

3.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΕ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΑ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

3.2.1 Συντελεστές Μονολιθικότητας

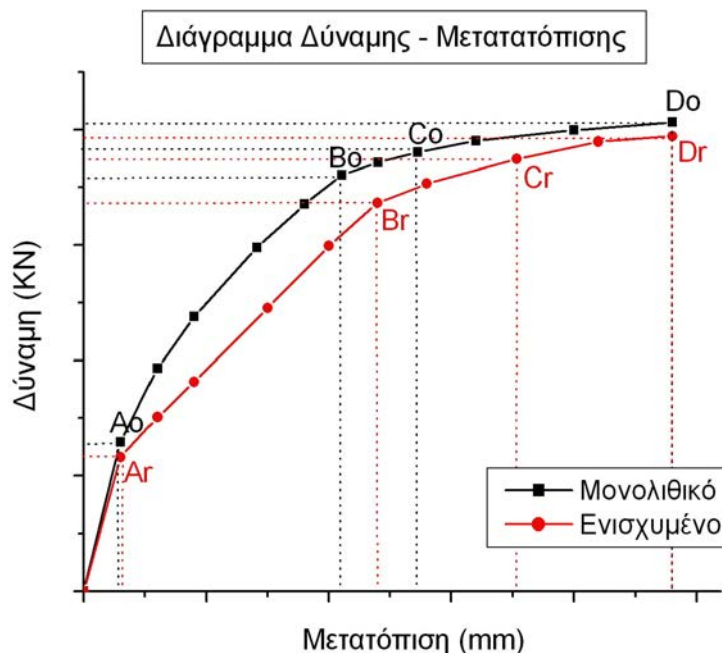
Είναι προφανές ότι οι υπολογισμοί που απαιτούνται για την εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών των ενισχυμένων στοιχείων απαιτούν πολύ περισσότερο υπολογιστικό χρόνο απ' ό τι τα μονολιθικά στοιχεία και περισσότερα δεδομένα. Συγχρόνως υπάρχει παντελής έλλειψη ενός αξιόπιστου λογισμικού, που θα μπορούσε να ανταποκριθεί στις αναλυτικές απαιτήσεις που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους για τα ενισχυμένα στοιχεία. Ως εκ τούτου, για την διευκόλυνση του υπολογιστικού αντικειμένου του μελετητή, θα ήταν υπερβολικά χρήσιμο αν, εκ των προτέρων, ήταν γνωστή η σχέση των μηχανικών χαρακτηριστικών, ενός ενισχυμένου στοιχείου με τα χαρακτηριστικά ενός αντίστοιχου μονολιθικού. Η ανάγκη αυτή έχει αναγνωρισθεί εδώ και αρκετά χρόνια (Bul. 162, 1982) και η διέξοδος που φαίνεται να υιοθετείται και σε σύγχρονα κείμενα (EC8, Part 3) είναι μέσω των λεγόμενων «συντελεστών μονολιθικότητας».

- Συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας:
 $K_k = \text{Δυσκαμψία σύνθετης διατομής} / \text{Δυσκαμψία μονολιθικής διατομής}$
- Συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής:
 $K_r = \text{Αντοχή σύνθετης διατομής} / \text{Αντοχή μονολιθικής διατομής}$
- Συντελεστής μονολιθικότητας μετατόπισης:
 $K_d = \text{Μετατόπιση σύνθετης διατομής} / \text{Μετατόπιση μονολιθικής διατομής}$

Οι συντελεστές υπολογίζονται σε τέσσερις φάσεις φόρτισης:

1. το σημείο όπου πρωτοεμφανίζονται ρωγμές στον μανδύα του δοκιμίου,
2. το σημείο όπου παρατηρείται η πρώτη διαρροή χάλυβα στον μανδύα του δοκιμίου
3. το σημείο όπου ο μανδύας των δοκιμίων έχει θλιπτική παραμόρφωση $\epsilon_c=0,004$ και
4. το σημείο όπου η επιβληθείσα μετατόπιση στα δοκίμια αντιστοιχεί σε σχετική μετατόπιση ορόφου = 3%.

Το Σχήμα 3.2.1 παρουσιάζει τα διαγράμματα δύναμης - μετατόπισης μιας εφαρμογής ενισχυμένου δοκιμίου και του αντίστοιχου του μονολιθικού.



Σχήμα 3.2.1: Διάγραμμα δύναμης - μετατόπισης ενισχυμένου και μονολιθικού υποστυλώματος

Τα σημεία A_0 , B_0 , C_0 , D_0 και A_r , B_r , C_r , D_r αντιστοιχούν στο μονολιθικό και στο ενισχυμένο υποστυλόμετρο αντίστοιχα.

- A_0 και A_r είναι τα σημεία όπου πρωτοεμφανίζονται ρωγμές στον μανδύα του μονολιθικού και του ενισχυμένου δοκιμίου αντίστοιχα,
- B_0 και B_r είναι τα σημεία όπου παρατηρείται η πρώτη διαρροή σε στοιχείο του χάλυβα στον μανδύα του μονολιθικού και του ενισχυμένου δοκιμίου αντίστοιχα,
- C_0 και C_r είναι τα σημεία όπου η επικάλυψη στον μανδύα έχει θλιπτική παραμόρφωση $\epsilon_c=0,004$ στο μονολιθικό και στο ενισχυμένο δοκίμιο αντίστοιχα,
- D_0 και D_r είναι τα σημεία όπου η επιβληθείσα μετατόπιση στα δοκίμια αντιστοιχεί σε Σχετική Μετατόπιση Ορόφου = 3%.

3.2.2 Αναλυτική Διερεύνηση με Χρήση του Προγράμματος ANSYS

Είναι προφανές ότι η σχέση των μηχανικών χαρακτηριστικών ενός ενισχυμένου στοιχείου με τα αντίστοιχα του μονολιθικού (και κατά συνέπεια οι σχετικές τιμές των συντελεστών μονολιθικότητας), θα εξαρτάται από πολλές παραμέτρους που επηρεάζουν την συμπεριφορά του σύνθετου μέλους. Ως κυριότερες μπορούν να επισημανθούν:

- α) Τα χαρακτηριστικά των διεπιφανειών παλαιού-νέου σκυροδέματος.

β) Το μέγεθος του αξονικού φορτίου.

γ) Η ποιότητα των υλικών.

Στην συνέχεια γίνεται μια προσπάθεια να διερευνηθεί η επιρροή των παραπάνω παραμέτρων για την περίπτωση υποστυλωμάτων ενισχυμένων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ANSYS.

Οι Δυνατότητες του Προγράμματος Πεπερασμένων Στοιχείων ANSYS

Το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ANSYS έχει πολλαπλές δυνατότητες στην επίλυση διαφόρων προβλημάτων. Οι δυνατότητες του αυτές συνέχισαν να διερευνούνται καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Πολύ σημαντικές δυνατότητες του προγράμματος που μπορούν να αναφερθούν είναι:

- Η επίλυση μη γραμμικών προβλημάτων
- Η δυνατότητα προσομοίωσης διεπιφανειών σύνδεσης υλικών και ο καθορισμός των ιδιοτήτων της διεπιφάνειας

Ωστόσο το πρόγραμμα έχει μια αδυναμία η οποία στάθηκε εμπόδιο στην πιο ολοκληρωμένη διερεύνηση των προβλημάτων που επιλύθηκαν. Αυτή είναι η αδυναμία του προγράμματος να προσομοιώνει τον φθίνοντα κλάδο στο διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων των μη γραμμικών υλικών. Αποτέλεσμα αυτού είναι η γέννηση του ερωτήματος "σε ποιο σημείο θα σταματά η ανάλυση ενός δοκιμίου;" Το ερώτημα αυτό επιχειρήθηκε να απαντηθεί με διάφορες εναλλακτικές δοκιμές στην παρούσα εργασία, χωρίς όμως κάποια από αυτή να έχει κριθεί ως η απόλυτα αξιόπιστη. Για το λόγο αυτό δίνεται μεγαλύτερη σημασία στα αρχικά αποτελέσματα των αναλύσεων και έως το σημείο όπου το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων του σκυροδέματος έχει τη μέγιστή του τιμή.

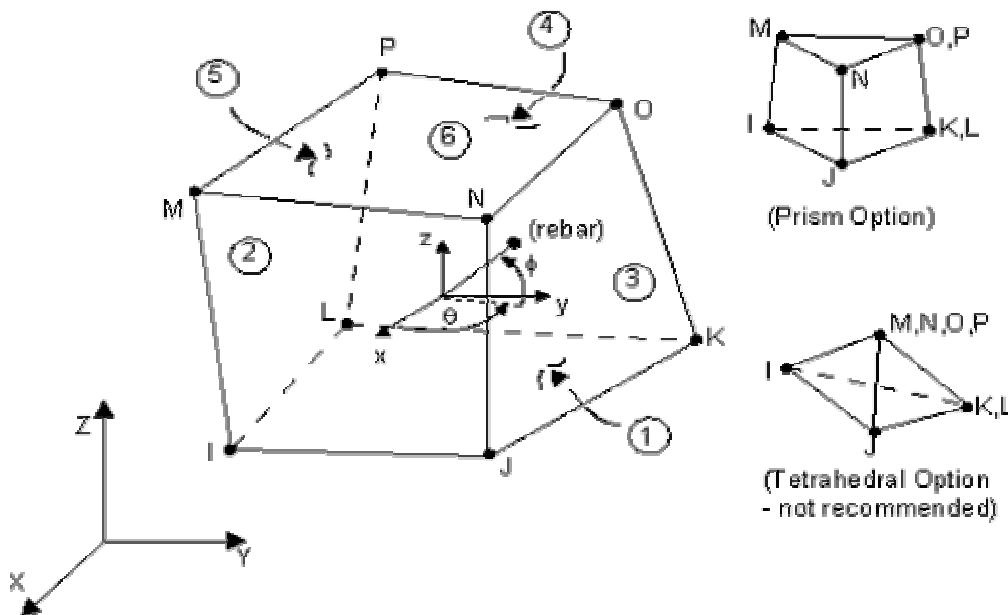
Τύποι Πεπερασμένων Στοιχείων

Στα προβλήματα που επιλύθηκαν στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις τύποι πεπερασμένων στοιχείων από το σύνολο των στοιχείων που παρέχονται από το πρόγραμμα ANSYS.

Στοιχείο SOLID 65

Το στοιχείο SOLID 65 (Σχήμα 3.2.2) χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την διακριτοποίηση τρισδιάστατων στοιχείων σκυροδέματος. Έχει την δυνατότητα να περιλαμβάνει ράβδους οπλισμού σε τρεις τυχαίες διαφορετικές διευθύνσεις. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα ρηγμάτωσης του σκυροδέματος (cracking) λόγω εφελκυστικών και αντίστοιχα θραύσης (crushing) λόγω θλιπτικών φορτίων. Η συμπεριφορά των υλικών (σκυροδέματος και χάλυβα) μπορεί να είναι μη γραμμική. Για το σκυρόδεμα μπορούν επιπλέον να ληφθούν

υπόψη, εκτός από την ρηγμάτωση και την θραύση, και οι πλαστικές παραμορφώσεις καθώς και οι παραμορφώσεις λόγω ερπυσμού. Ο χάλυβας μπορεί να παραλαμβάνει αξονικά φορτία (θλιπτικά ή εφελκυστικά), όχι όμως διατμητικά και να παραμορφώνεται πλαστικά.



