφάνεια του ανάντη πρανού να αποτελεί ένα τέλειο επίπεδο επάνω στο οποίο τοποθετείται η πλάκα στο Στάδιο 2.

Στάδιο 2 : Η πλάκα ινοπλισμένου με ίνες χάλυβα σκυροδέματος έχει μήκος 15 m και διακριτοποιείται με συνολικά 780 στοιχεία. Το πάχος της πλάκας είναι 0.3 m στην στέψη, ενώ μεταβάλλεται σαν συνάρτηση της κατακόρυφης απόστασης h από το μέγιστο ύψος του νερού σύμφωνα με την σχέση $w=0.30+0.003h$. Για $h=100$ m, το πάχος στη βάση της μέγιστης διατομής είναι 0.6 m.

Η διεπιφάνεια στη βάση της πλάκας αναπτύσσει τριβή με την υποκείμενη στρώση χαλικιού και έχει τη δυνατότητα αποχωρισμού. Το ίδιο συμβαίνει με τη διεπιφάνεια μεταξύ των κατακόρυφων τοιχωμάτων γειτονικών πλακών. Ο συντελεστής τριβής μεταξύ σκυροδέματος και χαλικιού λαμβάνεται 0.8, ενώ μεταξύ επιφανειών σκυροδέματος 0.5. Στο Στάδιο 2 η πλάκα φορτίζεται από το ίδιο βάρος, και επειδή η τριβή δεν επαρκεί, υποστηρίζεται στο κάτω μέρος της από την πλίνθο.

Στάδιο 3 : Η στάθμη του ύδατος ανέρχεται στο υψόμετρο 98 m σε 10 βήματα.

Στάδιο 4: Επιβάλλεται καθίζηση δυναμική στη στέψη του φράγματος 1 m.

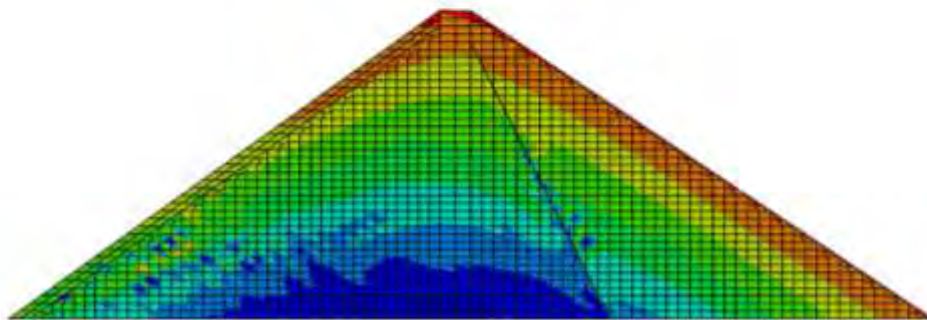
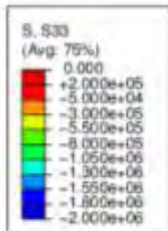


Σχήμα 35. ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ 3Δ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΟΠΟΥ ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΖΩΝΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΑΝΑΧΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΕΣ ΠΛΑΚΕΣ ΤΟΥ ΑΝΑΝΤΗ ΠΡΑΝΟΥΣ.

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα.

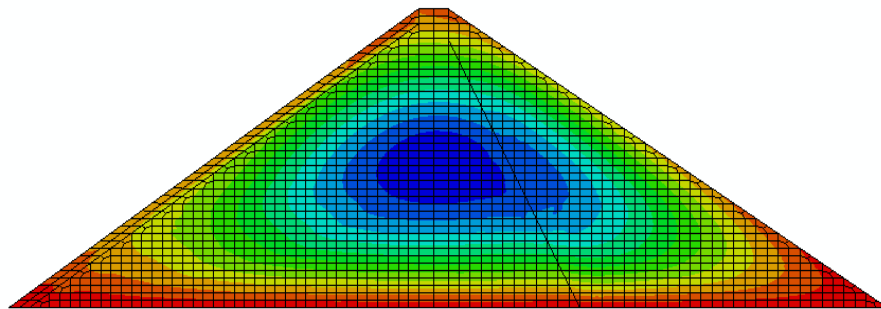
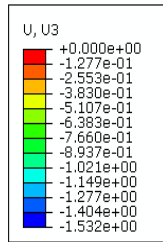
5.1 Φράγμα λιθορριπής με ανάντη πλάκα σκυροδέματος.

5.1.1. ΣΤΑΔΙΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΝΕΡΟ.



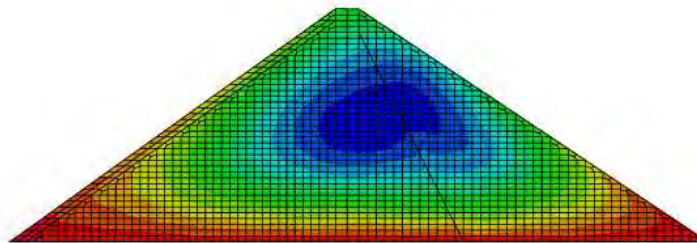
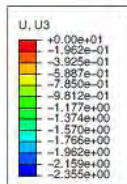
Σχήμα 36. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΟ ΦΡΑΓΜΑ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

Στο Σχήμα 36 δίδεται η κατανομή της κατακόρυφης ορθής τάσης στο φράγμα μετά την πλήρωση της λεκάνης μέχρι την μέγιστη στάθμη (98 m). Από το σχήμα προκύπτει ότι η μέγιστη θλίψη παρουσιάζεται στη βάση του φράγματος και είναι 2.00 MPa. Αυτό το αποτέλεσμα δεν διαφοροποιείται για καμία από τις κατηγορίες σκυροδέματος και οπλισμού, όπως ήταν και το αναμενόμενο.



Σχήμα 37. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.

Από το Σχήμα 36 προκύπτει ότι η μέγιστη καθίζηση εντοπίζεται στον πυρήνα του φράγματος και είναι ίση, περίπου, με 1.53 m. Και πάλι, αυτό το αποτέλεσμα δεν διαφοροποιείται για καμία από τις κατηγορίες σκυροδέματος και οπλισμού.

5.1.2. ΣΤΑΔΙΟ ΕΠΙΒΟΛΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗ 1 m ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.

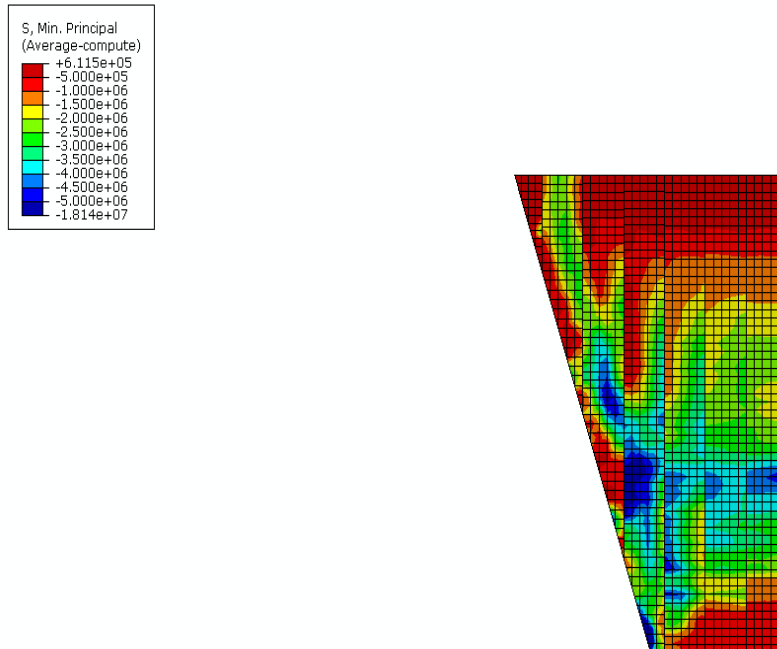
Σχήμα 38. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.

Από το Σχήμα 37 προκύπτει ότι η κατακόρυφη μετατόπιση στο φράγμα, μετά την επιβολή της δυναμικής καθίζησης 1 m. στη στέψη του, είναι περίπου 2.36 m και εντοπίζεται στον πυρήνα του φράγματος. Αυτό το αποτέλεσμα δεν διαφοροποιείται για καμία από τις κατηγορίες σκυροδέματος και οπλισμού.

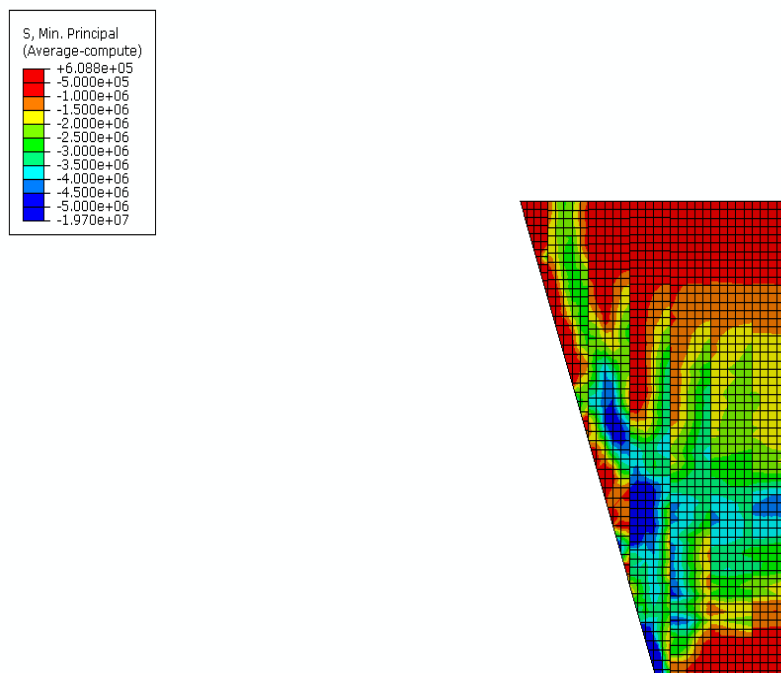
5.2. Πλάκα ινοπλισμένου σκυροδέματος.

5.2.1. ΣΤΑΔΙΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΝΕΡΟ.

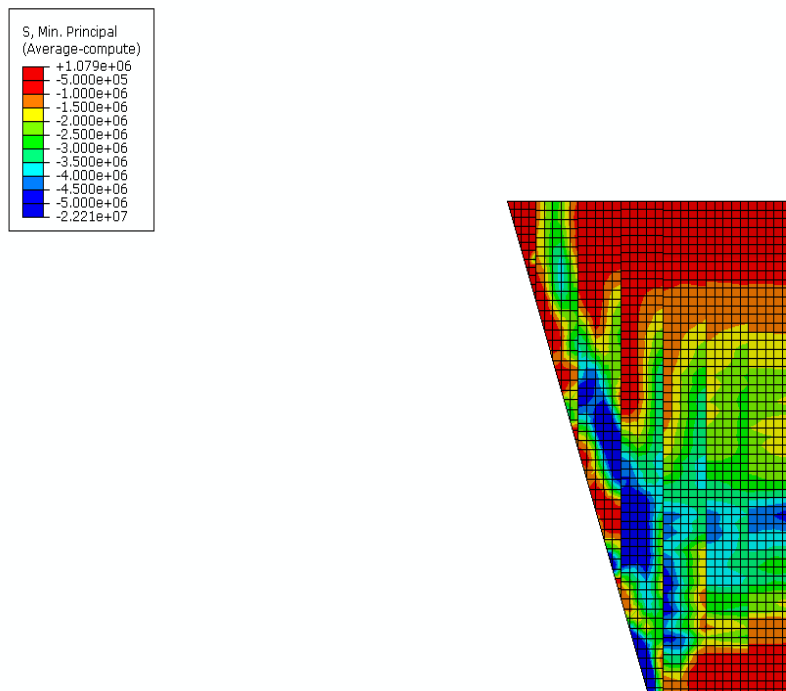
1) Ελάχιστη κύρια τάση (S_{min}).



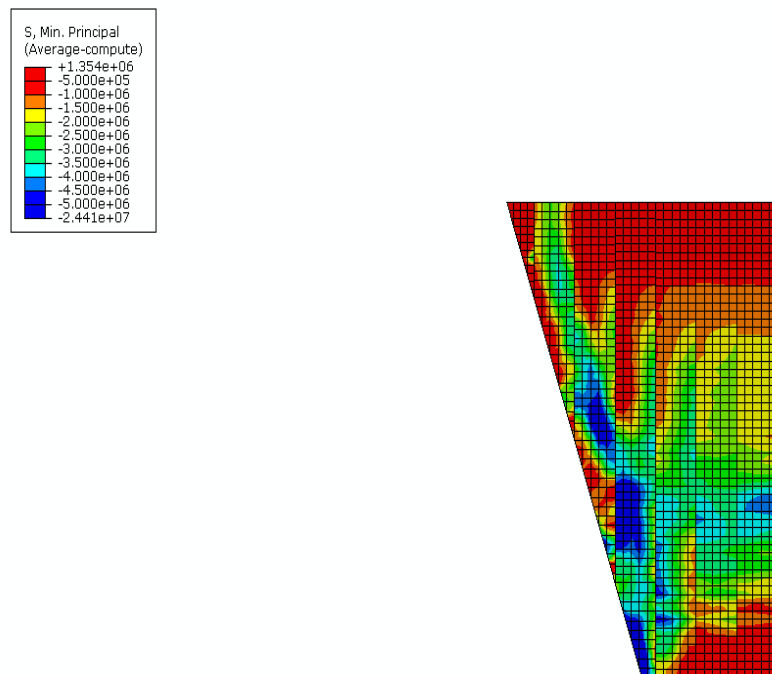
Σχήμα 39. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 40. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

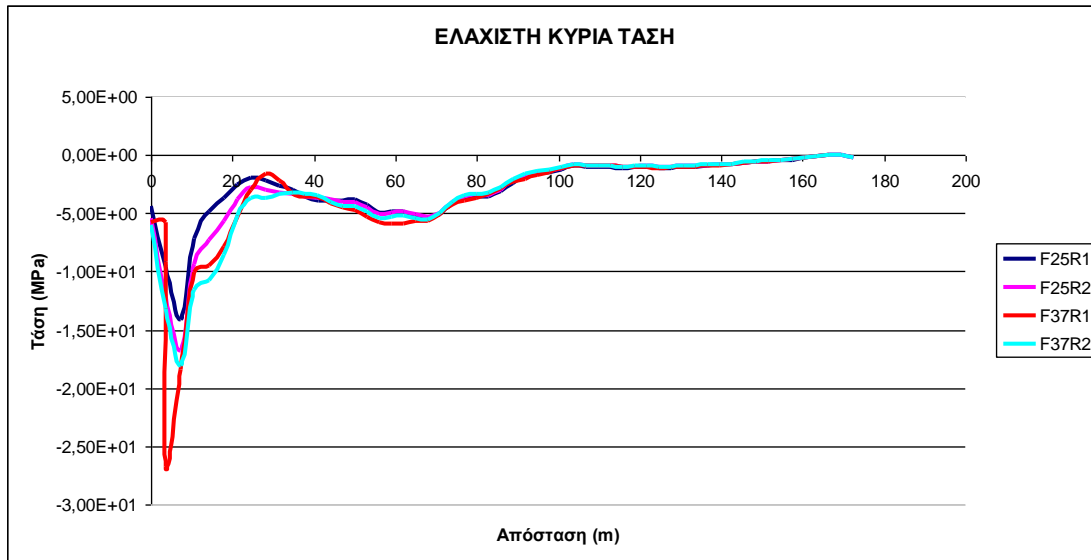


Σχήμα 41. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 42. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

Η ελάχιστη κύρια τάση (σ_3) που αναπτύσσεται στην πλάκα σκυροδέματος είναι κυρίως θλιπτική για όλες τις ποιότητες σκυροδέματος με τους αντίστοιχους οπλισμούς τους και έχει παρόμοια κατανομή. Στο Γράφημα 1 φαίνεται η ελάχιστη κύρια τάση στην πλάκα του σκυροδέματος για όλα τα διαφορετικής αντοχής σκυροδέματα με τους αντίστοιχους οπλισμούς, έτσι όπως αναπτύσσεται στο κέντρο περίπου της πλάκας (φέτα 4).



F25R1: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 25 MPa, με οπλισμό Φ25/20.

F25R2: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 25 MPa, με οπλισμό Φ36/20.

F37R1: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 37 MPa, με οπλισμό Φ25/20.

F37R2: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 37 MPa, με οπλισμό Φ36/20.

Γράφημα 1. ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΥΡΙΑ ΤΑΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΦΕΤΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.

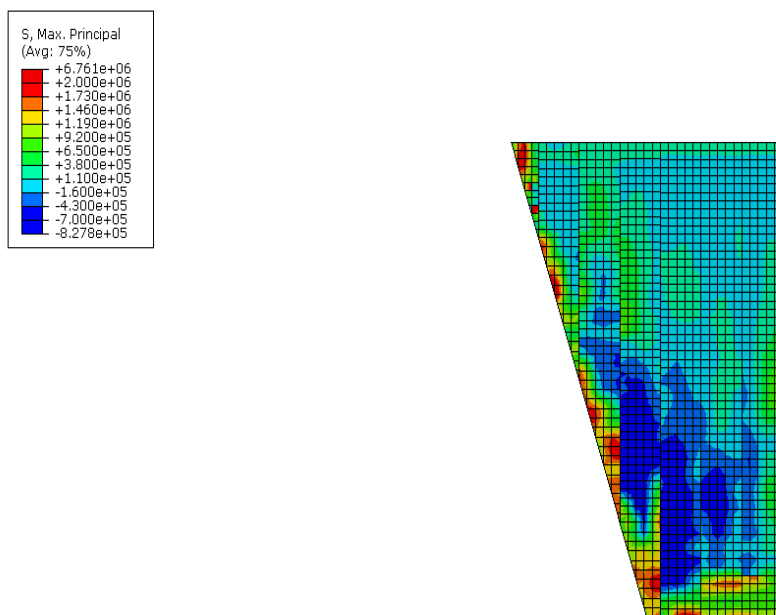
Πίνακας 4. ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.

	Θλιπτική αντοχή 25 MPa		Θλιπτική αντοχή 37 MPa	
	Φ25/20	Φ36/20	Φ25/20	Φ36/20
Μέγιστη θλιπτική τάση (σ_{min}) σε MPa.	14.10	16.8	26.70	18.00
Απόσταση σε m.	7.18	7.18	3.60	7.18

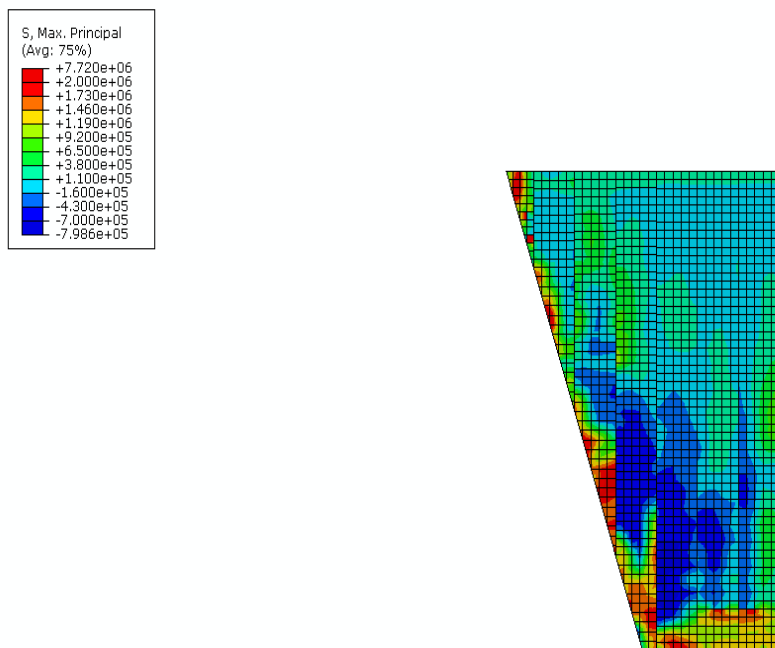
Από το Γράφημα 1 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 1). Η μορφή της καμπύλης της τάσης είναι παρόμοια για όλα τα είδη σκυροδέματος, εκτός από το σκυρόδεμα C37 με κανονικό οπλισμό Φ25/20, που παρουσιάζει αρκετά μεγαλύτερη θλιπτική τάση, συγκριτικά με τα υπόλοιπα είδη σκυροδέματος, με τις αντίστοιχες αντοχές.
- 2). Όπως φαίνεται από το διάγραμμα, όσο αυξάνεται η αντοχή του σκυροδέματος και ο οπλισμός του, τόσο αυξάνεται η θλιπτική τάση. Έντονα, όμως διαφοροποιείται το σκυρόδεμα C37 με κανονικό οπλισμό Φ25/20, που παρουσιάζει τη μέγιστη θλιπτική τάση από όλα τα σκυροδέματα, στο σημείο που απέχει 3.60 m. από τον πόδα της πλάκας και αυτή είναι ίση με 26.70 MPa.

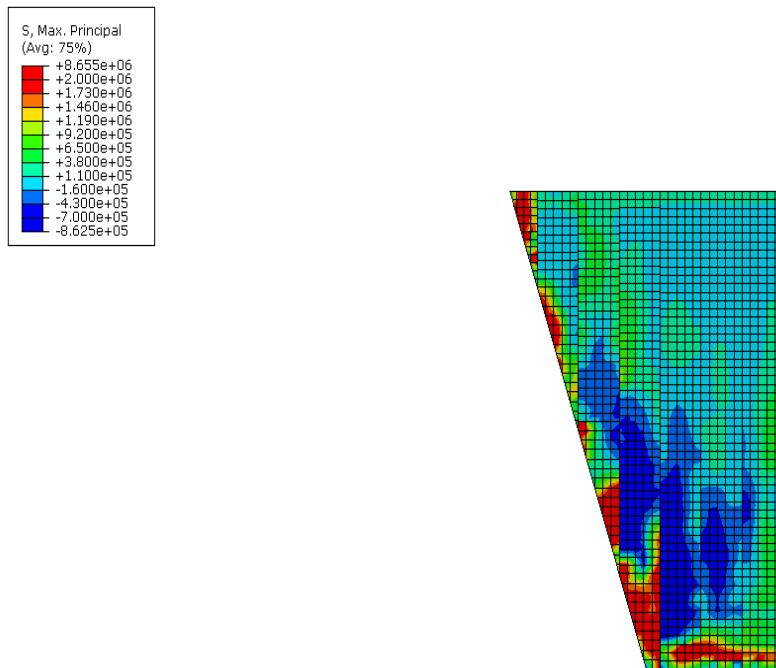
2) Μέγιστη κύρια τάση (Smax)



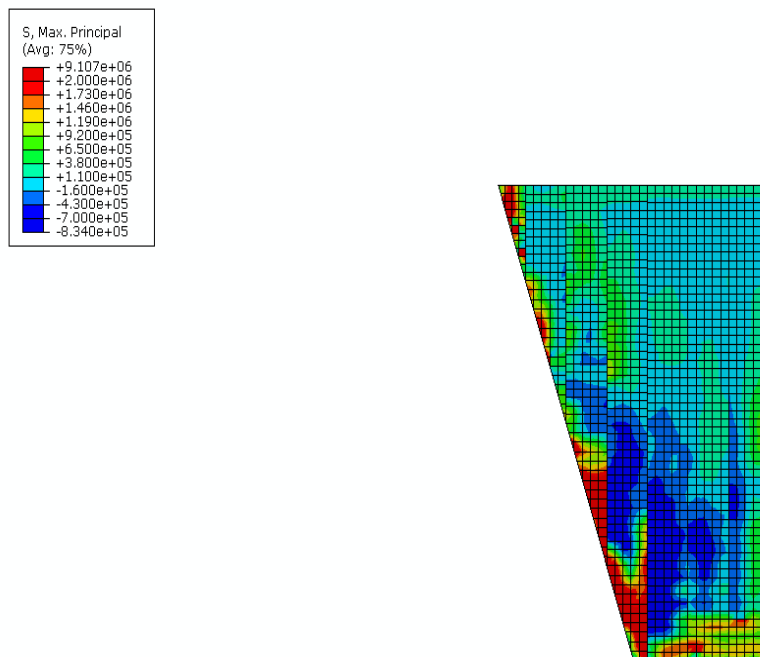
Σχήμα 43. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 44. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

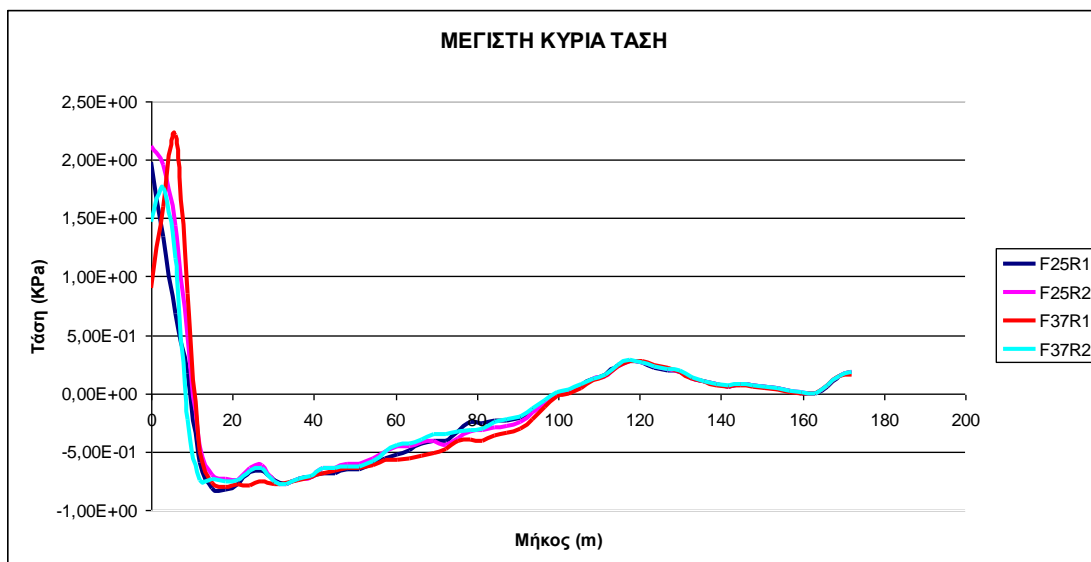


Σχήμα 45. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 46. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

Η μέγιστη κύρια τάση (σ_1) που αναπτύσσεται στην πλάκα σκυροδέματος είναι όχι μόνο θλιπτική αλλά και εφελκυστική, για όλες τις ποιότητες σκυροδέματος με τους αντίστοιχους οπλισμούς τους και έχει παρόμοια κατανομή. Στο Γράφημα 2 φαίνεται η ελάχιστη κύρια τάση στην πλάκα του σκυροδέματος για όλα τα διαφορετικής αντοχής σκυροδέματα με τους αντίστοιχους οπλισμούς, έτσι όπως αναπτύσσεται στη φέτα 5 της πλάκας.



F25R1: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 25 MPa, με οπλισμό Φ25/20.

F25R2: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 25 MPa, με οπλισμό Φ36/20.

F37R1: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 37 MPa, με οπλισμό Φ25/20.

F37R2: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 37 MPa, με οπλισμό Φ36/20.

Γράφημα 2. ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΥΡΙΑ ΤΑΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΠΕΜΠΤΗΣ ΦΕΤΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.

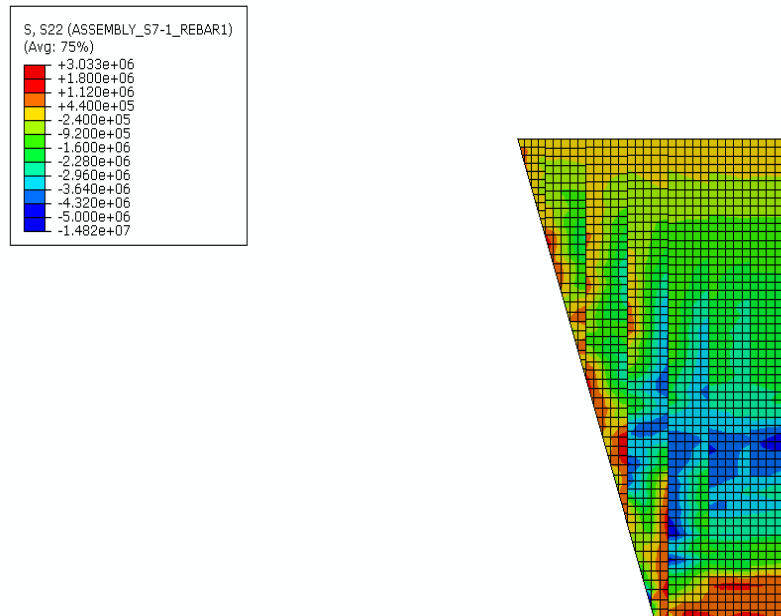
Πίνακας 5. ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.

	Θλιπτική αντοχή 25 MPa		Θλιπτική αντοχή 37 MPa	
	Φ25/20	Φ36/20	Φ25/20	Φ36/20
Μέγιστη εφελκυστική τάση (σ_{max}) σε MPa.	1.98	2.12	2.21	1.76
Απόσταση σε m.	0	0	6.03	3.02

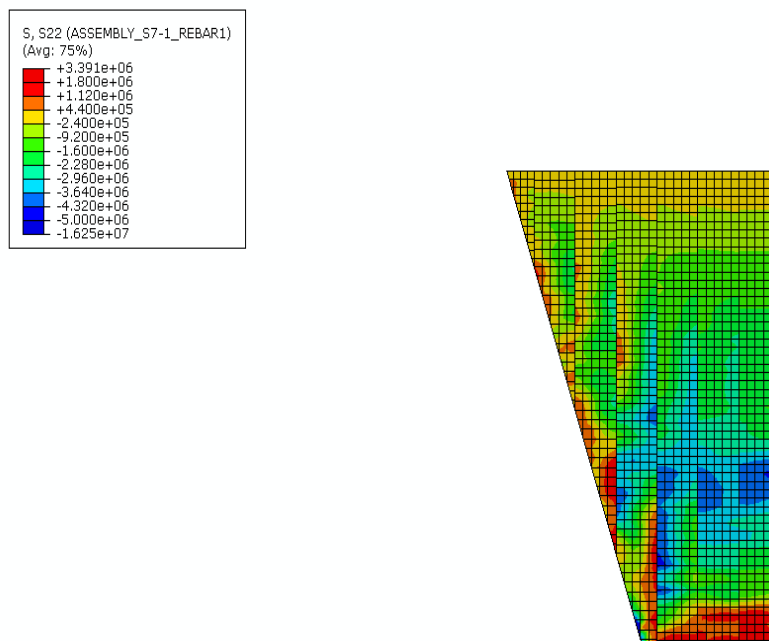
Από το Γράφημα 2 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 1). Η μορφή της καμπύλης της μέγιστης κύριας τάσης για όλα τα είδη σκυροδέματος είναι κοινή, και η τάξη μεγέθους της μέγιστης κύριας τάσης είναι παρόμοια.
- 2). Η μέγιστη κύρια τάση (εφελκυστική) παρουσιάζεται στο ινοπλισμένο σκυροδέματα C37, με κανονικό οπλισμό Φ25/20, στο σημείο που απέχει από τον πόδα της πλάκας 6.03 m. και είναι ίση με 2.21 MPa, ενώ παρατηρείται πως από το σημείο που απέχει από τον πόδα της πλάκας περίπου 87 m. και μετά η αύξηση του οπλισμού και της αντοχής έχει ως αποτέλεσμα μικρή αύξηση της μέγιστης κύριας τάσης, με το ινοπλισμένο σκυροδέμα C37, με κανονικό οπλισμό Φ36/20, να παίρνει τις μέγιστες τιμές.