Σχήμα 3.2.2: Στοιχείο ενισχυμένου σκυροδέματος SOLID 65

Προϋποθέσεις - Περιορισμοί

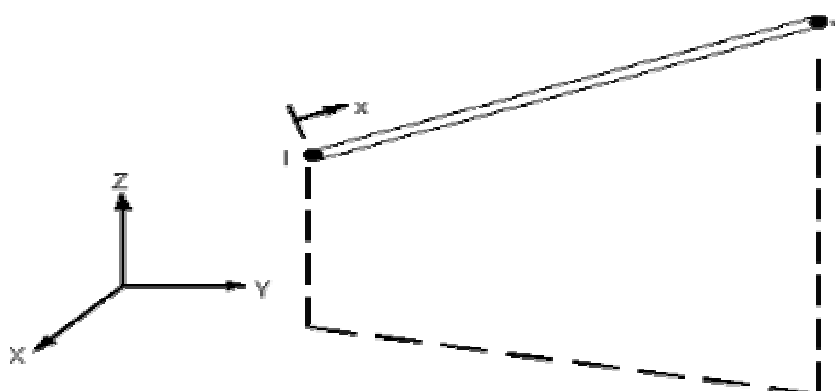
1. Επιτρέπει ρηγμάτωση σε τρεις διαφορετικές διευθύνσεις σε κάθε σημείο ολοκλήρωσης (κόμβο). Εφαρμόζεται το κριτήριο William-Warnke.
2. Αν μια ρωγμή δημιουργηθεί σε κάποιον κόμβο, αυτή μοντελοποιείται με την εξασθένηση των ιδιοτήτων του υλικού του συγκεκριμένου στοιχείου και στη συγκεκριμένη διεύθυνση.
3. Το σκυρόδεμα θεωρείται αρχικά ισότροπο (πριν τη ρηγμάτωση)
4. Οι ράβδοι ενίσχυσης μοντελοποιούνται με προσαρμογή των ιδιοτήτων του ενισχυμένου στοιχείου.
5. Επιπλέον τα στοιχεία μπορούν να παραλάβουν και πλαστικές παραμορφώσεις χρησιμοποιώντας το κριτήριο Drucker-Prager.
6. Οι ράβδοι ενίσχυσης δεν παραλαμβάνουν διατμητικά φορτία. Χρειάζεται προσοχή όταν έχουμε ρηγμάτωση ή θρυμματισμό καθώς οι ράβδοι ενίσχυσης δεν παραλαμβάνουν τα διατμητικά φορτία που παραλάμβανε το σκυρόδεμα πριν τη ρηγμάτωση.
7. Όταν χρησιμοποιείται το κριτήριο Concrete (William-Warnke) στο ANSYS θεωρείται ότι μετά τη ρηγμάτωση σε ένα στοιχείο οι τάσεις σε αυτό στη διεύθυνση κάθετα στη διεύθυνση της ρωγμής μηδενίζονται.

Αντίθετα στο κριτήριο Drucker-Prager το υλικό θεωρείται απόλυτα πλαστικό μετά τη διαρροή.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πρισματικά εξάεδρα με 8 κόμβους και 3 ελευθερίες μετακινήσεως ανά κόμβο. Θεωρήθηκε ότι τα στοιχεία αυτά δεν περιελάμβαναν και τον διαμήκη οπλισμό. Για λόγους μεγαλύτερης ακρίβειας οι ράβδοι του διαμήκους οπλισμού διακριτοποιήθηκαν με διαφορετικού τύπου στοιχεία. Χρησιμοποιήθηκε επίσης το κριτήριο Concrete.

Στοιχείο LINK 8

Για την προσομοίωση των ράβδων του διαμήκους οπλισμού χρησιμοποιήθηκε το στοιχείο LINK 8. Γενικά το στοιχείο LINK 8 (Σχήμα 3.2.3) χρησιμοποιείται για την διακριτοποίηση γραμμικών στοιχείων που παραλαμβάνουν μόνο αξονικά φορτία, όπως μέλη δικτυωμάτων, ράβδοι, καλώδια, στοιχεία μηχανών κ.α. Έχει την δυνατότητα να δέχεται πλαστικές παραμορφώσεις, καθώς και παραμορφώσεις λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, ερπυσμού και άλλων παραγόντων. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα επιβολής δύναμης προέντασης ή αντίστοιχα αρχικής παραμόρφωσης.



Σχήμα 3.2.3: Στοιχείο τρισδιάστατης ράβδου LINK 8

Το στοιχείο ορίζεται από δύο κόμβους, το εμβαδό διατομής του, την αρχική παραμόρφωση και τις ιδότητες του υλικού το οποίο αντιπροσωπεύει. Οι ιδιότητες αυτές είναι το μέτρο ελαστικότητας, η πυκνότητα, ο συντελεστής θερμικής διαστολής και ο λόγος Poisson. Η θερμοκρασία μπορεί να υπολογιστεί ως ίδιο βάρος στους κόμβους.

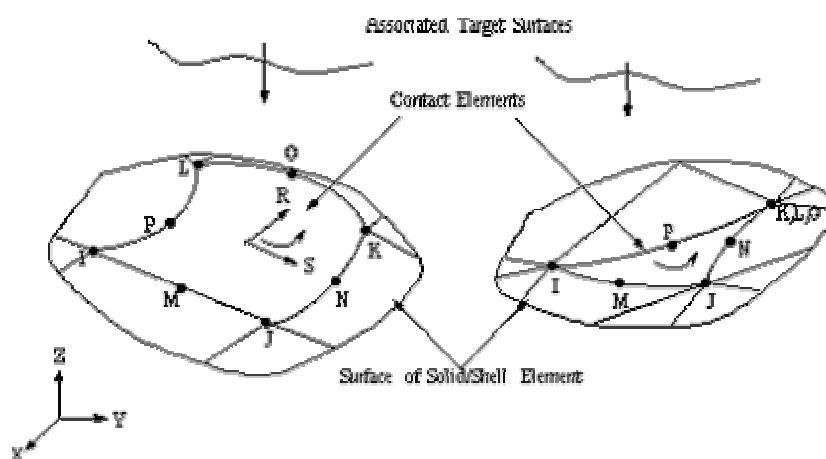
Μετά την επίλυση ενός προβλήματος τα αποτελέσματα που μπορούμε να πάρουμε για το στοιχείο αυτό είναι τα ακόλουθα: την αξονική τάση, την αξονική ελαστική παραμόρφωση, την αξονική πλαστική παραμόρφωση, την αξονική αρχική παραμόρφωση, την ισοδύναμη τάση από το διάγραμμα τάσης-

παραμόρφωσης, την ισοδύναμη πλαστική παραμόρφωση, την ερπυστική παραμόρφωση και παραμορφώσεις λόγω διόγκωσης.

Μη γραμμική επίλυση προβλήματος μπορεί να γίνει μόνο όταν το στοιχείο αντιπροσωπεύει μη γραμμικό υλικό.

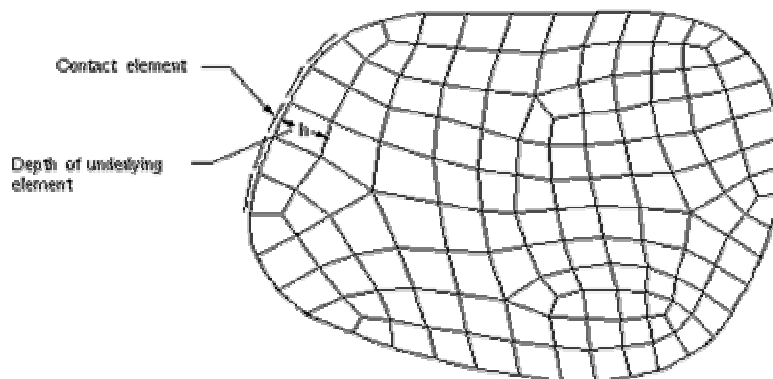
Στοιχείο CONTA 174

Το στοιχείο CONTA 174 (Σχήμα 3.2.4) χρησιμοποιείται για να την προσομοίωση της επαφής και της σχετικής ολίσθησης μεταξύ δύο παραμορφώσιμων επιφανειών.



Σχήμα 3.2.4: Στοιχείο CONTA 174

Το στοιχείο έχει 6 ή 8 κόμβους, ανάλογα με την μορφή των πεπερασμένων στοιχείων στα οποία έχουν διακριτοποιηθεί τα δύο προς επαφή μέλη. Κάθε κόμβος έχει 3 ελευθερίες κίνησης. Στην ουσία το στοιχείο αυτό, αφού γίνει η αρχική διακριτοποίηση του μέλους, τοποθετείται ("επικολλάται") στα συννοριακά του στοιχεία (δηλαδή στην προς επαφή επιφάνεια) όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.5.



Σχήμα 3.2.5: Διακριτοποίηση επιφάνειας μέλους προς επαφή

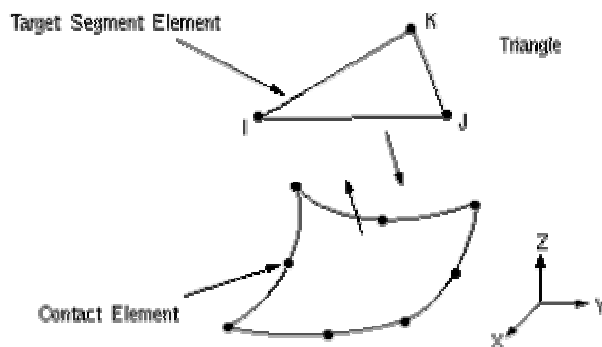
Για να προσομοιωθεί η επαφή χρειάζεται να οριστούν οι δύο επιφάνειες σύνδεσης: η "contact surface" και η "target surface" και στην συνέχεια να διακριτοποιηθούν με αντίστοιχου τύπου στοιχεία.

Στην περίπτωση επαφής τύπου "rigid to flexible" σαν "target surface" ορίζεται πάντα η επιφάνεια του δύσκαμπτου μέλους. Όταν όμως το πρόβλημα επαφής ανήκει στην κατηγορία "flexible to flexible", όπως στην συγκεκριμένη περίπτωση, είναι δύσκολο να καθοριστεί ποια είναι η "target" και ποια η "contact surface". Στην συγκεκριμένη περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη τις σχετικές οδηγίες χρήσης του προγράμματος, θεωρήθηκε ότι η "contact surface" ήταν αυτή του υποστυλώματος και η "target surface" αυτή του μανδύα και ως εκ τούτου τα στοιχεία τύπου CONTA 174 χρησιμοποιήθηκαν για την επιφάνεια του υποστυλώματος.

Γενικά δεν είναι απαραίτητο τα στοιχεία τύπου CONTA 174 να έχουν ακριβώς το ίδιο σχήμα με τα στοιχεία της επιφάνειας πάνω στα οποία τοποθετούνται. Στην συγκεκριμένη όμως αναλυτική διερεύνηση, η διακριτοποίηση του αρχικού υποστυλώματος και του μανδύα έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτουν ακριβώς ίδιες διαστάσεις στοιχείων τόσο για το υποστυλωμα και τον μανδύα (με στοιχεία τύπου SOLID 65), όσο και για τις επιφάνειες επαφής (με στοιχεία CONTA 174 και TARGE 170 αντίστοιχα). Αυτό έγινε διότι θεωρήθηκε πολύπλοκο και χρονοβόρο να γίνει ο καθορισμός επαφών μεταξύ στοιχείων διαφορετικών διαστάσεων.

Στοιχείο TARGE 170

Τα στοιχεία αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση επιφανειών σύνδεσης (target surfaces). Η χρήση τους είναι αντίστοιχη με αυτή των στοιχείων τύπου CONTA 174 της "contact surface". Τα στοιχεία TARGE 170 (Σχήμα 3.2.6) της "target surface" συνδέονται με τα στοιχεία τύπου CONTA 174 της "contact surface" ώστε να σχηματιστούν τα ζεύγη επαφής (contact pairs) για να προσομοιωθεί η διεπιφάνεια.



Σχήμα 3.2.6: Στοιχείο TARGE 170

Η αντιστοιχία μεταξύ των στοιχείων επαφής TARGE 170 και CONTA 174 είναι ένα προς ένα. Το στοιχείο έχει 6 ή 8 κόμβους (αντίστοιχους με του CONTA 174) και 3 ελευθερίες κίνησης ανά κόμβο. Όταν η "target surface" είναι δύσκαμπτη (rigid) τότε κάθε κόμβος του στοιχείου μπορεί να έχει 6 βαθμούς ελευθερίας.

3.2.3 Παραμετρική Διερεύνηση Συμπεριφοράς Ενισχυμένων Υποστυλωμάτων

Σε υποστύλωμα διατομής 250X250mm θεωρείται ότι κατασκευάζεται ολικός μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος και στη συνέχεια μεταβάλλονται κρίσιμες παράμετροι που επηρεάζουν τα μηχανικά του χαρακτηριστικά. Για κάθε περίπτωση ενισχυμένου δοκιμίου εισάγονται αποτελέσματα και για το αντίστοιχο μονολιθικό του με σκοπό να προκύψουν συντελεστές μονολιθικότητας και να φανεί η επιρροή κάθε μεταβλητής παραμέτρου.

Το αρχικό υποστύλωμα έχει εμβαδόν $A_1=0,0625\text{m}^2$. Κατασκευάστηκαν μανδύες με τέσσερα διαφορετικά πάχη, με εμβαδόν A_2 , όπως δείχνει ο πίνακας 3.2.1.

Πάχος μανδύα (mm)	A_2 (m ²)	A_2/A_1
50	0,06	0,96
75	0,0975	1,56
100	0,14	2,24
150	0,24	3,84

Πίνακας 3.2.1: Πάχη μανδύων που εξετάστηκαν

Σε κάθε περίπτωση μανδύα εξετάζονταν οι εξής παράμετροι:

1. Ο συντελεστής τριβής μ , μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος. Οι τιμές που εξετάστηκαν είναι $\mu=0,4-1-2-3-5$.
2. Το αηγμένο αξονικό φορτίο ν . Οι τιμές που εξετάστηκαν είναι $\nu = 0,1-0,2-0,3-0,4$.
3. Η ποιότητα σκυροδέματος στον μανδύα. Οι τιμές που εξετάστηκαν είναι σκυρόδεμα κατηγοριών C20/25-C30/37-C40/50.

Μετά την κάθε ανάλυση προκύπτουν οι συντελεστές μονολιθικότητας:

- Δυσκαμψίας K_k
- Αντοχής K_r
- Μετατοπίσεων K_δ

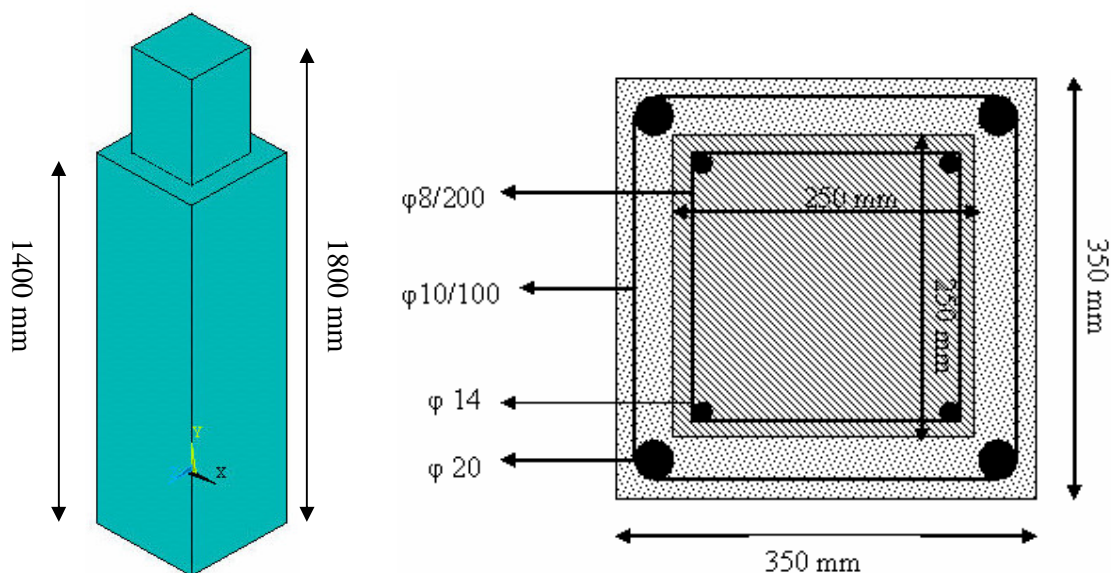
Οι συντελεστές προσδιορίζονται σε τέσσερις φάσεις της φόρτισης:

- στο σημείο όπου πρωτοεμφανίζονται ρωγμές στο μανδύα των δοκιμίων.

- στο σημείο όπου παρατηρείται η πρώτη διαρροή χάλυβα στον μανδύα των δοκιμίων
- στο σημείο όπου ο μανδύας των δοκιμίων έχει θλιπτική παραμόρφωση $\varepsilon_c=0,004$ και
- στο σημείο όπου η επιβληθείσα μετατόπιση στα δοκίμια αντιστοιχεί σε Σχετική Μετατόπιση Ορόφου = 3%

Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Δοκιμίων

Οι διαστάσεις του αρχικού υποστυλώματος είναι 250 mm x 250 mm x 1800 mm. Σε κάθε γωνία υπάρχει και μία ράβδος οπλισμού με επικάλυψη 25 mm. Οι συνδετήρες είναι τοποθετημένοι ανά 200 mm. Στον μανδύα υπάρχουν τέσσερις ράβδοι οπλισμού σε κάθε γωνία του μανδύα με επικάλυψη 25 mm. Οι συνδετήρες είναι τοποθετημένοι ανά 100 mm. Στα Σχήματα 3.2.7(α,β) φαίνονται το αρχικό υποστύλωμα με τον μανδύα καθώς και η διατομή τους με τους οπλισμούς.

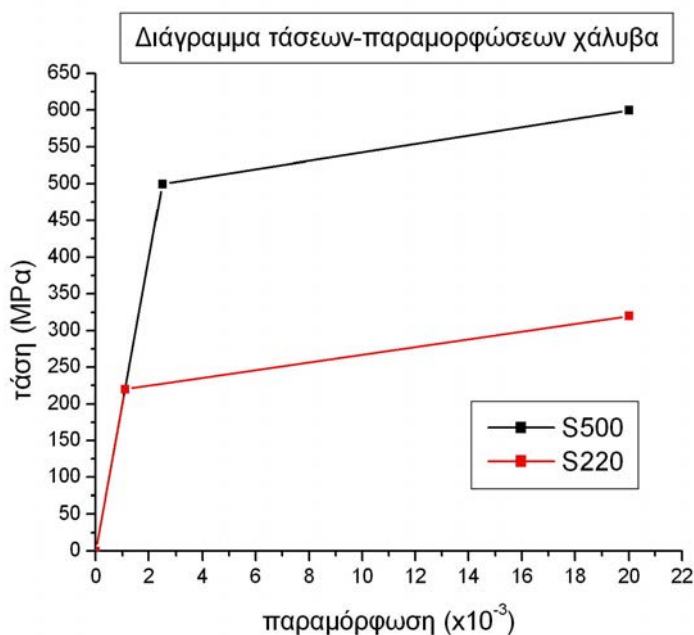


Σχήμα 3.2.7: (α) Αρχικό υποστύλωμα ενισχυμένο με μανδύα, (β) Διατομή με οπλισμούς υποστυλώματος και μανδύα

Ιδιότητες των Υλικών

Ο χάλυβας στο υποστύλωμα είναι κατηγορίας S220 τόσο στους συνδετήρες όσο και στο διαμήκη οπλισμό ενώ στο μανδύα χρησιμοποιήθηκε χάλυβας S500 τόσο στους συνδετήρες όσο και στο διαμήκη οπλισμό. Το

μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα είναι $E=200\text{GPa}$, ο λόγος Poisson $\nu=0,2$ και η κράτυνση 3%. Στο Σχήμα 3.2.8 παρουσιάζονται τα διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων του χάλυβα όπως αυτά χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ANSYS.



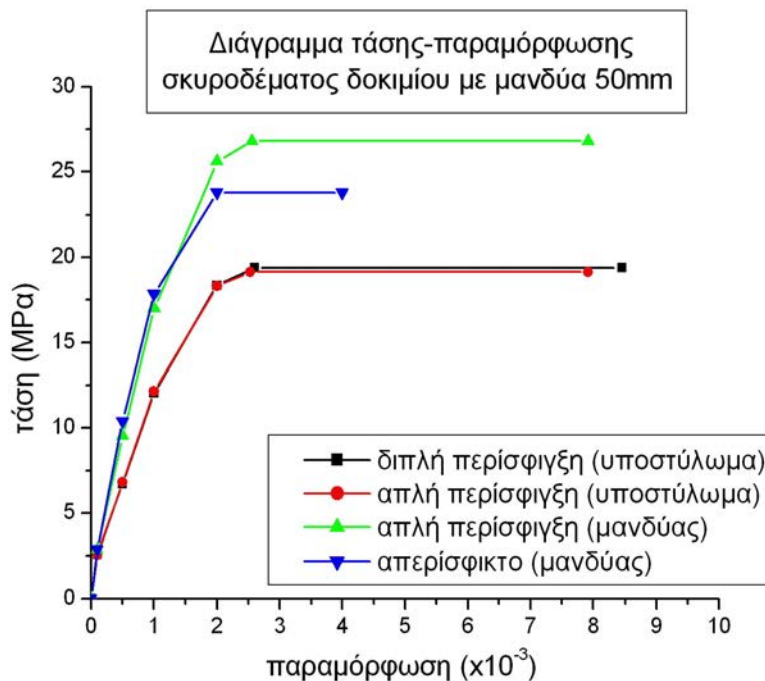
Σχήμα 3.2.8: Διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης χάλυβα οπλισμού

Στο υποστύλωμα χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα κατηγορίας C12/15 ενώ στον μανδύα σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25. Το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος στο υποστύλωμα είναι $E=25,78\text{GPa}$ και η εφελκυστική του αντοχή είναι $f_{ctm}=1,57\text{MPa}$. Στο μανδύα το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος είναι $E=28,84\text{GPa}$ και η εφελκυστική αντοχή του είναι $f_{ctm}=2,21\text{MPa}$.