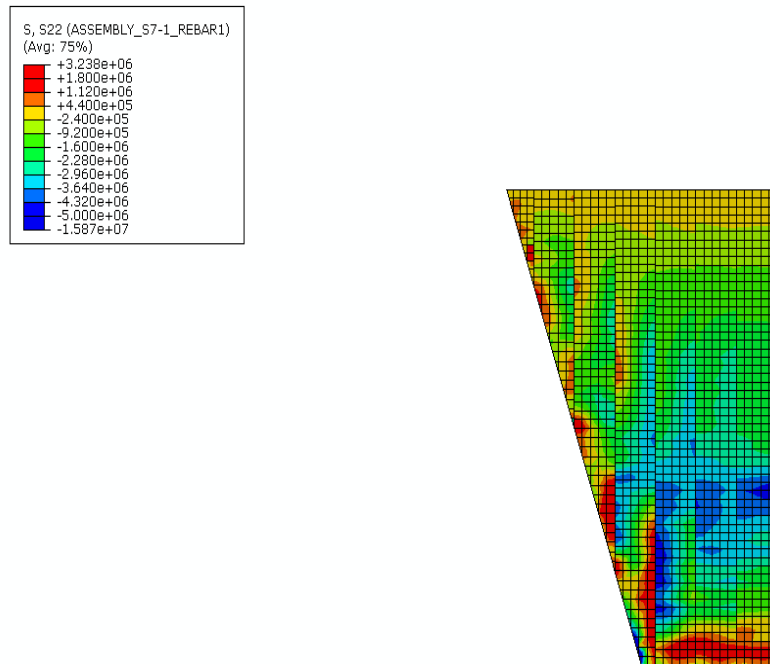
3) Ορθή κατά μήκος τάση (S_{22}).



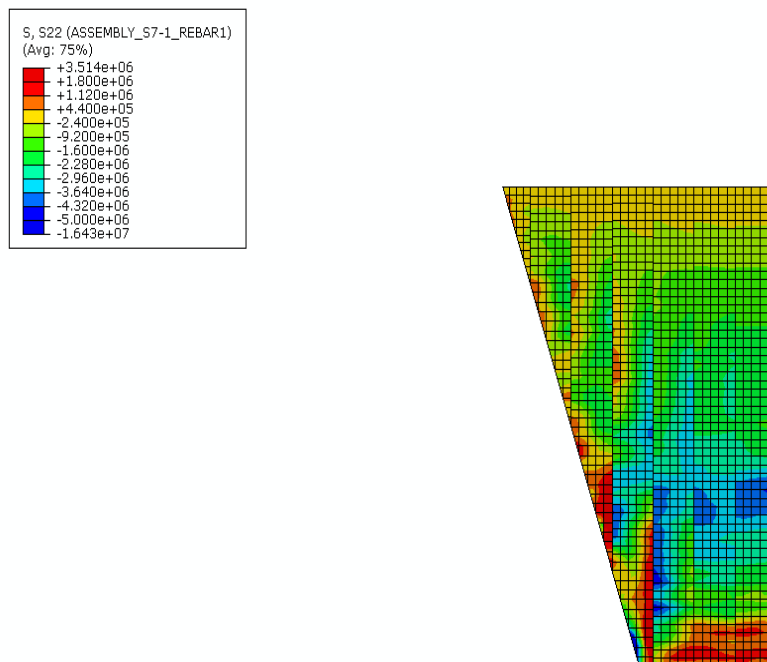
Σχήμα 47. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 48. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.



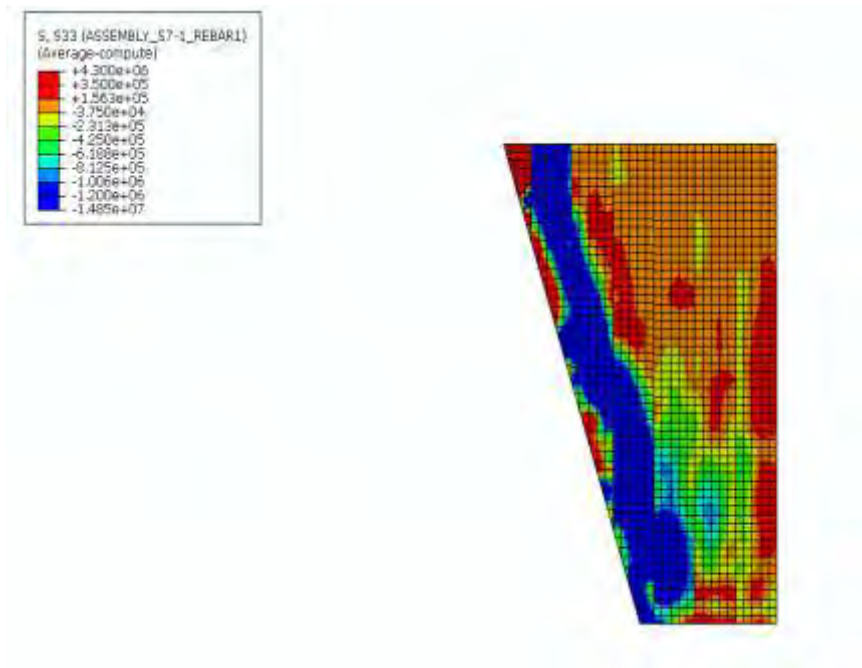
Σχήμα 49. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



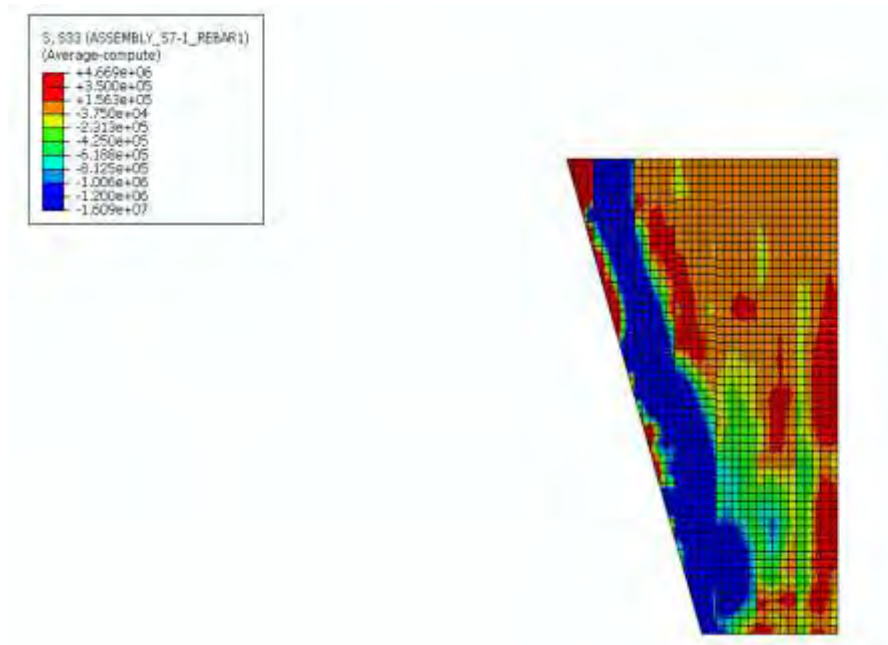
Σχήμα 50. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

Από τα παραπάνω σχήματα προκύπτει ότι η ορθή κατά μήκος τάση που αναπτύσσεται στην πλάκα σκυροδέματος είναι κυρίως θλιπτική και δημιουργεί συμπίεσεις στο κάτω μέρος του φράγματος, για όλες τις ποιότητες σκυροδέματος με τους αντίστοιχους οπλισμούς τους και έχει παρόμοια κατανομή.

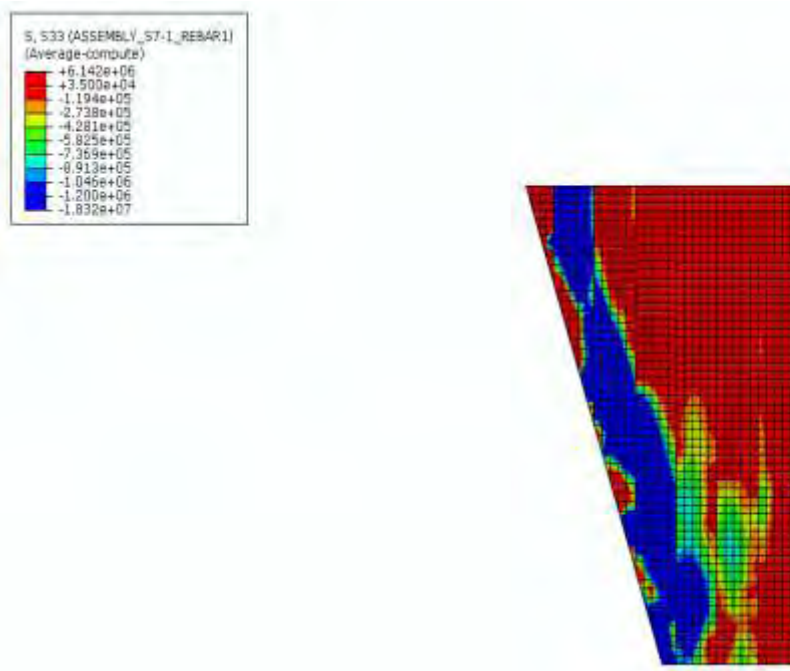
4) Οριζόντια ορθή τάση (S33)



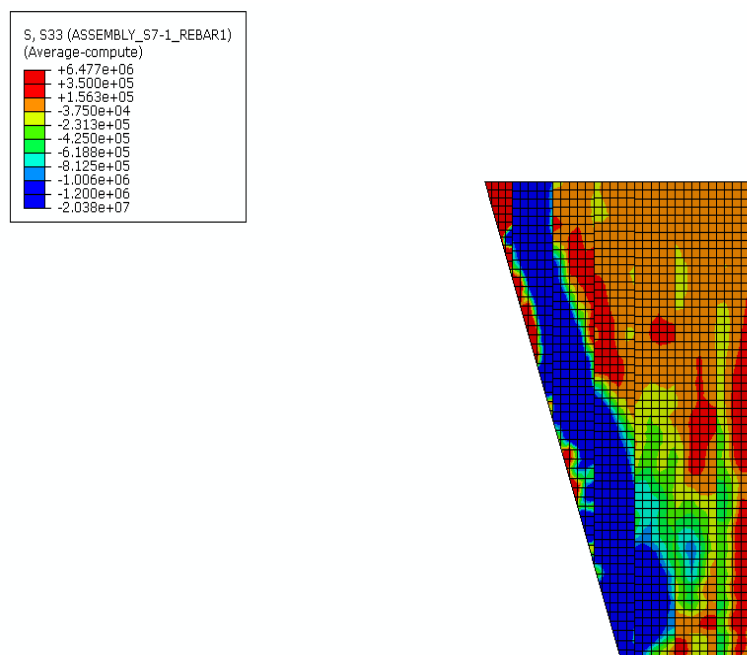
Σχήμα 51. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 52. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

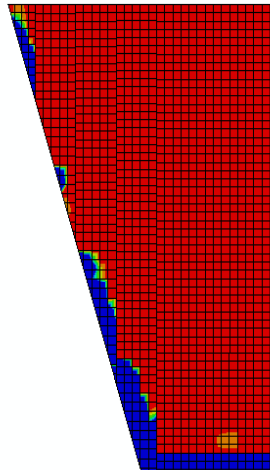
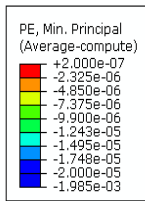


Σχήμα 53. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.

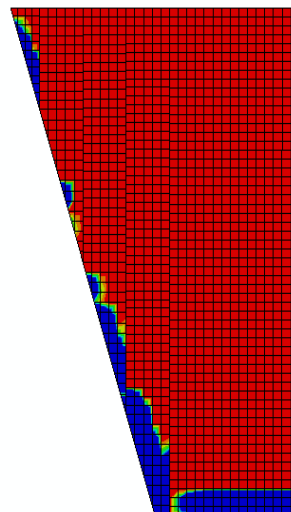
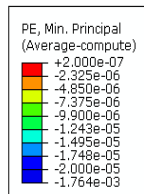


Σχήμα 54. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.

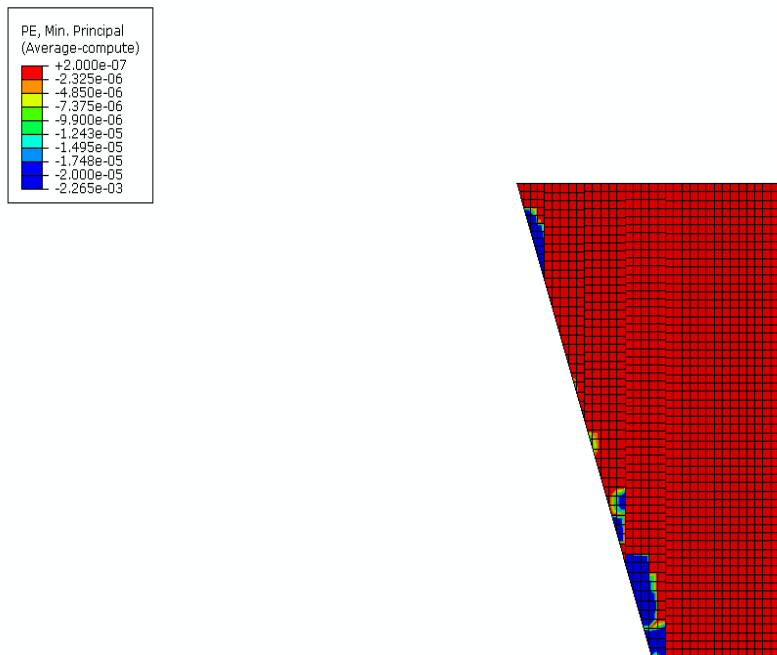
5) Πλαστική κύρια ελάχιστη παραμόρφωση.



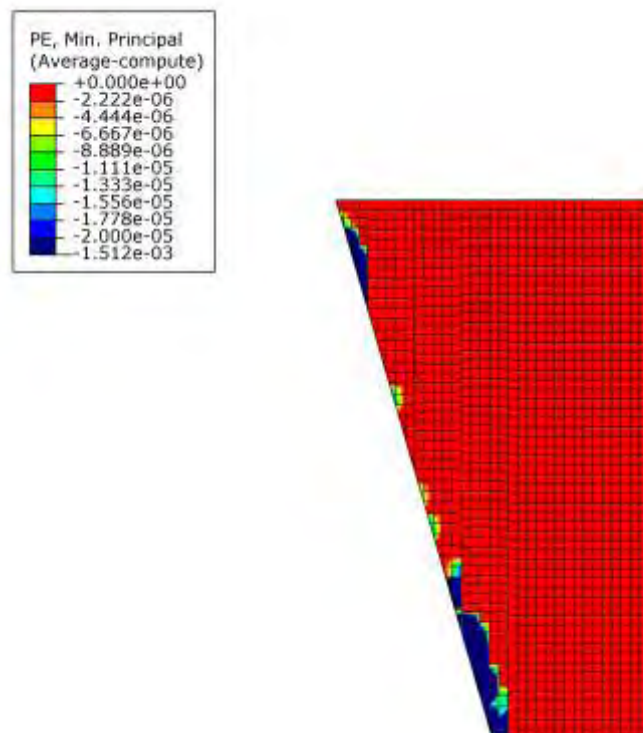
Σχήμα 55. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 56. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

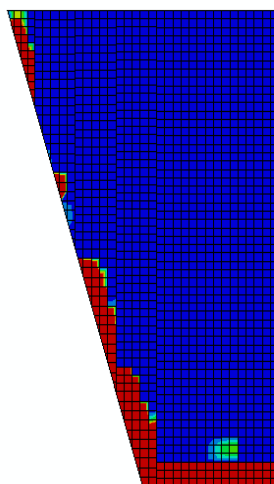
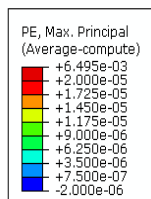


Σχήμα 57. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.