Στον πίνακα 3.2.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συμβολής της περίσφιγξης των συνδετήρων και στο σχήμα 3.2.9 παρουσιάζονται τα διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων του σκυροδέματος όπως αυτά χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα.

	f_{cm} (MPa)	f_c (MPa)	ω_w	α	β	ε_{co}^* ($\times 10^{-3}$)	ε_{cu}^* ($\times 10^{-3}$)	f_c^* (MPa)
διπλή περίσφιγξη (υποστύλωμα)	20	17	0,044	0,12	1,14	2,6	8,45	19,38
απλή περίσφιγξη (υποστύλωμα)	20	17	0,044	0,12	1,1257	2,53	7,92	19,14
απλή περίσφιγξη (μανδύας)	28	23,8	0,16	0,245	1,1257	2,53	7,92	26,8
απερίσφικτο σκυρόδεμα (μανδύας)	28	23,8	-----	-----	-----	-----	-----	-----

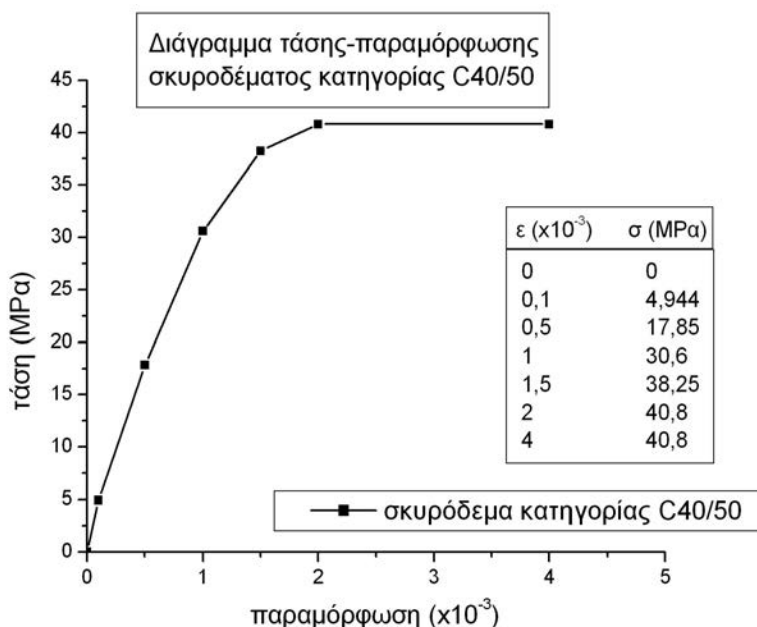
Πίνακας 3.2.2: Αποτελέσματα συμβολής της περίσφιγξης



Σχήμα 3.2.9: Διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης σκυροδέματος δοκιμίου με μανδύα πάχους 50mm

Σε όλα τα δοκίμια του κεφαλαίου αυτού, χρησιμοποιήθηκε στην κορυφή του αρχικού υποστυλώματος και σε ύψος 400mm από αυτή σκυρόδεμα κατηγορίας C40/50. Αυτό έγινε, διότι είχαν αρχικά παρατηρηθεί

προβλήματα στην επίλυση των δοκιμών όταν αυτά είχαν σκυρόδεμα κατηγορίας C12/15. Σε κάποιες περιπτώσεις το αξονικό φορτίο που επιβάλλεται στην κορυφή του υποστυλώματος δημιουργεί θλιπτικές τάσεις που ξεπερνούν τα 30 MPa, γι' αυτό και κρίθηκε αναγκαία η χρησιμοποίηση στην κορυφή σκυροδέματος υψηλής αντοχής. Στο Σχήμα 3.2.10 παρουσιάζεται το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων του σκυροδέματος αυτού και στον πίνακα εντός του διαγράμματος φαίνονται οι τιμές τάσεων και παραμορφώσεων που συνέθεσαν αυτό το διάγραμμα και χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα ANSYS.



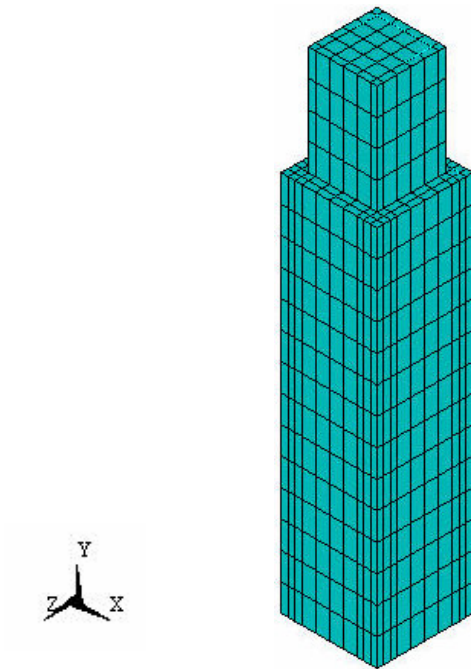
Σχήμα 3.2.10: Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης σκυροδέματος κατηγορίας C40

Σε όλα τα ενισχυμένα δοκίμια η συνοχή στη διεπιφάνεια παλαιού και νέου σκυροδέματος διατηρήθηκε σταθερή. Χρησιμοποιώντας την εμπειρική σχέση $\tau_{cu}=0,5f_{ctm}$ (MPa) που προσδιορίζει τη συνοχή για λείες διεπιφάνειες, (όπου f_{ctm} είναι η εφελκυστική αντοχή του ασθενέστερου σκυροδέματος) προέκυψε $\tau_{cu}=0,785$ MPa.

Προσομοίωση Δοκιμών

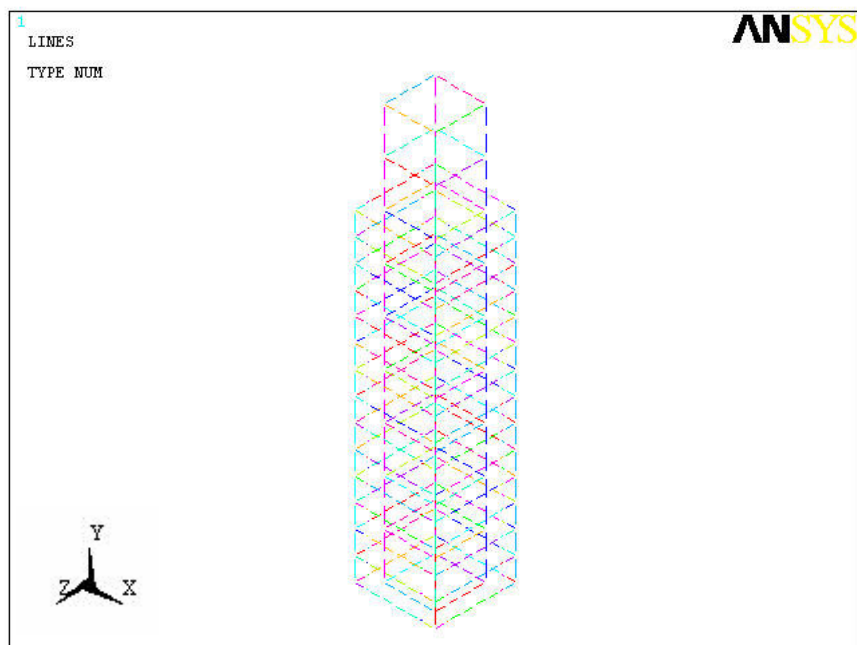
Για την προσομοίωση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις τύποι πεπερασμένων στοιχείων. Για το σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκαν τα χωρικά στοιχεία SOLID65, για το χάλυβα τα γραμμικά στοιχεία LINK8 και για την διεπιφάνεια μεταξύ του αρχικού υποστυλώματος και του μανδύα χρησιμοποιήθηκαν τα επιφανειακά στοιχεία CONTA174 και TARGE170. Στο

Σχήμα 3.2.11 παρουσιάζεται η διακριτοποίηση σε πεπερασμένα στοιχεία SOLID65.



Σχήμα 3.2.11: Διακριτοποίηση σκυροδέματος σε πεπερασμένα στοιχεία SOLID65

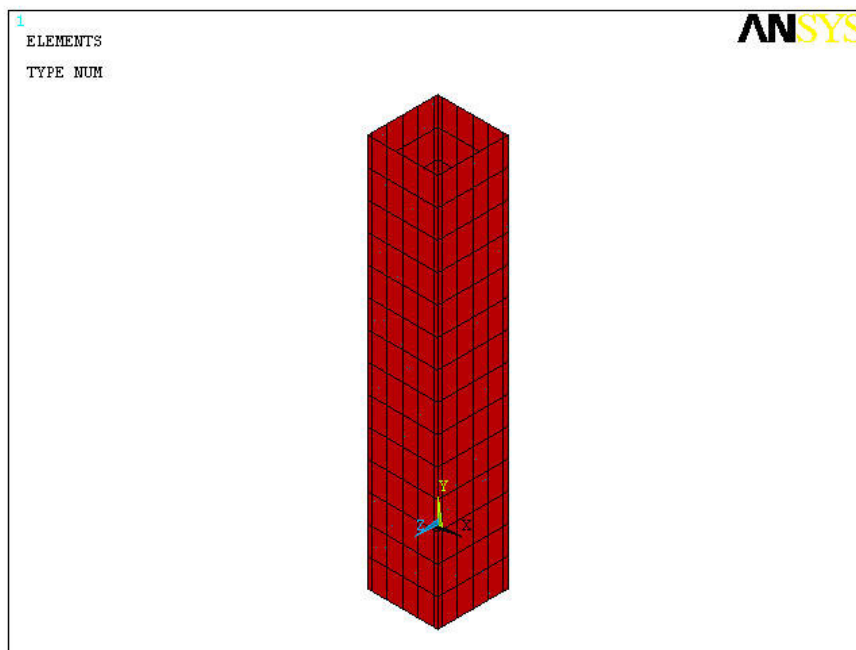
Στο σχήμα 3.2.12 παρουσιάζεται η διακριτοποίηση σε πεπερασμένα στοιχεία LINK8 του οπλισμού.



Σχήμα 3.2.12: Διακριτοποίηση οπλισμού σε πεπερασμένα στοιχεία LINK8

Ο διαχωρισμός σε πεπερασμένα στοιχεία LINK8 έγινε με τρόπο ώστε να συμπίπτουν οι κόμβοι των γραμμικών στοιχείων με αυτούς των χωρικών στοιχείων ώστε στη συνέχεια να μπορεί να επιτευχθεί η σύνδεση του σπλισμού με το σκυρόδεμα

Η διεπιφάνεια μεταξύ του αρχικού υποστυλώματος και του μανδύα μοντελοποιείται όπως δείχνει το σχήμα 3.2.13.



Σχήμα 3.2.13: Διακριτοποίηση διεπιφάνειας σε πεπερασμένα στοιχεία

Για πιο γρήγορη επίλυση των δοκιμών στο πρόγραμμα ANSYS επιλύθηκαν τα δοκίμια μισά, αφού σε αυτά υπάρχει συμμετρία ως προς τον άξονα Χ τόσο στη γεωμετρία όσο και στις φορτίσεις. Ο πίνακας 3.2.3 παρουσιάζει τον αριθμό των πεπερασμένων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση κάθε δοκιμίου, όπως αυτό επιλύθηκε τελικά.

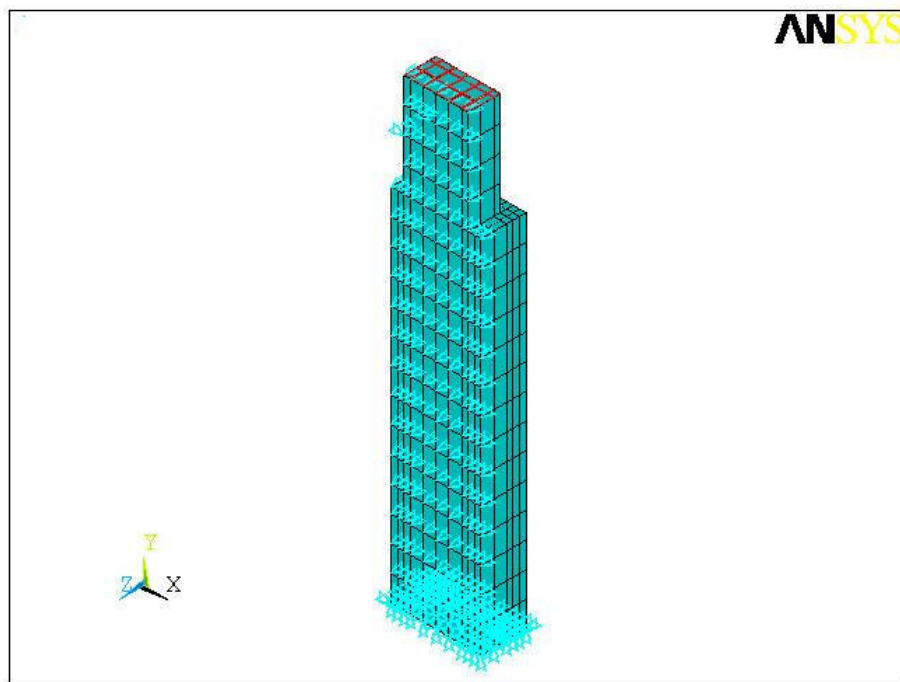
	Τύπος πεπερασμένου στοιχείου			
Δοκίμιο	SOLID65	LINK8	CONTA174	TARGE170
Ενισχυμένο	772	384	168	168
Μονολιθικό	772	384	-----	-----

Πίνακας 3.2.3: Αριθμός πεπερασμένων στοιχείων δοκιμών

Εξιδανίκευση της Φόρτισης

Το κάτω άκρο των δοκιμών πακτώθηκε με περιορισμό όλων των ελευθεριών κίνησης στους κόμβους της βάσης, ενώ στην κορυφή επιβλήθηκε σταθερό αξονικό φορτίο. Η οριζόντια μετατόπιση επιβλήθηκε στους κόμβους

του δοκιμίου οι οποίοι βρίσκονται σε ύψος 1,60m. Στη συνέχεια το δοκίμιο υποβλήθηκε σε μονοτονική φόρτιση. Αυξανόταν σταδιακά η οριζόντια μετατόπιση και κατά τη διάρκεια της φόρτισης λαμβάνονταν μετρήσεις σε διάφορες φάσεις. Το Σχήμα 3.2.14 δείχνει την διάταξη των φορτίσεων όπως αυτές εξιδανικεύτηκαν με το πρόγραμμα ANSYS σε ένα ενισχυμένο δοκίμιο. Στο δοκίμιο πέραν των φορτίσεων φαίνεται και η συμμετρία που έχει δηλωθεί ως προς τον άξονα Χ.



Σχήμα 3.2.14: Διάταξη φορτίσεων δοκιμίου

Τα φορτία που επιβλήθηκαν σε κάθε ενισχυμένο δοκίμιο επιβλήθηκαν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και στο αντίστοιχό του μονολιθικό. Τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν είναι: οι καμπύλες δύναμης- μετατόπισης, οι παραμορφώσεις και οι τάσεις στο σκυρόδεμα και στο χάλυβα

Το αξονικό φορτίο που επιβλήθηκε σε κάθε δοκίμιο αντιστοιχεί σε ανηγμένο αξονικό φορτίο v το οποίο προκύπτει από τη σχέση:

$$v = \frac{N}{A_c f_{cc} + A_j f_{cj}}$$

Όπου: N είναι το αξονικό φορτίο σε ΚΝ,

f_{cc} είναι η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος του αρχικού υποστυλώματος σε ΜΡα,

f_{cj} είναι η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος του μανδύα σε ΜΡα,

A_c είναι το εμβαδόν διατομής του αρχικού υποστυλώματος σε m^2 και

A_j είναι το εμβαδόν διατομής του μανδύα σε m^2 .

Στην διερεύνηση του συντελεστή τριβής της διεπιφάνεια και στη διερεύνηση της ποιότητας σκυροδέματος του μανδύας το ανηγμένο αξονικό φορτίο v ήταν σε όλες τις περιπτώσεις 0,2, οπότε και το αξονικό φορτίο προκύπτει $N=498,1$ KN. Στην διερεύνηση του αξονικού φορτίου και για τιμές ανηγμένου αξονικού φορτίου $v=0,1-0,2-0,3-0,4$ το αξονικό φορτίο που επιβλήθηκε ήταν $N=249,05-498,1-747,15-996,2$ KN αντίστοιχα.

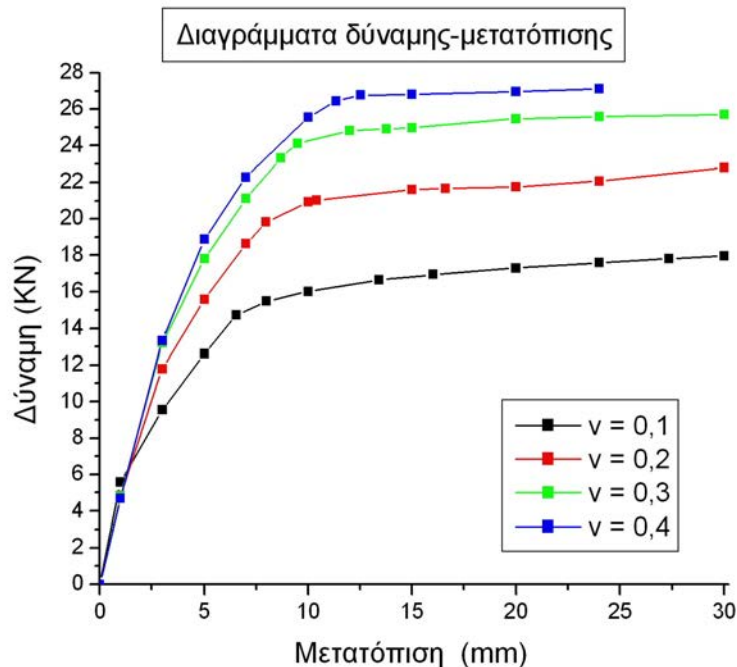
Αποτελέσματα Αναλύσεων

Προτού ξεκινήσει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των ενισχυμένων δοκιμών, παρουσιάζεται η συμπεριφορά του αρχικού υποστυλώματος πριν κατασκευαστεί ο μανδύας. Ο τρόπος φόρτισης του υποστυλώματος είναι ο ίδιος όπως και στα ενισχυμένα δοκίμια. Το αξονικό φορτίο επιβλήθηκε στην κορυφή του υποστυλώματος και στους κόμβους που βρίσκονται σε ύψος 1,60m επιβλήθηκε οριζόντια μετατόπιση. Στους κόμβους της βάσης περιορίστηκαν οι βαθμοί ελευθερίας δηλώνοντας έτσι την πάκτωση. Το δοκίμιο επιλύθηκε μισό αφού υπάρχει συμμετρία και χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό 324 στοιχεία SOLID65 και 188 LINK8. Το υποστύλωμα επιλύθηκε για τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις ανηγμένου αξονικού φορτίου όπως δείχνει ο πίνακας 3.2.4, όπου φαίνεται και το αντίστοιχο σε κάθε φόρτιση αξονικό φορτίο που επιβλήθηκε.

v	N (KN)
0,1	106,25
0,2	212,5
0,3	318,75
0,4	425

Πίνακας 3.2.4: Τιμές ανηγμένου αξονικού φορτίου

Στο Σχήμα 3.2.15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής. Για τις περιπτώσεις με ανηγμένο αξονικό φορτίο $v = 0,1-0,2-0,3$ η ανάλυση έγινε έως επιβληθείσα μετατόπιση $U_x=30\text{mm}$ ενώ στην περίπτωση $v = 0,4$ η ανάλυση έγινε έως $U_x=24\text{mm}$.



Σχήμα 3.2.15: Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης αρχικού υποστυλώματος

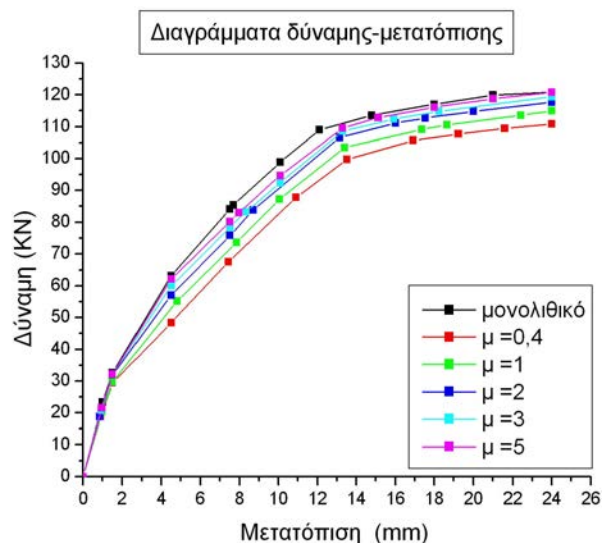
Ο πίνακας 3.2.5 παρουσιάζει τα αποτελέσματα κάθε ανάλυσης στην περίπτωση στις εξής φάσεις της φόρτισης: στη διαρροή του χάλυβα, στην αστοχία της επικάλυψης όπου η παραμόρφωση στο σκυρόδεμα είναι $\epsilon_c=0,004$ και στην μετατόπιση $U_x=24\text{mm}$ που αντιστοιχεί σε σχετική μετακίνηση ορόφου 3%.

	Ux στη διαρροή του χάλυβα (mm)	Fx στη διαρροή του χάλυβα (KN)	Ux στην αστοχία της επικάλυψης (mm)	Fx στην αστοχία της επικάλυψης (KN)	Fx όταν $U_x=24\text{mm}$ (KN)
$\nu = 0,1$	6,54	14,726	17,821	27,342	17,604
$\nu = 0,2$	7,972	19,822	16,611	21,662	22,08
$\nu = 0,3$	9,492	24,134	13,767	24,936	25,584
$\nu = 0,4$	11,34	26,454	12,54	26,784	27,105

Πίνακας 3.2.5: Αποτελέσματα ανάλυσης αρχικού υποστυλώματος

Διερεύνηση Επιρροής συντελεστή τριβής, μ .

Το διάγραμμα 3.2.16 παρουσιάζει τις καμπύλες δύναμης-μετατόπισης των δοκιμών που αναλύθηκαν.



Σχήμα 3.2.16: Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης διερεύνησης τριβής

Η ανάλυση των δοκιμών έγινε έως επιβληθείσα μετατόπιση $U_x=24\text{mm}$. Η μετατόπιση αυτή αντιστοιχεί σε σχετική μετατόπιση ορόφου ίση με 3%. Οι πίνακες 3.2.6 έως 3.2.11 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα κάθε δοκιμίου σε διάφορες φάσεις της φόρτισης από τα οποία προκύπτουν και οι συντελεστές μονολιθικότητας. Όπου: U_x είναι η μετατόπιση που επιβλήθηκε σε mm, F_x είναι η αντοχή του δοκιμίου σε kN, ϵ_c είναι η θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος της επικάλυψης στον μανδύα και S_s είναι η μέγιστη τάση που παρατηρείται στο χάλυβα σε MPa.

Μονολιθικό			
U_x (mm)	F_x (kN)	$\epsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)
1,5	32,676	-----	< 0
12,106	109,028	3,5	500
14,794	113,652	4	516,5
24	120,892	8,08	554,6

Πίνακας 3.2.6: Αποτελέσματα μονολιθικού δοκιμίου

$\mu = 0,4$			
U_x (mm)	F_x (kN)	$\epsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)
1,5	29,442	-----	< 0
13,501	99,832	2,51	500
19,224	107,696	4	531,7
24	110,914	6,49	577,1

Πίνακας 3.2.7: Αποτελέσματα ενισχυμένου δοκιμίου με συντελεστή τριβής $\mu=0,4$

$\mu = 1$			
U_x (mm)	F_x (KN)	$\varepsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)
1,5	29,764	-----	< 0
13,38	103,488	2,56	500
18,634	110,584	4	532
24	114,928	7,17	547,5

Πίνακας 3.2.8: Αποτελέσματα ενισχυμένου δοκιμίου με συντελεστή τριβής $\mu=1$

$\mu = 2$			
U_x (mm)	F_x (KN)	$\varepsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)
1,5	31,992	-----	< 0
13,137	106,608	2,76	500
17,53	112,728	4	516,8
24	117,658	6,3	538

Πίνακας 3.2.9: Αποτελέσματα ενισχυμένου δοκιμίου με συντελεστή τριβής $\mu=2$

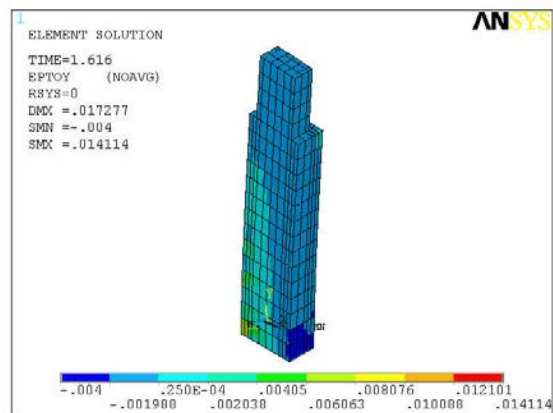
$\mu = 3$			
U_x (mm)	F_x (KN)	$\varepsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)
1,5	32,106	-----	< 0
13,3	108,68	3,17	500
15,907	112,454	4	516
24	119,46	6,8	537,8