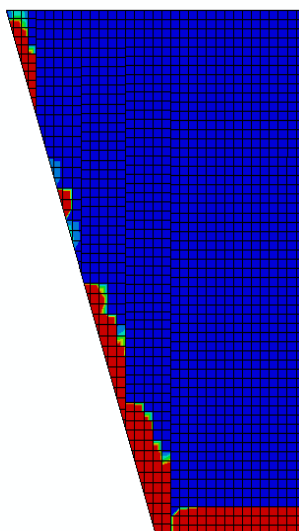
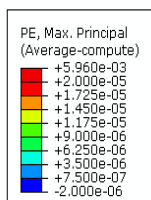


Σχήμα 58. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

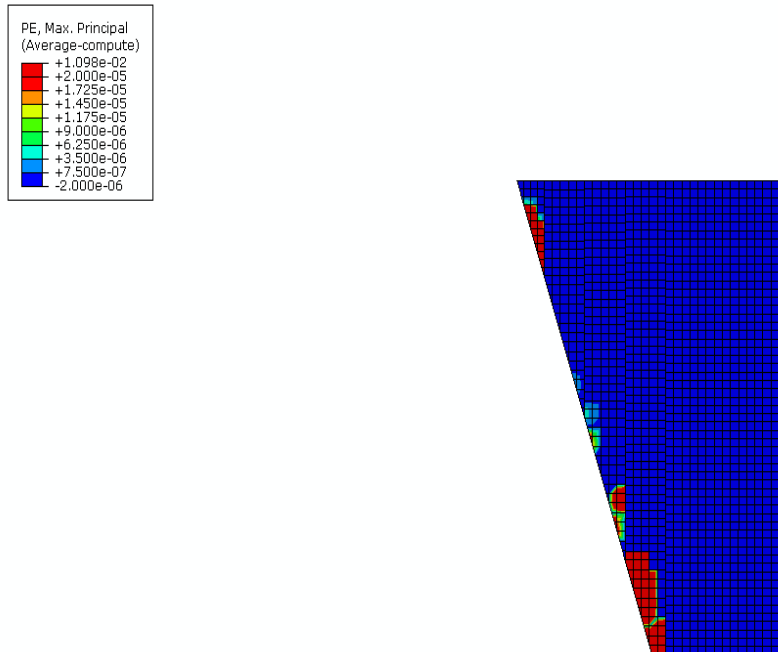
6) Πλαστική κύρια μέγιστη παραμόρφωση



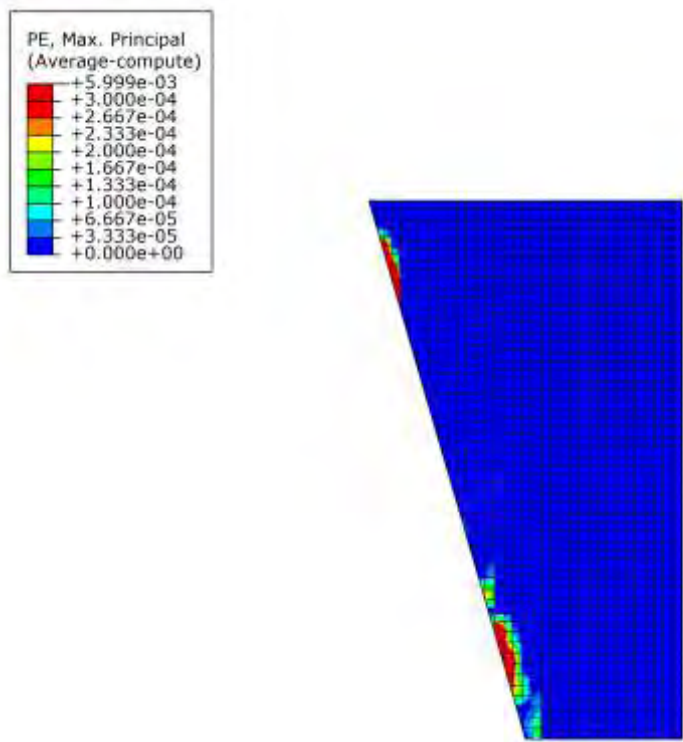
Σχήμα 59. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 60. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

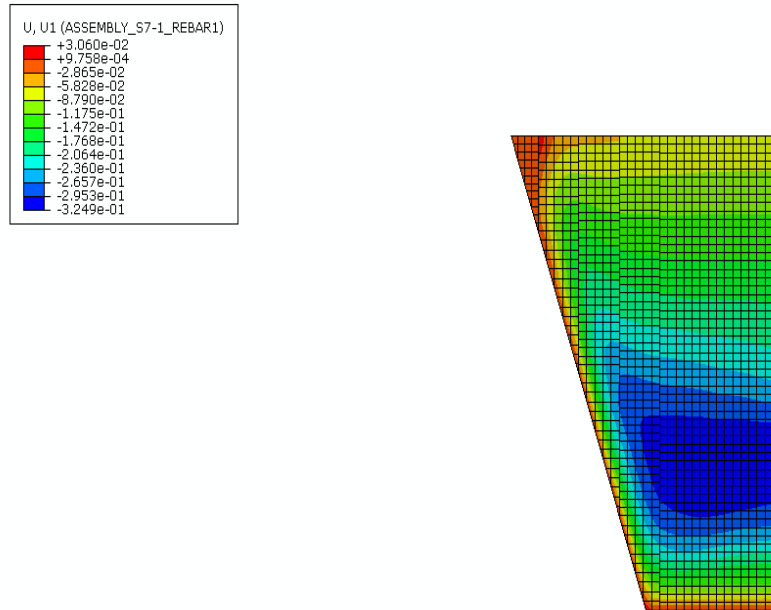


Σχήμα 61. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.

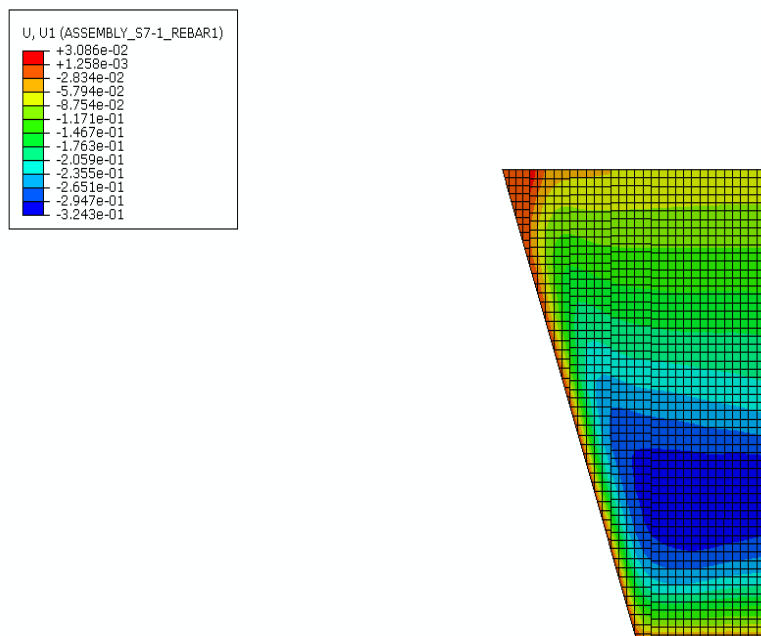


Σχήμα 62. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

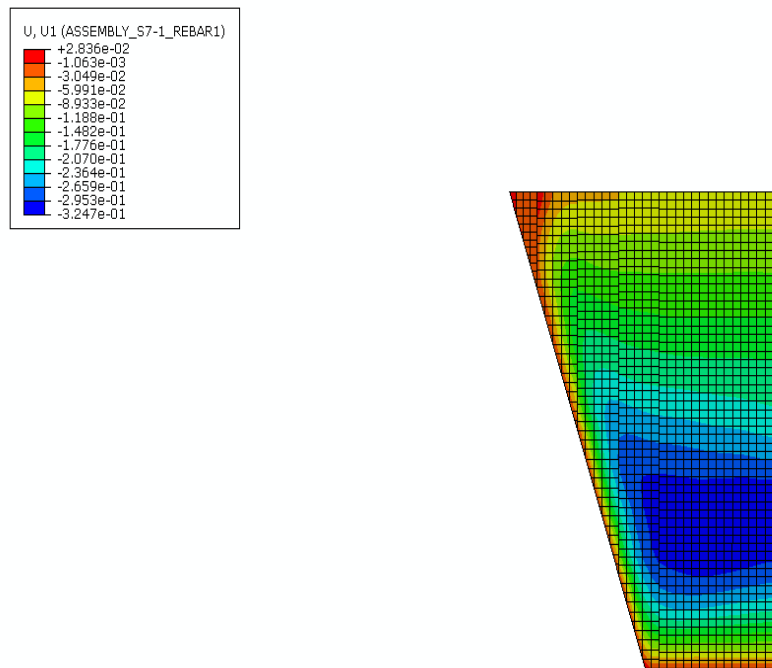
7). Κατακόρυφη βύθιση (U1).



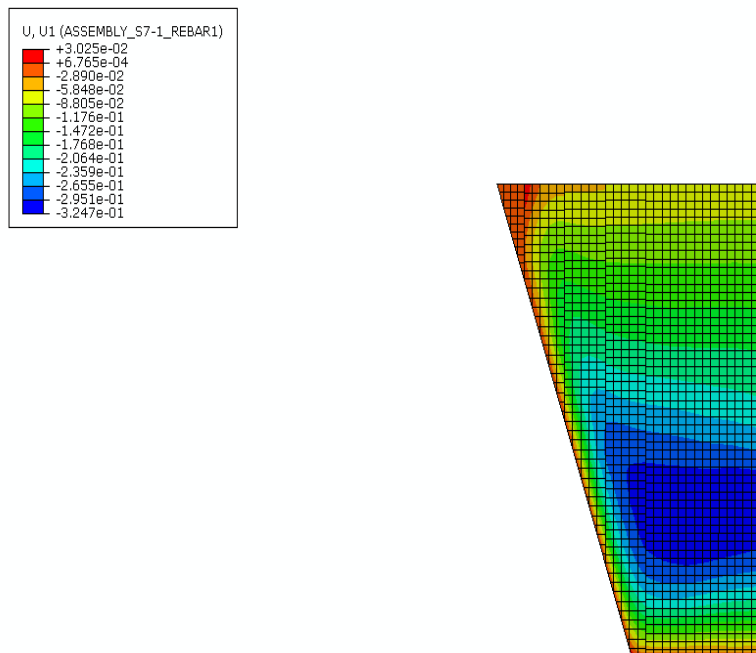
Σχήμα 63. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 64. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.



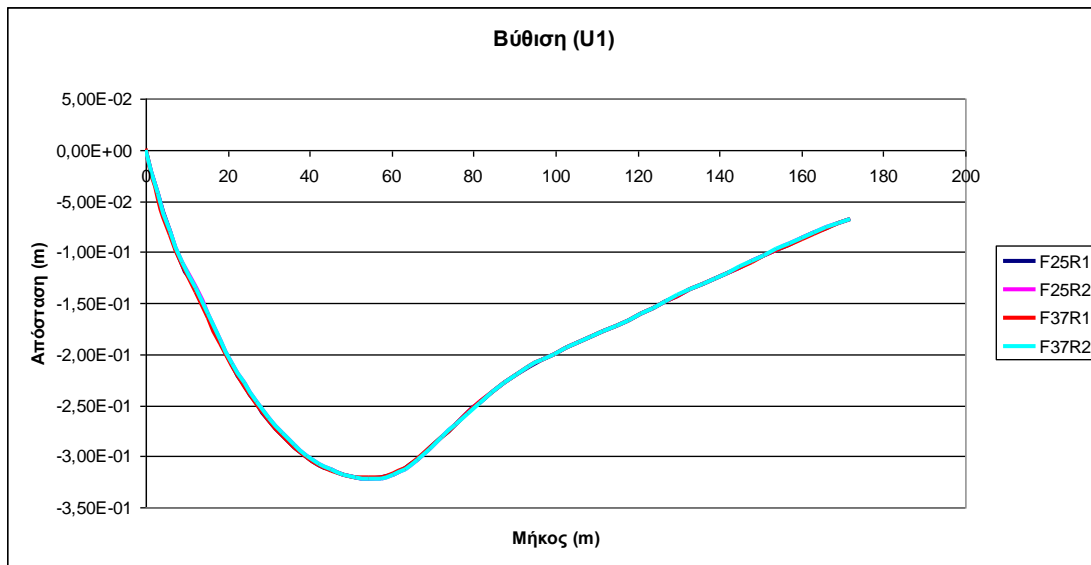
Σχήμα 65. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 66. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

Όπως φαίνεται από τα Σχήματα 62-65 η πλάκα κυρίως θλίβεται και η μεγαλύτερη βύθιση εντοπίζεται στο κάτω μέρος της. Σε κάποια σημεία της πλάκας, άνω και κάτω άκρα, παρατηρείται τοπικός εφελκυσμός. Στο Γράφημα 3 φαίνεται η βύθιση στην πλάκα του

σκυροδέματος για όλα τα διαφορετικής αντοχής σκυροδέματα με τους αντίστοιχους οπλισμούς, έτσι όπως αναπτύσσεται στην δεξιά παρειά της πλάκας (φέτα 7).



F25R1: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 25 MPa, με οπλισμό Φ25/20.

F25R2: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 25 MPa, με οπλισμό Φ36/20.

F37R1: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 37 MPa, με οπλισμό Φ25/20.

F37R2: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 37 MPa, με οπλισμό Φ36/20.

Γράφημα 3. ΒΥΘΙΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΕΒΔΟΜΗΣ ΦΕΤΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.

Πίνακας 6. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.