Πίνακας 3.2.10: Αποτελέσματα ενισχυμένου δοκιμίου με συντελεστή τριβής $\mu=3$

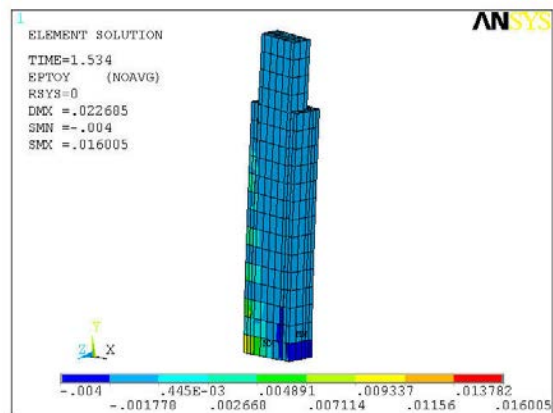
$\mu = 5$			
U_x (mm)	F_x (KN)	$\varepsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)
1,5	32,242	-----	< 0
13,284	109,582	3,3	500
15,11	112,85	4	509,8
24	120,854	6,9	537,7

Πίνακας 3.2.11: Αποτελέσματα ενισχυμένου δοκιμίου με συντελεστή τριβής $\mu=5$

Στα Σχήματα 3.2.17 και 3.2.18 φαίνεται η κατανομή των παραμορφώσεων στο μονολιθικό δοκίμιο και στο ενισχυμένο δοκίμιο με συντελεστή τριβής $\mu=0,4$, στη φάση όπου η επικάλυψη έχει θλιπτική παραμόρφωση $\varepsilon_c=0,004$.

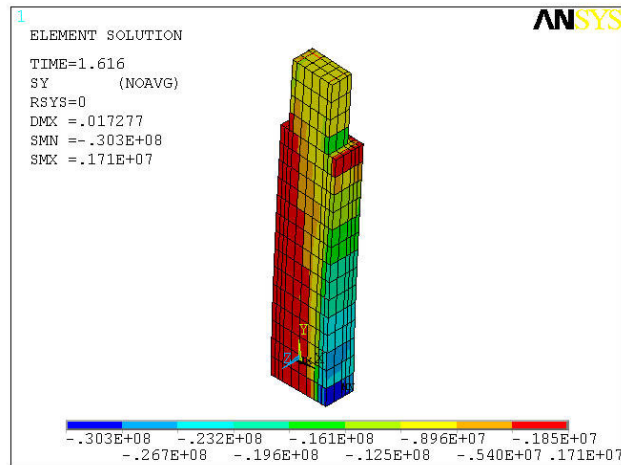


Σχήμα 3.2.17: Κατανομή παραμορφώσεων στο μονολιθικό δοκίμιο



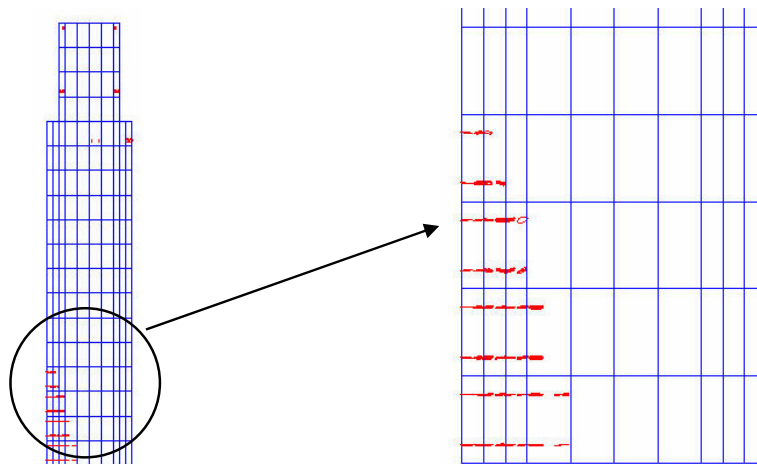
Σχήμα 3.2.18: Κατανομή παραμορφώσεων στο ενισχυμένο δοκίμιο με συντελεστή τριβής $\mu=0,4$

Στο Σχήμα 3.2.19 παρουσιάζεται η κατανομή των ορθών τάσεων S_y στο μονολιθικό δοκίμιο στη φάση όπου η επικάλυψη έχει θλιπτική παραμόρφωση $\varepsilon_c=0,004$.



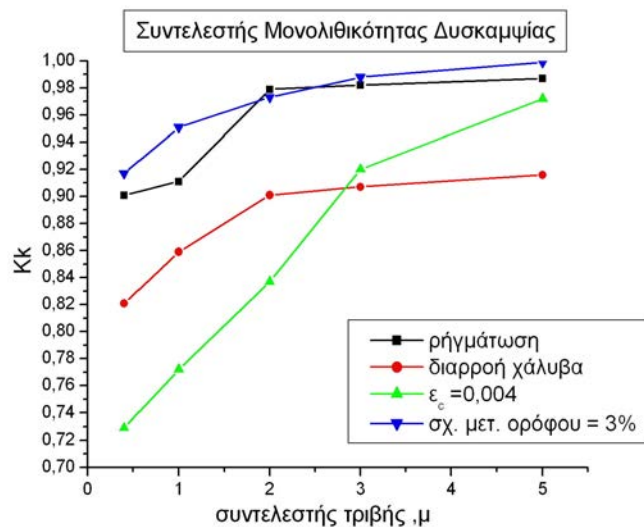
Σχήμα 3.2.19: Κατανομή ορθών τάσεων S_y στο μονολιθικό δοκίμιο

Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα που δείχνουν τη μεταβολή των συντελεστών μονολιθικότητας συναρτήσει της μεταβολής του συντελεστή τριβής στη διεπιφάνεια. Οι συντελεστές που υπολογίζονται στην αρχική φάση των πρώτων ρωγμών προσδιορίστηκαν σε μετατόπιση $U_x=1,5\text{mm}$ σε όλα τα δοκίμια, καθώς δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί ακριβώς η μετατόπιση όπου πρωτοεμφανίζονται ρωγμές στα δοκίμια. Για τη μετατόπιση αυτή όλα τα δοκίμια έχουν εμφανίσει ρωγμές στη βάση του μανδύα. Το Σχήμα 3.2.20 δείχνει την εμφάνιση των πρώτων ρωγμών στο μανδύα του μονολιθικού δοκιμίου.



Σχήμα 3.2.20: Πρώτες ρωγμές στο μονολιθικό δοκίμιο

Στο Σχήμα 3.2.21 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k και ο πίνακας 3.2.12 παρουσιάζει τις τιμές του συντελεστή στις διάφορες φάσεις της φόρτισης.



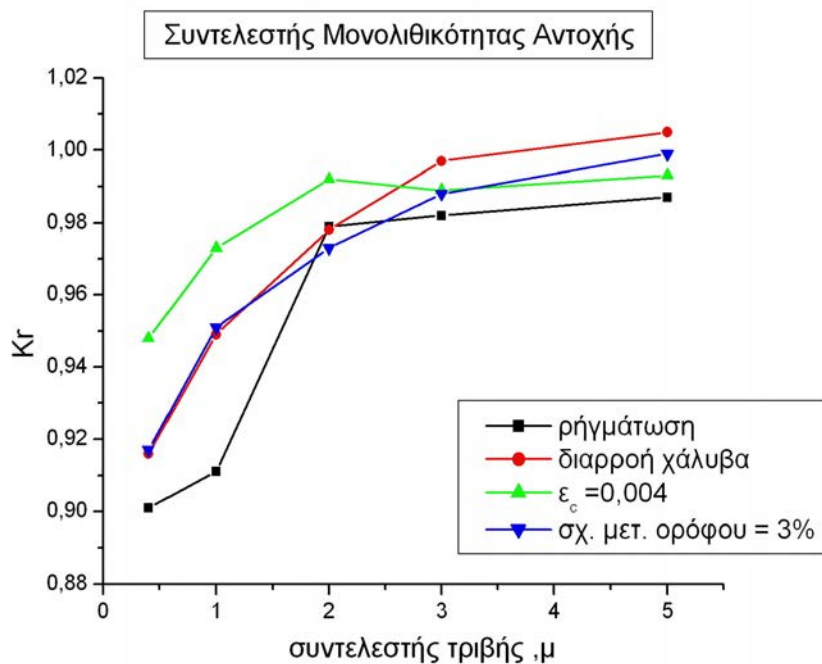
Σχήμα 3.2.21: Συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k

φάση μ		0,4	1	2	3	5
Ao-Ar	Πρώτες ρωγμές	0,901	0,911	0,979	0,982	0,987
Bo-Br	Διαρροή χάλυβα	0,821	0,859	0,901	0,907	0,916
Co-Cr	Αστοχία επικάλυψης	0,729	0,772	0,837	0,92	0,972
Do-Dr	Σχετ. μετ. ορόφου = 3%	0,917	0,951	0,973	0,988	0,999

Πίνακας 3.2.12: Τιμές συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k

Στο πίνακα 3.2.12 καθώς και στους πίνακες που ακολουθούν και αφορούν συντελεστές μονολιθικότητας η πρώτη στήλη του κάθε πίνακα αναφέρεται στο ζεύγος των σημείων της καμπύλης συμπεριφοράς του στοιχείου που προσδιορίζει την κατάσταση φόρτισης (Σχήμα 3.2.1). Όπως παρατηρείται, η αύξηση του συντελεστή τριβής αυξάνει τον συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k σε όλες τις φάσεις της φόρτισης. Στην περίπτωση όπου είναι $\mu=5$ η συμπεριφορά του ενισχυμένου υποστυλώματος σε όλες τις φάσεις τις φόρτισης έχει διαφορά μικρότερη από 10% σε σχέση με αυτή του μονολιθικού.

Στο Σχήμα 3.2.22 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής K_r και ο πίνακας 3.2.13 παρουσιάζει τις τιμές του συντελεστή στις διάφορες φάσεις της φόρτισης.



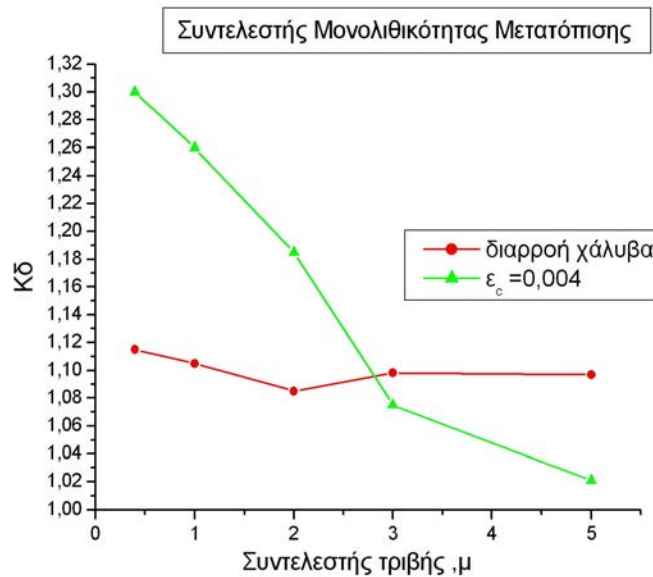
Σχήμα 3.2.22: Συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής K_r

φάση \ μ		0,4	1	2	3	5
Ao-Ar	Πρώτες ρωγμές	0,901	0,911	0,979	0,982	0,987
Bo-Br	Διαρροή χάλυβα	0,916	0,949	0,978	0,997	1,005
Co-Cr	Αστοχία επικάλυψης	0,948	0,973	0,992	0,989	0,993
Do-Dr	Σχετ. μετ. ορόφου = 3%	0,917	0,951	0,973	0,988	0,999

Πίνακας 3.2.13: Τιμές συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής K_r

Η επιρροή του συντελεστή τριβής είναι σημαντική και στον συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής. Η αύξηση του συντελεστή αυξάνει και τις τιμές του συντελεστή και στην περίπτωση όπου ο συντελεστής τριβής είναι $\mu \geq 2$ παρατηρείται ότι τα ενισχυμένα δοκίμια έχουν αντοχή σε όλες τις φάσεις τις φόρτισης μεγαλύτερη από το 97% της αντοχής του μονολιθικού δοκιμίου.

Στο Σχήμα 3.2.23 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας μετατόπισης K_δ και ο πίνακας 3.2.24 παρουσιάζει τις τιμές του συντελεστή στις διάφορες φάσεις της φόρτισης.



Σχήμα 3.2.23: Συντελεστής μονολιθικότητας μετατόπισης K_δ

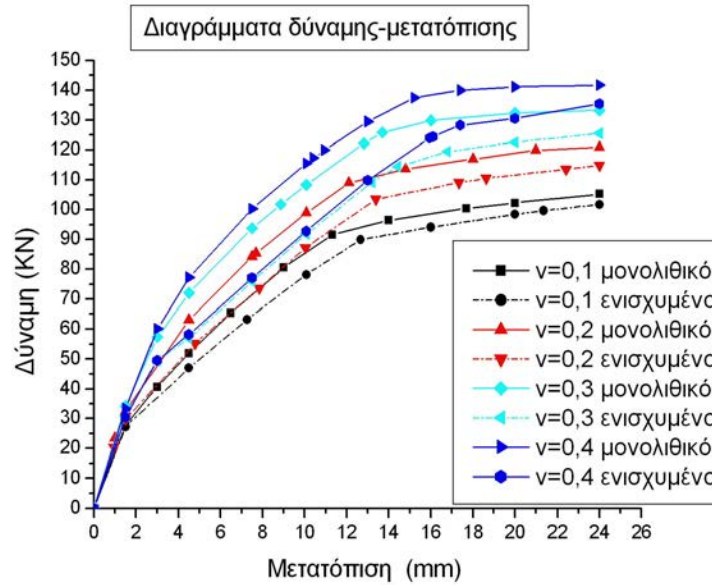
φάση μ		0,4	1	2	3	5
Bo-Br	Διαρροή χάλυβα	1,115	1,105	1,085	1,098	1,097
Co-Cr	Αστοχία επικάλυψης	1,3	1,26	1,185	1,075	1,021

Πίνακας 3.2.14: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας μετατόπισης K_δ

Ο συντελεστής μονολιθικότητας μετατόπισης K_δ στη φάση της διαρροής του χάλυβα δεν έχει έντονη μεταβολή. Αυτό δείχνει ότι η διαρροή του χάλυβα στα ενισχυμένα δοκίμια θα εμφανιστεί σε ίδιες περίπου μετατοπίσεις ανεξαρτήτως του συντελεστή τριβής. Αντίθετα, ο συντελεστής μειώνεται σημαντικά με την αύξηση του συντελεστή τριβής στη φάση της αστοχίας της επικάλυψης των δοκιμίων.

Διερεύνηση Επιρροής Αξονικού Φορτίου

Το διάγραμμα 3.2.24 παρουσιάζει τις καμπύλες δύναμης-μετατόπισης των δοκιμίων που αναλύθηκαν.



Σχήμα 3.2.24: Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης διερεύνησης αξονικού φορτίου

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στους πίνακες 3.2.15 έως 3.2.18.

$\nu = 0,1$							
Μονολιθικό				Ενισχυμένο			
U_x (mm)	F_x (kN)	$\varepsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)	U_x (mm)	F_x (kN)	$\varepsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)
1,5	27,888	-----	< 0	1,5	27,274	-----	< 0
11,314	91,586	2,5	500	12,664	89,906	2,04	500
17,695	100,504	4	537,2	21,37	99,682	4	551,5
24	105,238	5,72	563,1	24	101,744	4,56	562,2

Πίνακας 3.2.15: Αποτελέσματα δοκιμίου με ανηγμένο αξονικό φορτίο $\nu=0,1$

$\nu = 0,2$							
Μονολιθικό				Ενισχυμένο			
U_x (mm)	F_x (kN)	$\varepsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)	U_x (mm)	F_x (kN)	$\varepsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)
1,5	32,676	-----	< 0	1,5	29,764	-----	< 0
12,106	109,028	3,5	500	13,38	103,488	2,56	500
14,794	113,652	4	516,5	18,634	110,584	4	532
24	120,892	8,08	554,6	24	114,928	7,17	547,5

Πίνακας 3.2.16: Αποτελέσματα δοκιμίου με ανηγμένο αξονικό φορτίο $\nu=0,2$

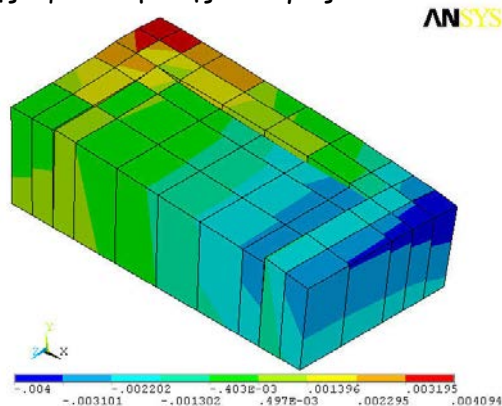
$\nu = 0,3$							
Μονολιθικό				Ενισχυμένο			
U_x (mm)	F_x (KN)	$\epsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)	U_x (mm)	F_x (KN)	$\epsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)
1,5	34,256	-----	< 0	1,5	30,856	-----	< 0
12,823	122,268	4	469,4	16,79	119,462	4	513
13,692	125,876	4,33	500	14,424	114,414	3,17	500
24	133,326	10,6	543,8	24	125,658	6,18	539,1

Πίνακας 3.2.17: Αποτελέσματα δοκιμίου με ανηγμένο αξονικό φορτίο $\nu=0,3$

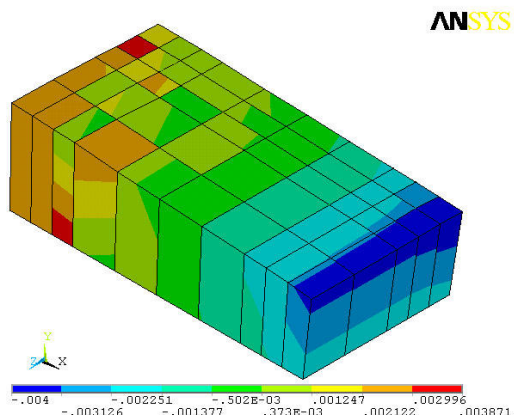
$\nu = 0,4$							
Μονολιθικό				Ενισχυμένο			
U_x (mm)	F_x (KN)	$\epsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)	U_x (mm)	F_x (KN)	$\epsilon_c (\times 10^{-3})$	S_s (MPa)
1,5	33,35	-----	< 0	1,5	30,498	-----	< 0
10,94	119,94	4	328	15,944	124,03	4	498,7
15,213	137,452	6,25	500	16,1	124,462	4,05	500
24	141,758	13,4	534,6	24	135,504	6,74	522,1

Πίνακας 3.2.18: Αποτελέσματα δοκιμίου με ανηγμένο αξονικό φορτίο $\nu=0,4$

Στα Σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 3.2.25 και 3.2.26) παρουσιάζεται η κατανομή των παραμορφώσεων του σκυροδέματος στο μονολιθικό και στο ενισχυμένο δοκίμιο για ανηγμένο αξονικό φορτίο $\nu=0,4$ στην περίπτωση όπου επικάλυψη του μανδύα έχει θλιπτική παραμόρφωση $\epsilon_c=0,004$. Η κατανομή των παραμορφώσεων παρουσιάζεται στη διατομή που έχει ύψος 100mm από τη βάση των δύο δοκιμίων και αφορά και πάλι το μισό δοκίμιο. στο ενισχυμένο δοκίμιο παρατηρούνται οι μέγιστες εφελκυστικές και θλιπτικές παραμορφώσεις στις γωνίες, ενώ στο μονολιθικό σε όλο το μήκος της θλιβόμενης και της εφελκυστικής πλευράς.

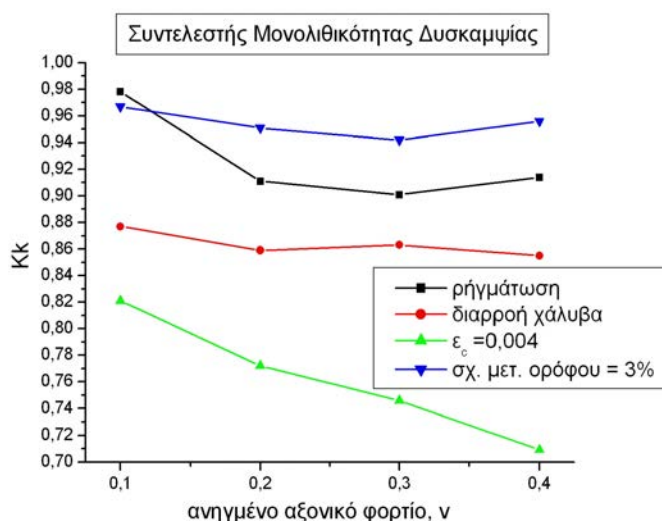


Σχήμα 3.2.25: Κατανομή παραμορφώσεων στο ενισχυμένο δοκίμιο με $\nu=0,4$



Σχήμα 3.2.26: Κατανομή παραμορφώσεων στο ενισχυμένο δοκίμιο με $\nu=0,4$

Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα που δείχνουν τη μεταβολή των συντελεστών μονολιθικότητας συναρτήσει της μεταβολής του ανηγμένου αξονικού φορτίου. Στο Σχήμα 3.2.27 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k και ο πίνακας 3.2.19 παρουσιάζει τις τιμές του συντελεστή στις διάφορες φάσεις της φόρτισης.



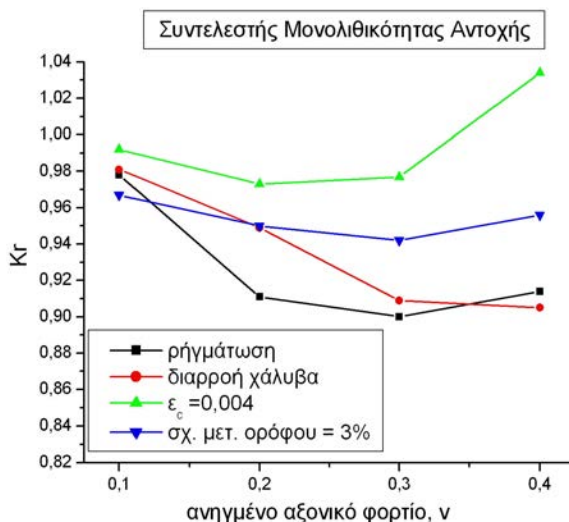
Σχήμα 3.2.27: Συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k

φάση \ ν		0,1	0,2	0,3	0,4
Ao-Ar	Πρώτες ρωγμές	0,978	0,911	0,901	0,914
Bo-Br	Διαρροή χάλυβα	0,877	0,859	0,863	0,855
Co-Cr	Αστοχία επικάλυψης	0,821	0,772	0,746	0,709
Do-Dr	Σχετ. Μετ. Ορόφου = 3%	0,967	0,951	0,942	0,956

Πίνακας 3.2.19: Τιμές συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k

Ο συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k παραμένει σταθερός στις φάσεις της διαρροής και για σχετική μετακίνηση ορόφου 3% συναρτήσει της αύξησης του ανηγμένου αξονικού φορτίου, ενώ μειώνεται στη φάση της αστοχίας της επικάλυψης.