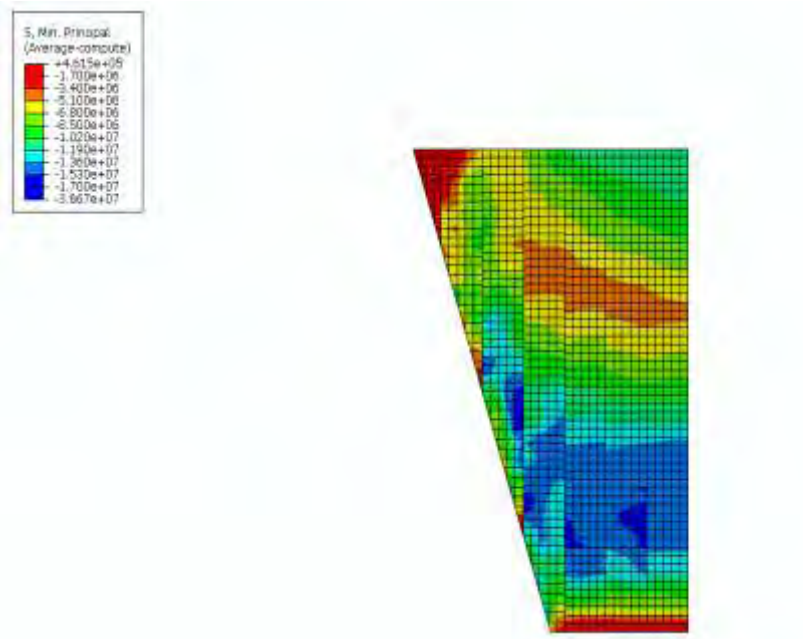
	Θλιπτική αντοχή 25 MPa		Θλιπτική αντοχή 37 MPa	
	Φ25/20	Φ36/20	Φ25/20	Φ36/20
Κατακόρυφη βύθιση σε m	-0.32	-0.32	-0.31	-0.32
Απόσταση σε m.	54.33	54.33	54.33	54.33

Από το Γράφημα 3 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

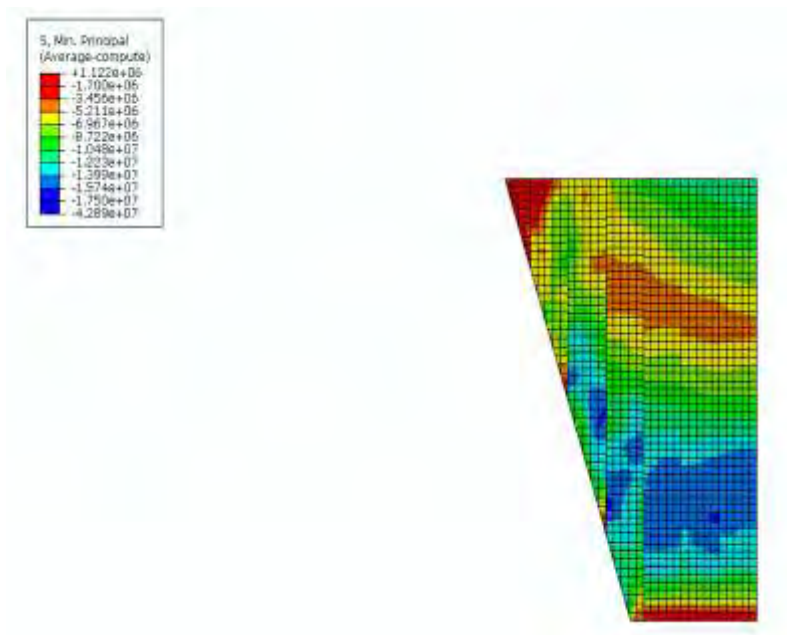
- 1). Η μορφή της καμπύλης της βύθισης είναι κοινή για όλα τα είδη σκυροδέματος, με τον αντίστοιχο οπλισμό τους και η μέγιστη βύθιση που παρατηρείται είναι πρακτικά όμοια και στο ίδιο σημείο.
- 2). Η μεγαλύτερη βύθιση εντοπίζεται στο κάτω τμήμα της πλάκας.

5.2.2. ΣΤΑΔΙΟ ΕΠΙΒΟΛΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗ 1 m ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.

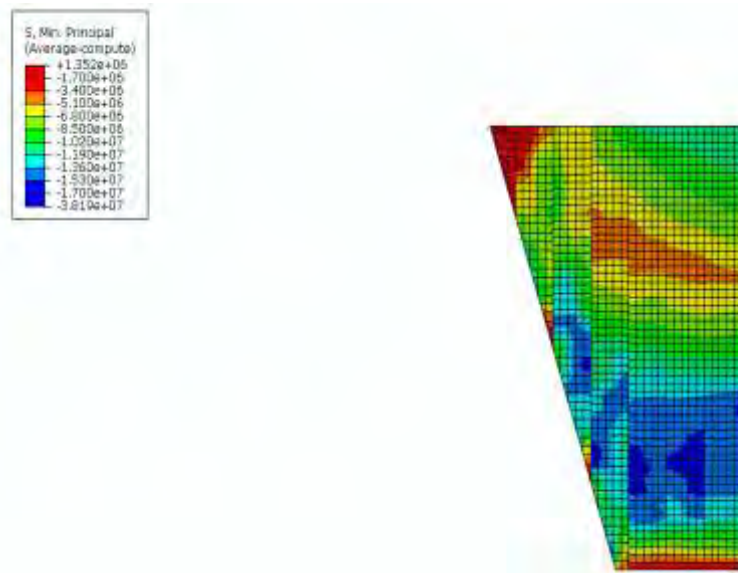
1) Ελάχιστη κύρια τάση (S_{min}).



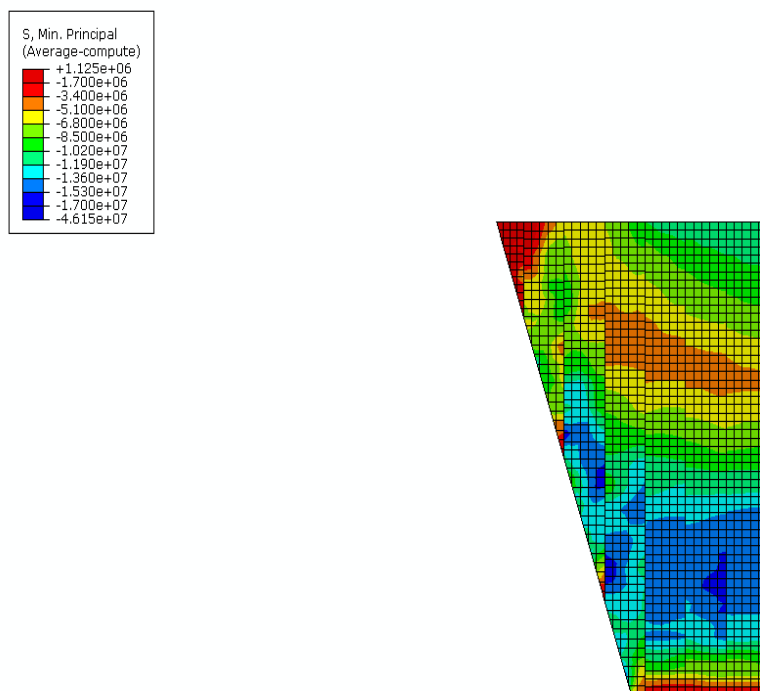
Σχήμα 67. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 68. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

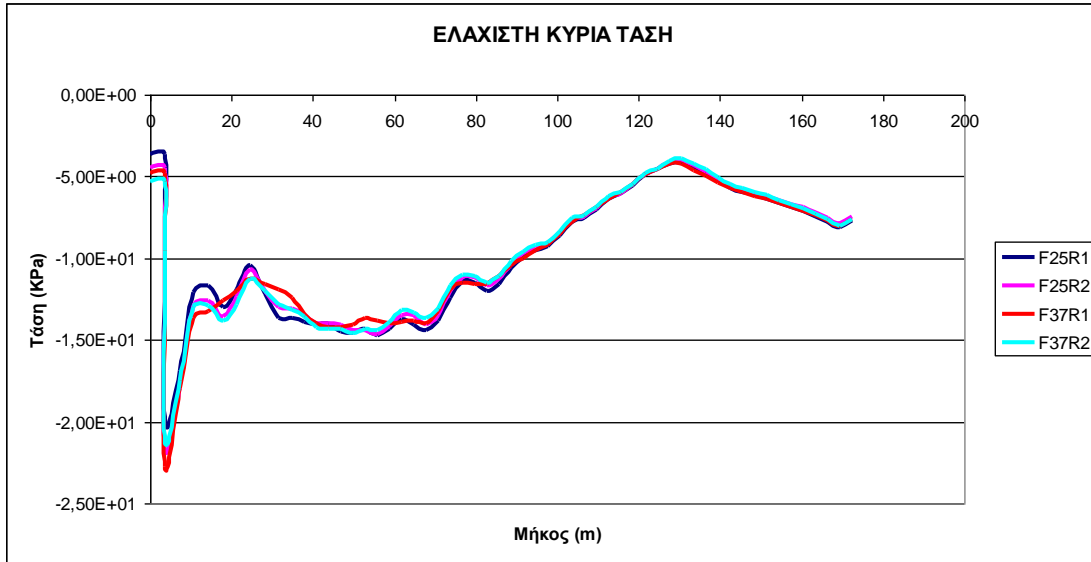


Σχήμα 69. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 70. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ . ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

Η ελάχιστη κύρια τάση (σ_3) που αναπτύσσεται στην πλάκα σκυροδέματος είναι κυρίως θλιπτική για όλες τις ποιότητες σκυροδέματος με τους αντίστοιχους οπλισμούς τους και έχει παρόμοια κατανομή. Στο Γράφημα 4 φαίνεται η ελάχιστη κύρια τάση στην πλάκα του σκυροδέματος για όλα τα διαφορετικής αντοχής σκυροδέματα με τους αντίστοιχους οπλισμούς, έτσι όπως αναπτύσσεται στο κέντρο περίπου της πλάκας (φέτα 4).



F25R1: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 25 MPa, με οπλισμό Φ25/20.

F25R2: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 25 MPa, με οπλισμό Φ36/20.

F37R1: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 37 MPa, με οπλισμό Φ25/20.

F37R2: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 37 MPa, με οπλισμό Φ36/20.

Γράφημα 4. ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΥΡΙΑ ΤΑΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΦΕΤΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.

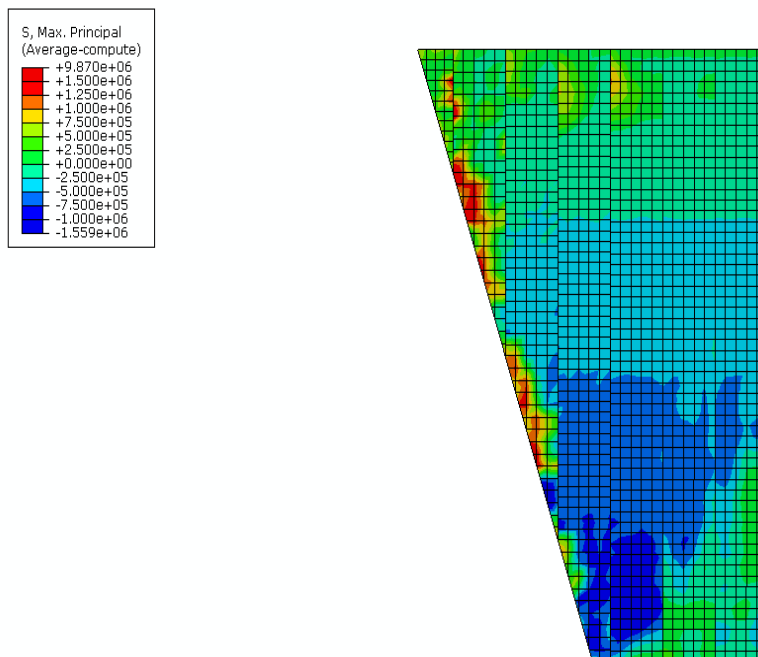
Πίνακας 7. ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1Μ ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.

	Θλιπτική αντοχή 25 MPa		Θλιπτική αντοχή 37 MPa	
	Φ25/20	Φ36/20	Φ25/20	Φ36/20
Μέγιστη θλιπτική τάση (σ_{min}) σε MPa.	3.64	3.99	4.26	3.91
Απόσταση σε m.	0	130.68	127.69	130.68

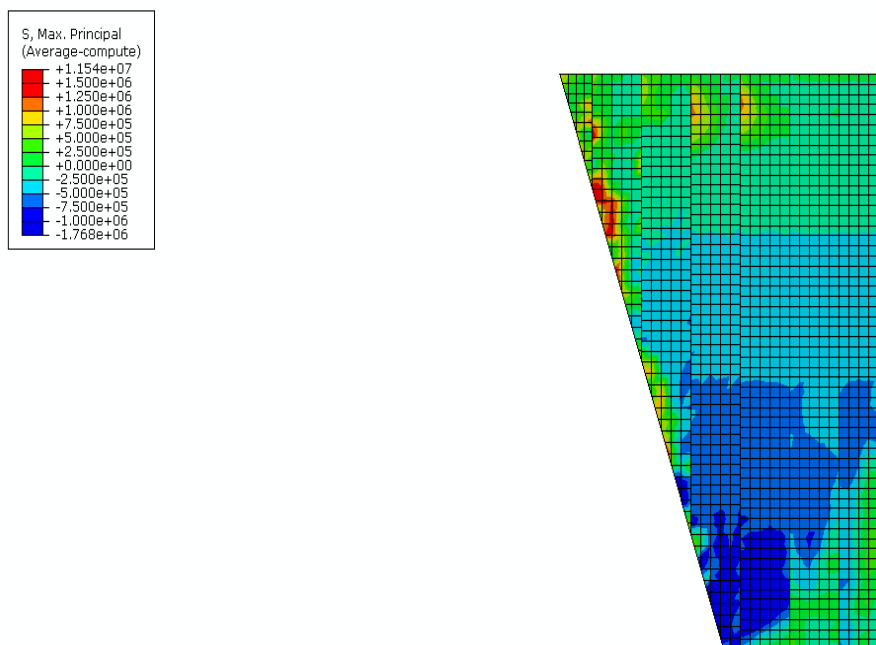
Από το Γράφημα 4 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 1). Η μορφή της καμπύλης της τάσης είναι παρόμοια για όλα τα είδη σκυροδέματος.
- 2). Από το σημείο που απέχει περίπου 60 m. από τον πόδα της πλάκας και μετά φαίνεται πως όσο αυξάνεται η αντοχή και ο οπλισμός αυξάνεται η θλιπτική τάση.

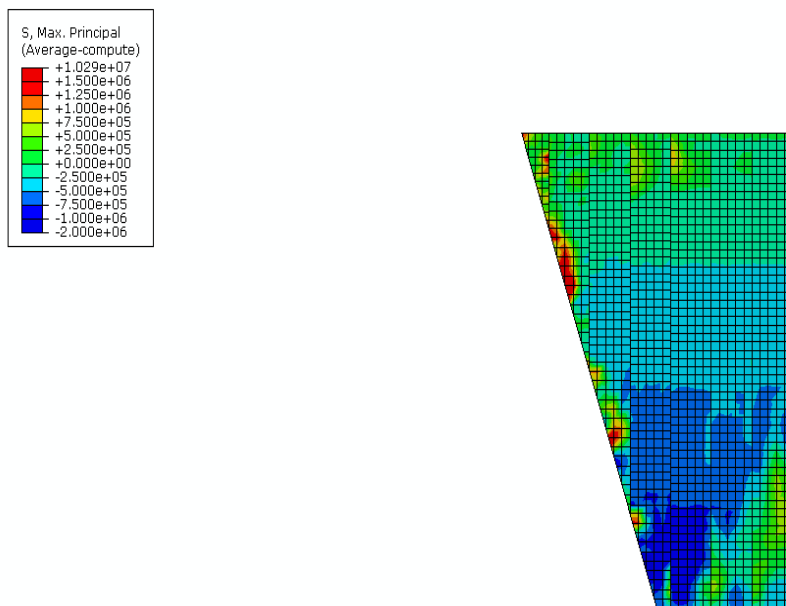
2) Μέγιστη κύρια τάση (Smax)



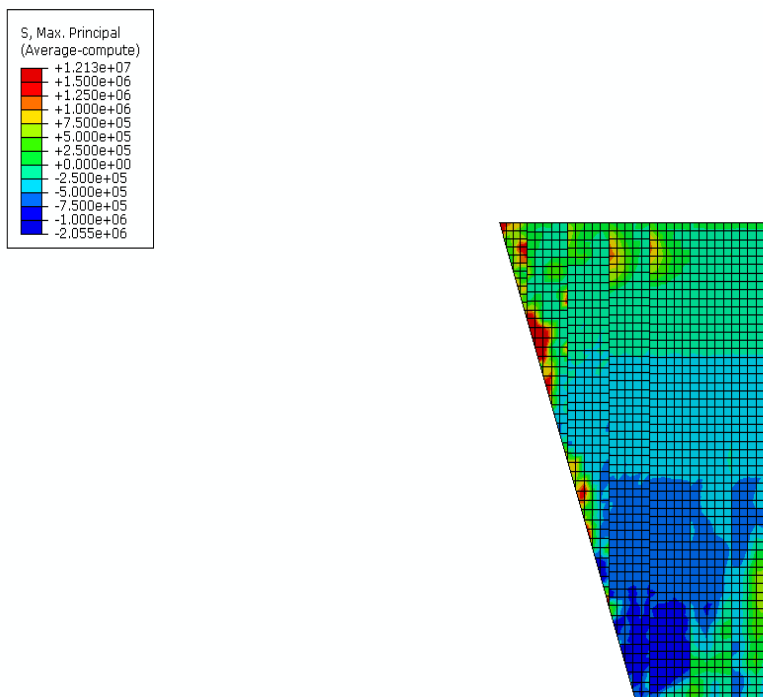
Σχήμα 71. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 72. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.

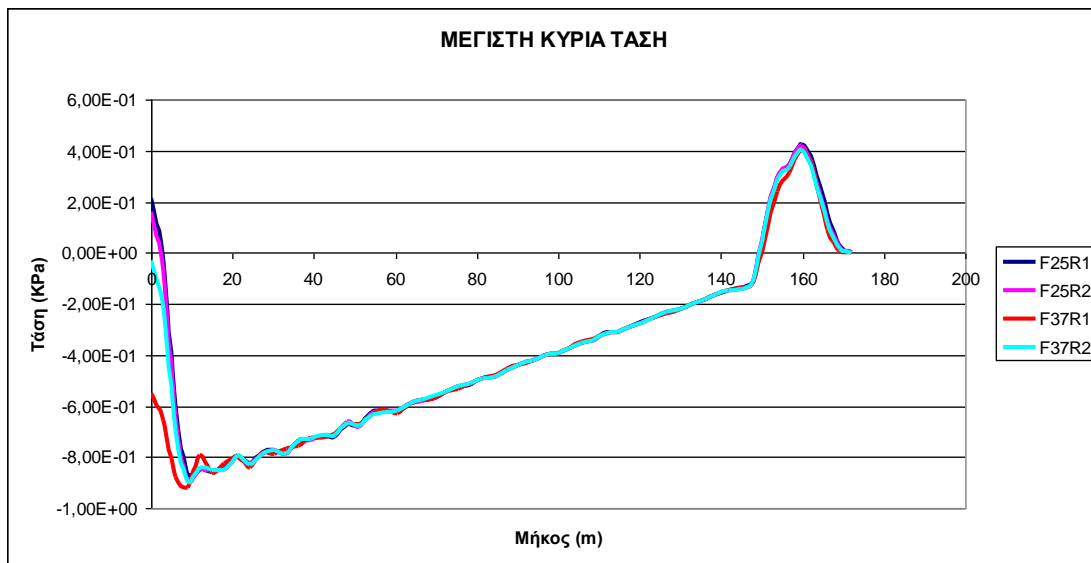


Σχήμα 73. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 74. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

Η μέγιστη κύρια τάση (σ_1) που αναπτύσσεται στην πλάκα σκυροδέματος είναι όχι μόνο θλιπτική αλλά και εφελκυστική, για όλες τις ποιότητες σκυροδέματος με τους αντίστοιχους οπλισμούς τους και έχει παρόμοια κατανομή. Στο Γράφημα 5 φαίνεται η ελάχιστη κύρια τάση στην πλάκα του σκυροδέματος για όλα τα διαφορετικής αντοχής σκυροδέματα με τους αντίστοιχους οπλισμούς, έτσι όπως αναπτύσσεται στην φέτα 5 της πλάκας.



F25R1: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 25 MPa, με οπλισμό Φ25/20.

F25R2: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 25 MPa, με οπλισμό Φ36/20.

F37R1: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 37 MPa, με οπλισμό Φ25/20.

F37R1: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 37 MPa, με οπλισμό Φ36/20.

Γράφημα 5. ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΥΡΙΑ ΤΑΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΠΕΜΠΤΗΣ ΦΕΤΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ.ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.

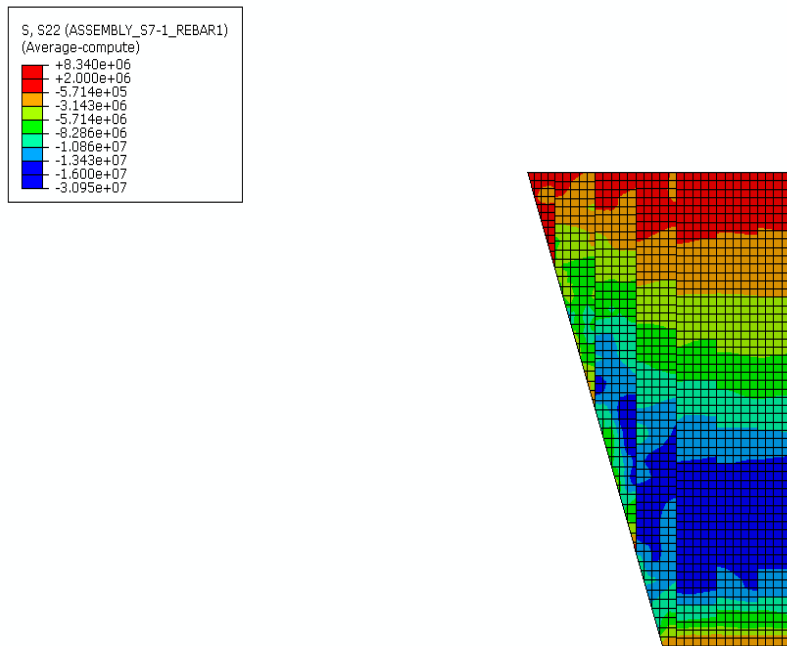
Πίνακας 8. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1Μ ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.

	Θλιπτική αντοχή 25 MPa		Θλιπτική αντοχή 37 MPa	
	Φ25/20	Φ36/20	Φ25/20	Φ36/20
Μέγιστη εφελκυστική τάση (σ_{max}) σε MPa.	0.43	0.42	0.40	0.40
Απόσταση σε m.	159.93	159.93	159.93	159.93

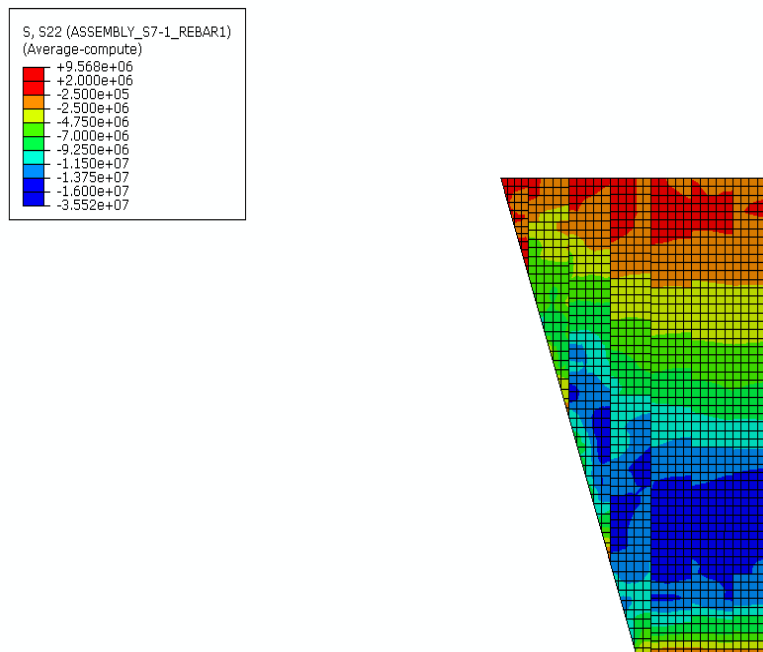
Από το Γράφημα 5 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 1). Η μορφή της καμπύλης της τάσης είναι παρόμοια για όλα τα είδη σκυροδέματος.
- 2). Από το σημείο που απέχει περίπου 61 m. από τον πόδα της πλάκας και μετά φαίνεται πως όσο αυξάνεται η αντοχή και ο οπλισμός τείνει να αυξηθεί και η μέγιστη κύρια τάση.

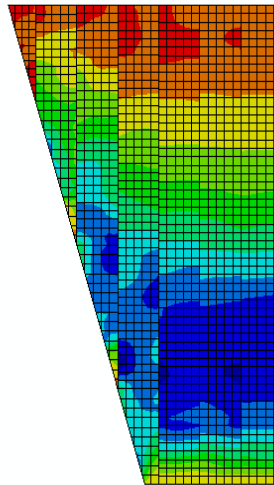
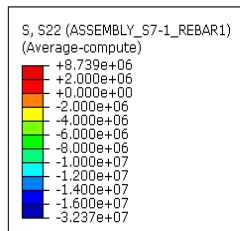
3) Ορθή κατά μήκος τάση (s22).



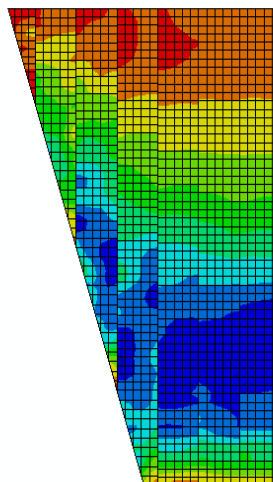
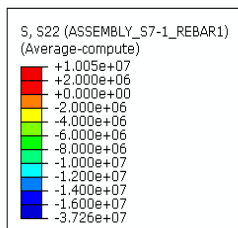
Σχήμα 75. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΑΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 76. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΑΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.



Σχήμα 77. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΑΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.

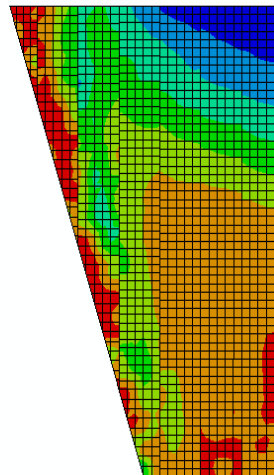
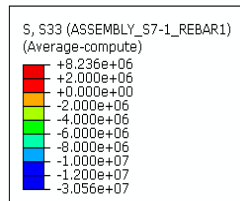


Σχήμα 78. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΑΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.

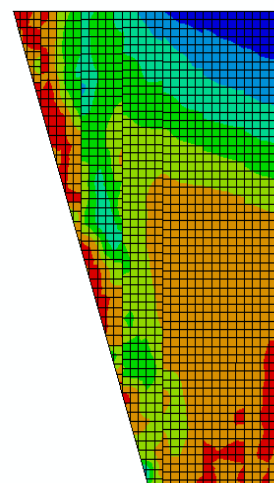
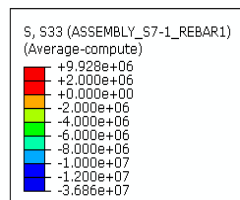
Από τα παραπάνω σχήματα φαίνεται ότι η ορθή κατά μήκος τάση δημιουργεί συμπίεσεις στο κάτω μέρος της πλάκας, όπως ακριβώς συνέβη και στο στάδιο πλήρωσης του φράγματος με

νερό.

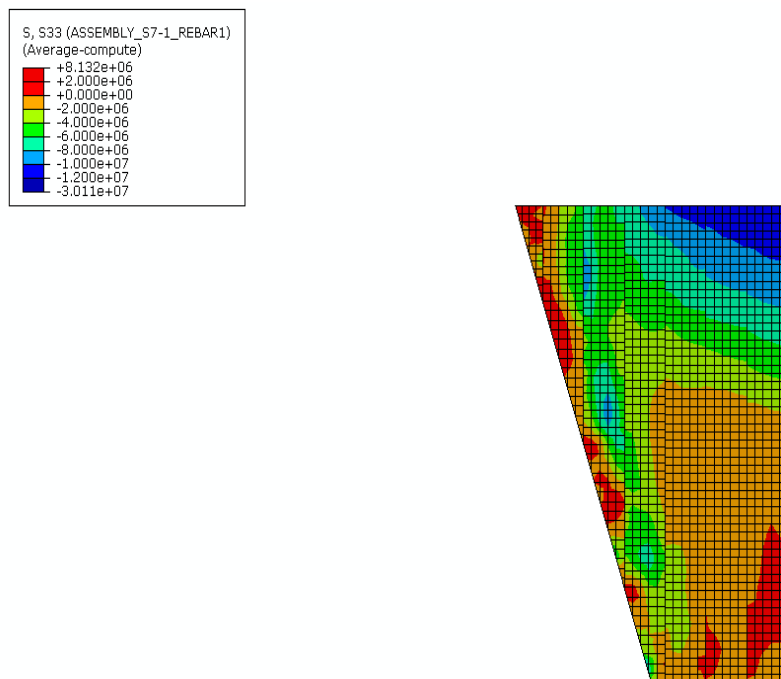
4) Οριζόντια ορθή τάση (S33)



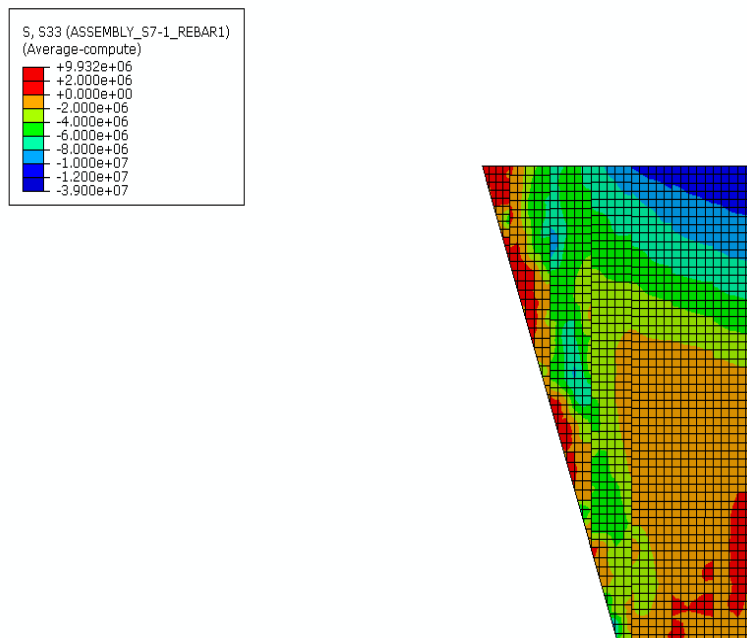
Σχήμα 79. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 80. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.



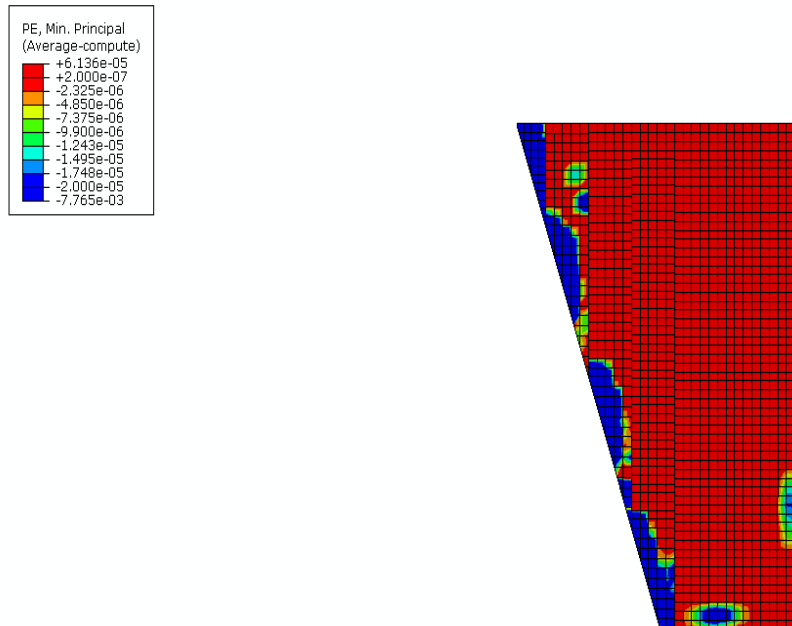
Σχήμα 81. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



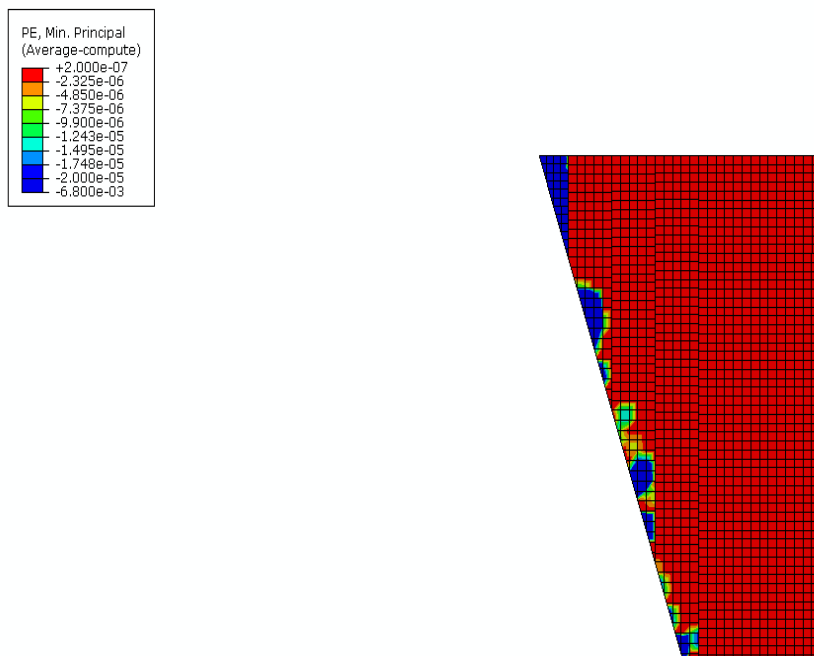
Σχήμα 82. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.

Από τα παραπάνω σχήματα φαίνεται ότι η οριζόντια ορθή τάση δημιουργεί συμπίεσεις στο πάνω μέρος της πλάκας.

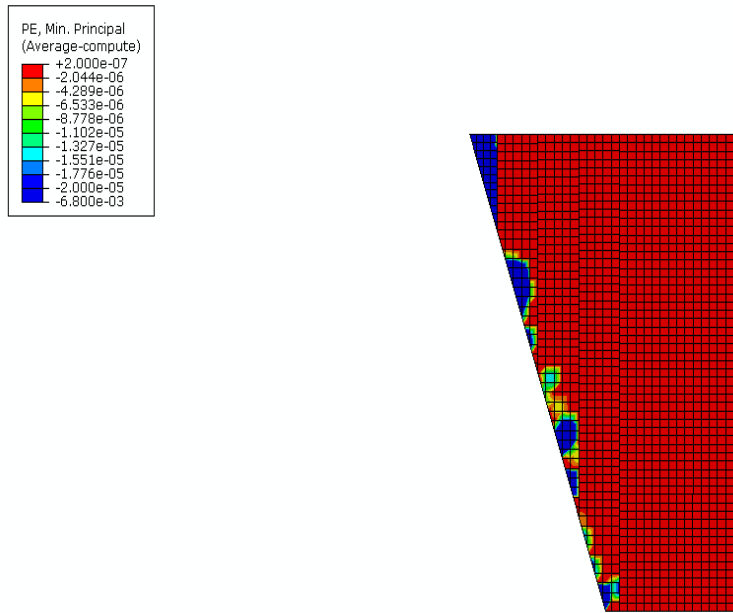
5) Πλαστική κύρια ελάχιστη παραμόρφωση.



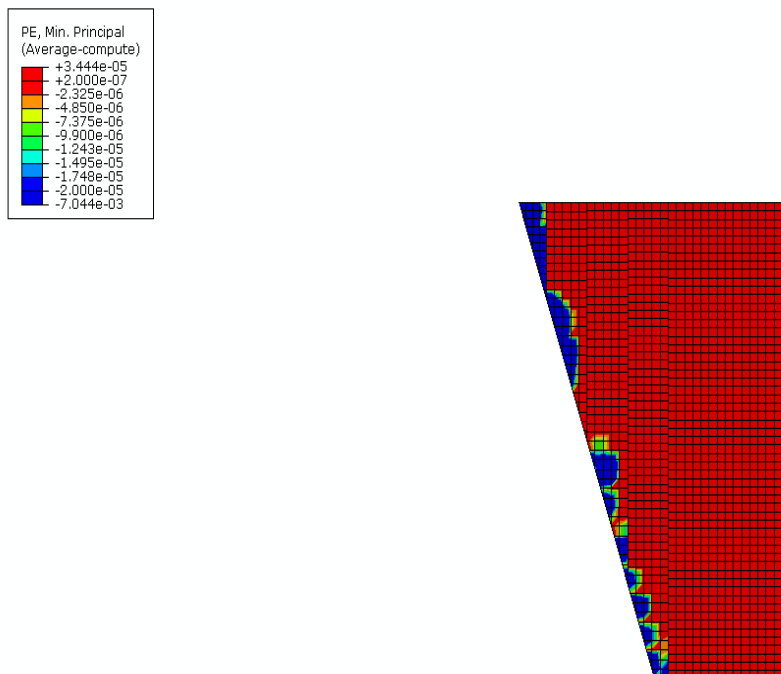
Σχήμα 83. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.



Σχήμα 84. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.

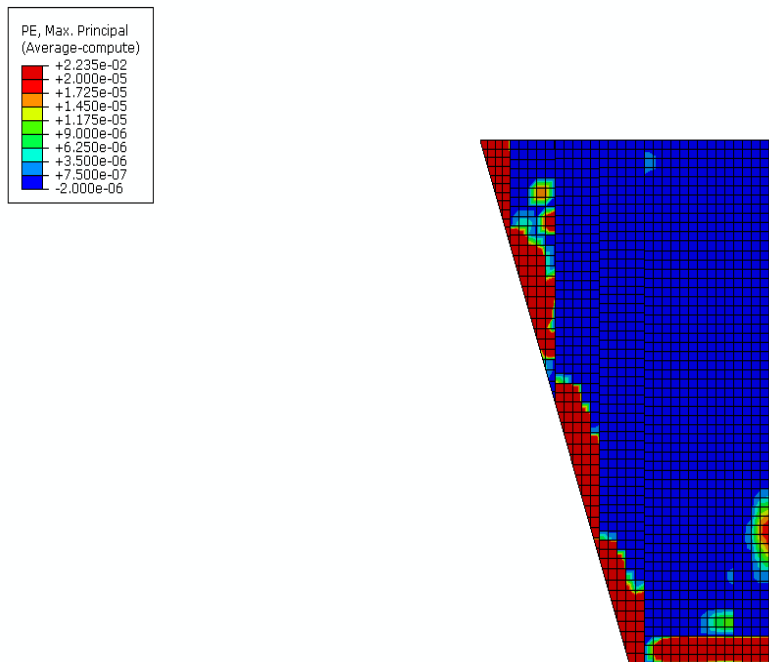


Σχήμα 85. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.

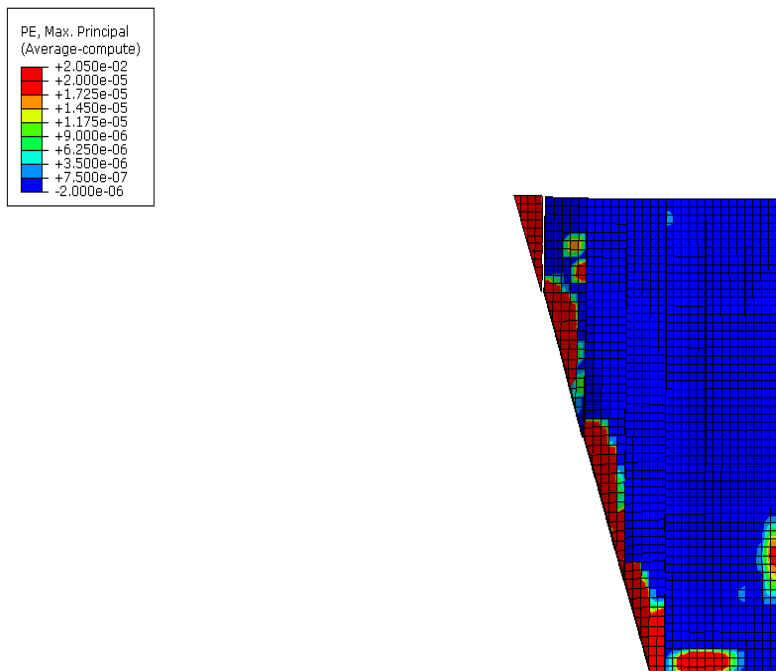


Σχήμα 86. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

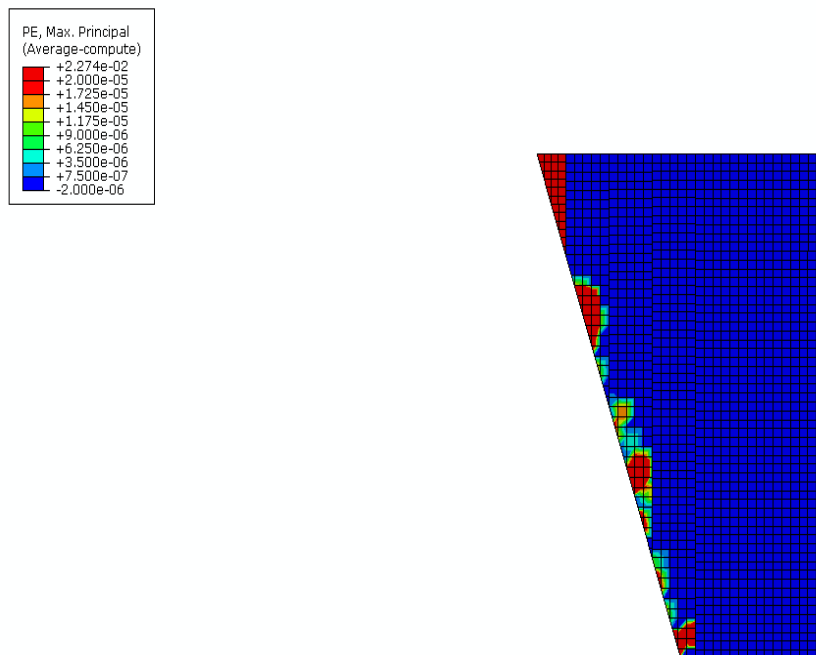
6) Πλαστική κύρια μέγιστη παραμόρφωση



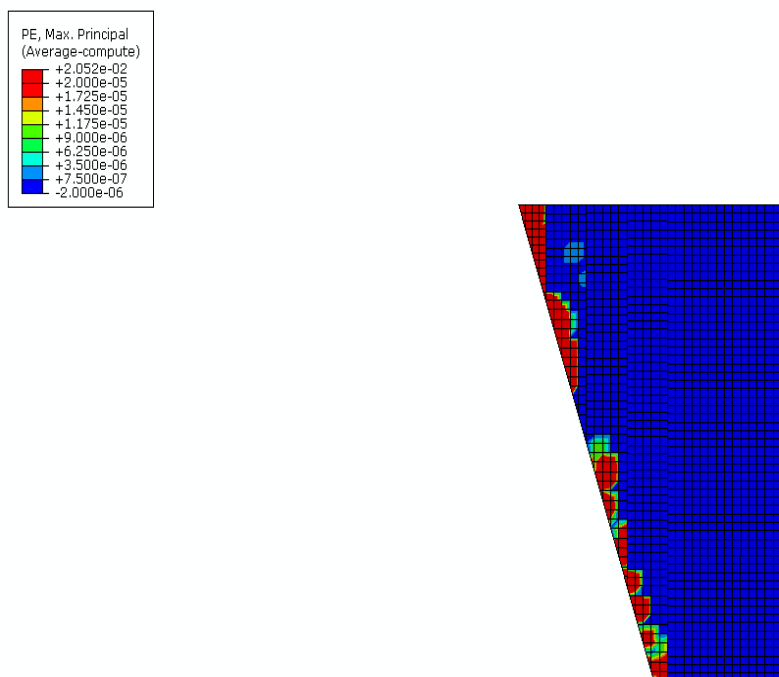
Σχήμα 87. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 88. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

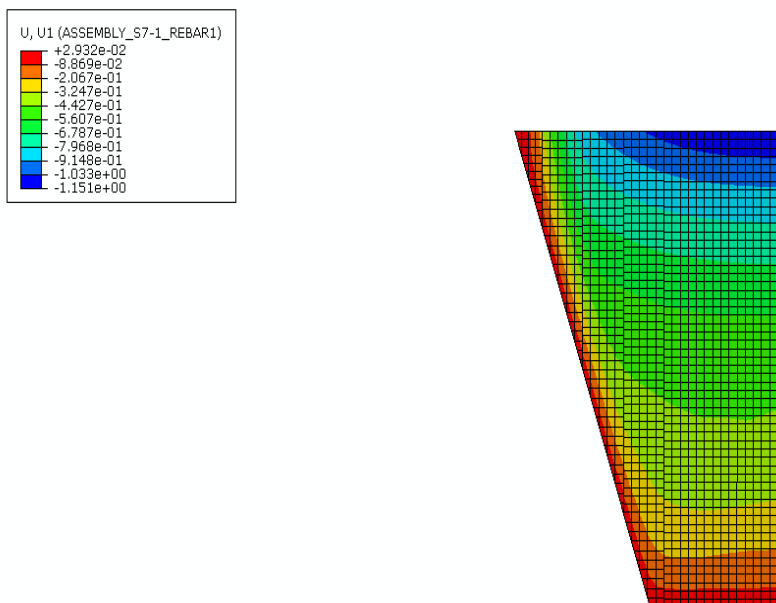


Σχήμα 89. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.

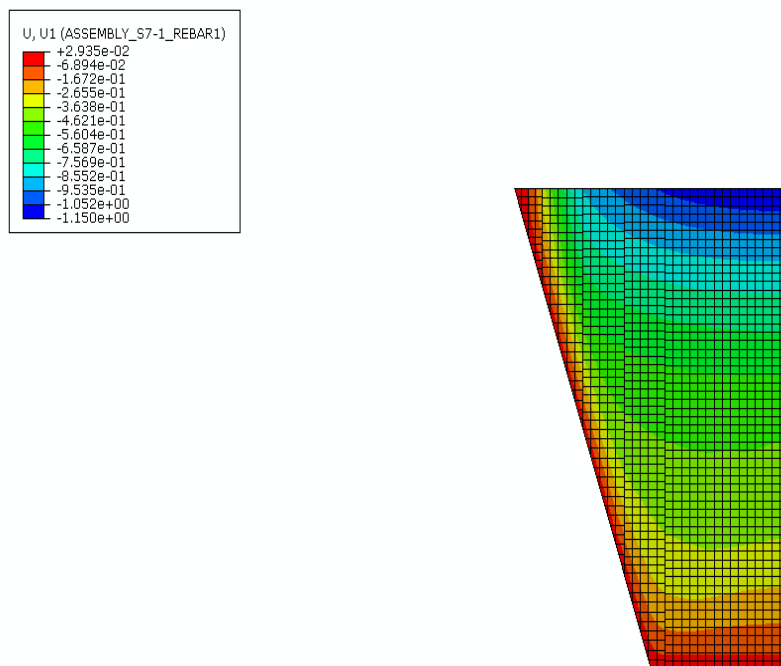


Σχήμα 90. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C37, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20

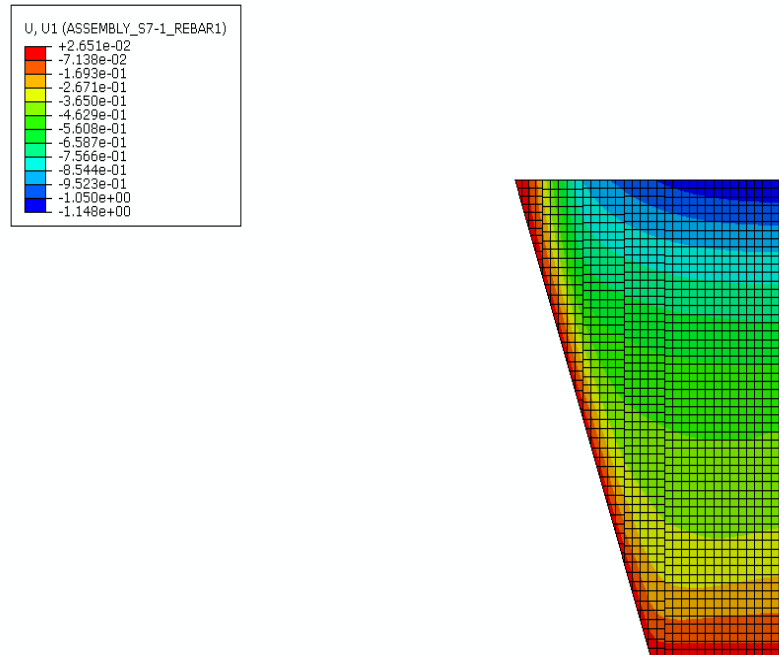
7). Κατακόρυφη Βύθιση (U1).



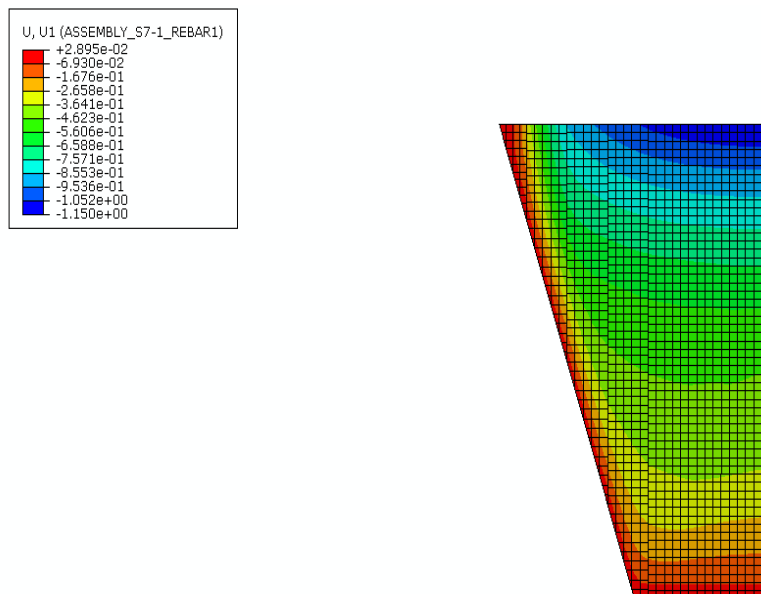
Σχήμα 91. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΑΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 92. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C25, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

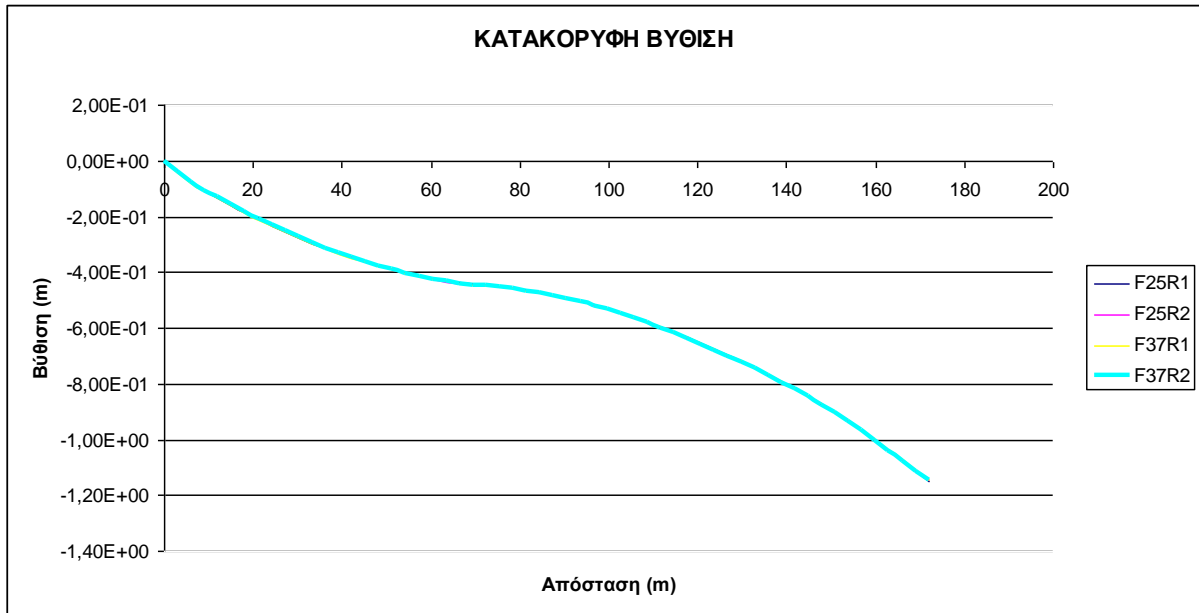


Σχήμα 93. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C375, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ25/20.



Σχήμα 94. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΒΥΘΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ. ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ C375, ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟ, ΚΑΝΟΝΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Φ36/20.

Όπως φαίνεται από τα Σχήματα 91-94 η πλάκα κυρίως θλίβεται και η μεγαλύτερη βύθιση εντοπίζεται στην πάνω παρειά της. Στο Γράφημα 6 φαίνεται η βύθιση στην πλάκα του σκυροδέματος για όλα τα διαφορετικής αντοχής σκυροδέματα με τους αντίστοιχους οπλισμούς, έτσι όπως αναπτύσσεται στην δεξιά παρειά της πλάκας (φέτα 7).



F25R1: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 25 MPa, με οπλισμό Φ25/20.

F25R2: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 25 MPa, με οπλισμό Φ36/20.

F37R1: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 37 MPa, με οπλισμό Φ25/20.

F37R2: Ινοπλισμένο σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 37 MPa, με οπλισμό Φ36/20.

Γράφημα 6. ΒΥΘΙΣΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΕΒΔΟΜΗΣ ΦΕΤΑΣ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ, ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΒΟΛΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΗΣ 1 Μ.ΣΤΗ ΣΤΕΨΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.

Από το Γράφημα 6 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 1). Η μορφή της καμπύλης της βύθισης είναι κοινή για όλα τα είδη σκυροδέματος, με τον αντίστοιχο οπλισμό τους και η μέγιστη βύθιση που παρατηρείται είναι πρακτικά όμοια και στο ίδιο σημείο.
- 2). Η μεγαλύτερη βύθιση εντοπίζεται στο πάνω τμήμα της πλάκας.

	Θλιπτική αντοχή 25 MPa		Θλιπτική αντοχή 37 MPa	
	Φ25/20	Φ36/20	Φ25/20	Φ36/20
Κατακόρυφη βύθιση σε m	-1.149	-1.148	-1.146	-1.148

Απόσταση σε m.	172.01	172.01	172.01	172.01

Πίνακας 9. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΒΥΘΙΣΗ ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.

Στην παρούσα εργασία εξετάσθηκαν ινοπλισμένα σκυροδέματα με δύο διαφορετικές αντοχές σε θλίψη (25MPa και 37MPa) και δύο διαφορετικούς οπλισμούς (Φ25/20 και Φ36/20), δηλαδή έγιναν τέσσερις διαφορετικές αναλύσεις. Επίσης, εξετάσθηκαν δύο στάδια ανάλυσης: (α) το στάδιο της πλήρωσης της λεκάνης του φράγματος με νερό μέχρι τα 98 m και (β) το στάδιο επιβολής δυναμικής καθίζησης 1 m στη στέψη του φράγματος. Απώτερος σκοπός της μελέτης είναι η διερεύνηση της ενίσχυσης της πλάκας και η αξιολόγηση της συμπεριφοράς της, ώστε να προσδιοριστεί η πιο συμφέρουσα λύση.

Η απόκριση της πλάκας του ινοπλισμένου σκυροδέματος περιγράφεται με την ελάχιστη και μέγιστη κύρια τάση, την κατακόρυφη ορθή τάση σε κατεύθυνση παράλληλη με τον επιμήκη άξονα της πλάκας, και την κατακόρυφη μετατόπιση για τις διάφορες αντοχές σκυροδέματος.

Παρατηρήθηκαν τα εξής:

- 1). Όσο αυξάνεται η αντοχή και ο οπλισμός αυξάνεται η θλιπτική τάση.
- 2). Ο μέγιστος εφελκυσμός αυξάνεται επίσης με την αύξηση της αντοχής και του οπλισμού, αλλά όχι ιδιαίτερα αισθητά.
- 3). Η αύξηση της αντοχής και του οπλισμού οδηγεί σε μείωση και όχι σε αύξηση των πλαστικών παραμορφώσεων λόγω εφελκυσμού και θλίψης. Η μείωση είναι μικρή, αλλά όχι αμελητέα.
- 4). Η ορθή κατά μήκος της πλάκας τάση δημιουργεί έντονες συμπίεσεις στο κάτω μέρος της πλάκας, ενώ η παράλληλη στον άξονα κατά μήκος της στέψης τάση δημιουργεί συμπίεσεις στη στέψη του φράγματος.
- 5). Η βύθιση της πλάκας δεν επηρεάζεται από την αύξηση ούτε της αντοχής ούτε του οπλισμού.

Συνεπώς, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το ινοπλισμένο σκυρόδεμα συντελεί στην αντοχή της πλάκας σε μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις και ρηγματώσεις, αλλά η αύξηση της αντοχής και του οπλισμού δεν οδηγεί απαραίτητα σε καλύτερη απόκριση, και είναι ίσως μόνο σκόπιμη στην περίπτωση που απαιτείται η αύξηση του συντελεστή ασφαλείας έναντι θλιπτικής αστοχίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ι.Θανόπουλος, Κ.Αναστασόπουλος.** «Λιθόρριπτα Φράγματα με ανάντη πλάκα σκυροδέματος: Εμπειρίες από το Θεσσαλικό χώρο και σύγχρονη τεχνολογία».
- Π. Ντακούλας, Γ. Θανόπουλος, Κ. Αναστασόπουλος (2008)** « Μη γραμμική 3Δ προσομοίωση της σταδιακής κατασκευής και πλήρωσης του Φράγματος Μεσοχώρας», 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φραγμάτων, ΤΕΕ, Λάρισα 2008, 315-327 .
- Ντακούλας Π. (2010)** « Επίδραση Διαμήκουσ Σεισμικής Διέγερσης στην Συμπεριφορά της Ανάντη Πλάκας Σκυροδέματος Λιθόρριπτων Φραγμάτων », 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Βόλος, Οκτ. 2010 .
- Ντακούλας, Π., (2010)** « Επίδραση της δυσκαμψίας της λιθορριπής στην συμπεριφορά φραγμάτων με ανάντη πλάκα σκυροδέματος », 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Βόλος, Οκτ. 2010.
- Πανταζοπούλου Σ. (2001).** «Εισαγωγή στον Σχεδιασμό Στοιχείων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Οριακών Καταστάσεων». Εκδόσεις Εταιρεία αξιοποίησης και διαχείρισης περιουσίας Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης Ξάνθη.
- Δήμητρα Β. Σουλιώτη, Θεόδωρος Ε. Ματίκας (2009)** « Επίδραση των Χαλύβδινων Ινών στις Μηχανικές Ιδιότητες του Ινοπλισμένου Σκυροδέματος, 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Πάφος, Κύπρος.
- A. M. Alhozaimy, P. Soroushiad, F. Mirza (1996)** « Cement and Concrete Composites », Vol. 34, 85 – 92.
- Demeke A., Tegos I. A., (1994).** “Steel fiber reinforced concrete in biaxial stress tension-compression conditions”, ACI Structural Journal, V. 91, No. 5, Sept.-Oct., pp. 579-584.
- Duncan J. M. and C. Y. Chang, (1970)** « Nonlinear analysis of stress and strain in soils », J. of Soil Mech. And Found. Engineering, ASCE, 96(5), 1629-1653.
- Francesco Bencardino, Lidia Rizzuti, Giuseppe Spadea, Ramnath N. Swamy (2008)** « Stress – Strain Behavior of Steel Fiber – Reinforced Concrete in Compression », Journal of Materials in Civil Engineering ASCE, Vol. 20, No. 3, 255–263.
- Jeeho Lee, Gregory L. Fenves (1998)** « A plastic-damage concrete model for earthquake analysis of dams » Earthquake Engineering and Structural Dynamics 27, 937 – 956.
- Kupher H., Hilsdorf H. K., Rusch H., (1969).** “Behaviour of concrete under biaxial stresses” ACI Journal, Proceedings, V. 66, No. 8, Aug., pp. 656-666.
- M.C. Nataraja, N. Dhang, A.P. Gupta (1999)** « Stress – strain curves for steel – fiber reinforced concrete under compression », Cement & Concrete Composites, 21, 383 – 390.
- Mohamed S. Issa, Ibrahim M. Metwally, Sherif M. Elzeiny (2011)** « Influence of fibers on flexural behavior and ductility of concrete beams reinforced with GFRP rebars », Engineering Structures, 33, 1754 – 1763.

Norihiko Kurihara, Minoru Kunieda, Toshiro Kamada, Yuichi Uchida, Keitetsu Rokugo (2000) « Tension softening diagrams and evaluation of properties of steel fiber reinforced concrete » *Engineering Fracture Mechanics*, 65, 235 – 245.

Payman Ameen, Mikael Szymanski (2006) «Fatigue in Plain Concrete», Master's Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2006 : 5.

R. D. Neves and J. C. O. Fernandes de Almeida (2005) « Compressive behavior of steel fibre reinforced concrete », *Structural Concrete*, 6, No 1, 1 – 8.

Traina L. A., Mansour S. A. (1991). “Biaxial strength and deformational behavior of plain and steel fiber concrete”, *ACI Materials Journal*, V. 88, No. 4, July-Aug., pp. 354-362.

Traina L. A., Mansour S. A., (1990). “Discussion on ‘Biaxial tests of plain and fiber concrete’ by Yin W. S., Su E. C. M., Mansur M. A. and Hsu T. T. C.”, *ACI Materials Journal*, V. 87, No. 2, Mar.-April, pp. 179-180.

Yin W. S., Su E. C. M., Mansur M. A. and Hsu T. T. C., (1989). “Biaxial tests of plain and fiber concrete”, *ACI Materials Journal*, V. 86, No. 3, May-June, pp. 236-243.

ABAQUS (2011) : Users' Manual, Version 6.7, Simulia, Providence, RI, USA.