Στο Σχήμα 3.2.28 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή αντοχής K_r και ο πίνακας 3.2.20 παρουσιάζει τις τιμές αυτού.



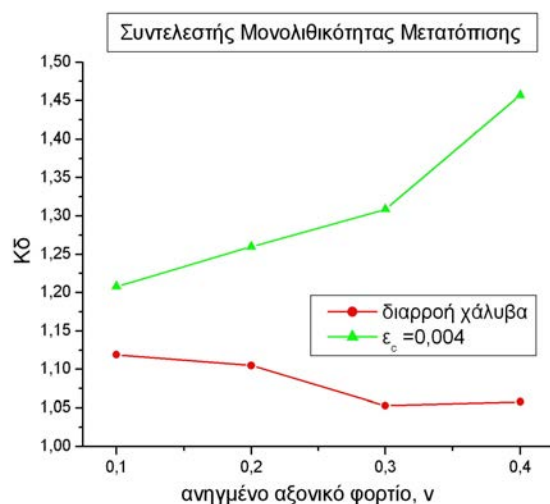
Σχήμα 3.2.28: Συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής K_r

φάση \ ν		0,1	0,2	0,3	0,4
Ao-Ar	Πρώτες ρωγμές	0,978	0,911	0,9	0,914
Bo-Br	Διαρροή χάλυβα	0,981	0,949	0,909	0,905
Co-Cr	Αστοχία επικάλυψης	0,992	0,973	0,977	1,034
Do-Dr	Σχετ. Μετ. Ορόφου = 3%	0,967	0,95	0,942	0,956

Πίνακας 3.2.20: Τιμές συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής K_r

Ο συντελεστής K_r σε όλες τις φάσεις της φόρτισης και για κάθε τιμή ανηγμένου αξονικού φορτίου παίρνει τιμές μεγαλύτερες από 0,9 ενώ ξεπερνά τη μονάδα μόνο για $\nu=0,4$ στη φάση της αστοχίας της επικάλυψης και παίρνει την τιμή 1,034. Στη διαρροή του χάλυβα μειώνεται με την αύξηση του ανηγμένου αξονικού φορτίου ενώ στις άλλες φάσεις αρχικά μειώνεται και τελικά παρουσιάζει μικρή άνοδο για $\nu=0,4$.

Ακολουθεί στο Σχήμα 3.2.29 η μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας μετατοπίσεων K_δ και στον πίνακα 3.2.21 παρουσιάζονται οι τιμές που παίρνει στις δύο φάσεις για τις οποίες υπολογίζεται.



Σχήμα 3.2.29: Συντελεστής μονολιθικότητας μετατοπίσεων K_δ

φάση ν		0,1	0,2	0,3	0,4
Bo-Br	Διαρροή χάλυβα	1,119	1,105	1,053	1,058
Co-Cr	Αστοχία επικάλυψης	1,208	1,26	1,309	1,457

Πίνακας 3.2.21: Τιμές συντελεστής μονολιθικότητας μετατοπίσεων K_δ

Στη φάση της διαρροή του χάλυβα ο συντελεστή αρχικά μειώνεται ελαφρά και στη συνέχεια σταθεροποιείται. Αντίθετα στη φάση όπου αστοχεί η επικάλυψη ο συντελεστής αυξάνεται συνεχώς με την αύξηση του ανηγμένου αξονικού φορτίου. Οι τιμές του συντελεστή στη διαρροή του χάλυβα έχουν τιμές κοντά στη μονάδα, δείχνοντας έτσι ότι η διαρροή στο χάλυβα στα ενισχυμένα δοκίμια επέρχεται με λίγο μεγαλύτερη μετατόπιση σε σχέση με τα αντίστοιχα τους μονολιθικά.

Διερεύνηση Επιρροής Ποιότητας Σκυροδέματος Μανδύα

Στην περίπτωση όπου μεταβάλλεται η ποιότητα σκυροδέματος στον μανδύα, προκύπτουν νέα αποτελέσματα από την συμβολή της περίσφιγξης των συνδετήρων, και νέα διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων του σκυροδέματος, τόσο στο μανδύα όπου μεταβάλλεται η ποιότητά του, όσο και στο αρχικό υποστύλωμα όπου παραμένει σκυρόδεμα κατηγορίας C12/15. Το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος κατηγορίας C30/37 είναι $E=31,94\text{GPa}$ και η εφελκυστική του αντοχή είναι $f_{ctm}=2,89\text{MPa}$ ενώ το σκυρόδεμα κατηγορίας C40/50 έχει μέτρο ελαστικότητας $E=34,52\text{GPa}$ και εφελκυστική αντοχή $f_{ctm}=3,5\text{MPa}$.

Στον πίνακα 3.2.22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συμβολής της περίσφιγξης των συνδετήρων στο δοκίμιο με σκυρόδεμα κατηγορίας C30/37 στο μανδύα, ενώ ο πίνακας 3.2.23 παρουσιάζει τα αντίστοιχα αποτελέσματα του δοκιμίου με σκυρόδεμα στο μανδύα κατηγορίας C40/50.

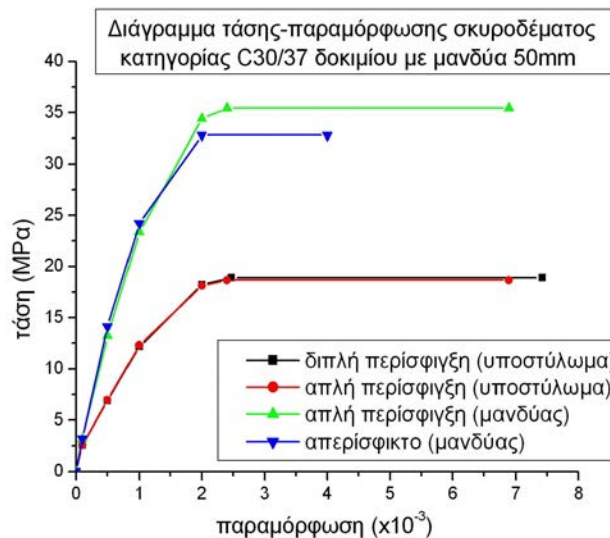
	f_{cm} (MPa)	f_c (MPa)	w_w	α	β	ε_{co}^* ($\times 10^{-3}$)	ε_{cu}^* ($\times 10^{-3}$)	f_c^* (MPa)
διπλή περίσφιγξη (υποστούλωμα)	20	17	0,044	0,12	1,112	2,47	7,42	18,9
απλή περίσφιγξη (υποστούλωμα)	20	17	0,044	0,12	1,097	2,4	6,89	18,65
απλή περίσφιγξη (μανδύας)	38	32,3	0,118	0,245	1,097	2,4	6,89	35,43
απερίσφικτο σκυρόδεμα (μανδύας)	38	32,3	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Πίνακας 3.2.22: Αποτελέσματα συμβολής της περίσφιγξης δοκιμίου με σκυρόδεμα μανδύα κατηγορίας C30/37

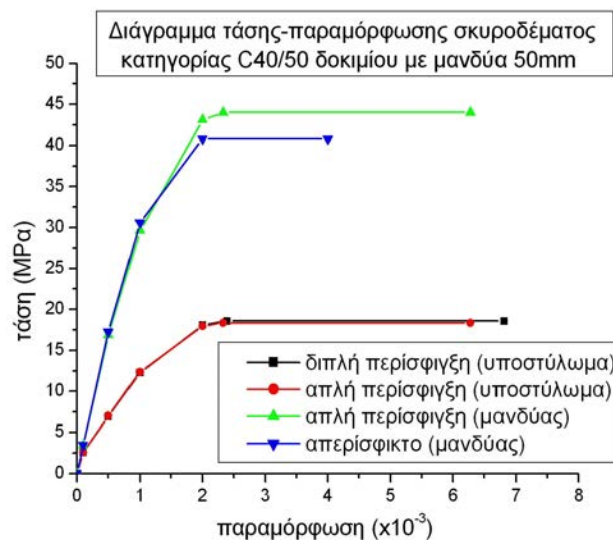
	f_{cm} (MPa)	f_c (MPa)	w_w	α	β	ε_{co}^* ($\times 10^{-3}$)	ε_{cu}^* ($\times 10^{-3}$)	f_c^* (MPa)
διπλή περίσφιγξη (υποστούλωμα)	20	17	0,044	0,12	1,094	2,39	6,81	18,6
απλή περίσφιγξη (υποστούλωμα)	20	17	0,044	0,12	1,079	2,33	6,28	18,34
απλή περίσφιγξη (μανδύας)	48	40,8	0,093	0,245	1,079	2,33	6,28	44,02
απερίσφικτο σκυρόδεμα (μανδύας)	48	40,8	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Πίνακας 3.2.23: Αποτελέσματα συμβολής της περίσφιγξης δοκιμίου με σκυρόδεμα μανδύα κατηγορίας C40/50

Στα Σχήματα 3.2.30 και 3.2.31 παρουσιάζονται τα διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων του σκυροδέματος των δοκιμίων.

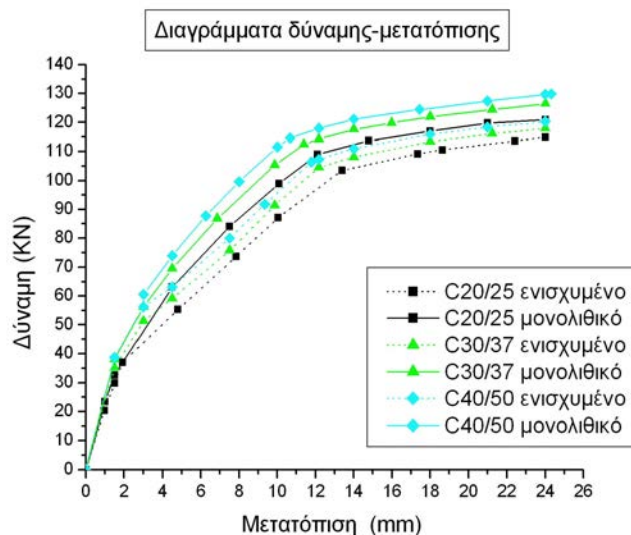


Σχήμα 3.2.30: Διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης σκυροδέματος δοκιμίου με σκυρόδεμα μανδύα κατηγορίας C30/37



Σχήμα 3.2.31: Διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης σκυροδέματος δοκιμίου με σκυρόδεμα μανδύα κατηγορίας C40/50

Ακολουθεί το Σχήμα 3.2.32 όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη διερεύνηση της ποιότητας σκυροδέματος του μανδύα.



Σχήμα 3.2.32: Διαγράμματα δύναμης-μετατόπισης διερεύνησης ποιότητας σκυροδέματος μανδύα

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στους πίνακες 3.2.24 έως 3.2.26.

C20/25							
Μονολιθικό				Ενισχυμένο			
U _x (mm)	F _x (kN)	ε _c (×10 ⁻³)	S _s (MPa)	U _x (mm)	F _x (kN)	ε _c (×10 ⁻³)	S _s (MPa)
1,5	32,676	-----	< 0	1,5	29,764	-----	< 0
12,106	109,028	3,5	500	13,38	103,488	2,56	500
14,794	113,652	4	516,5	18,634	110,584	4	532
24	120,892	8,08	554,6	24	114,928	7,17	547,5

Πίνακας 3.2.24: Αποτελέσματα δοκιμίου με ποιότητας σκυροδέματος μανδύα C20/25

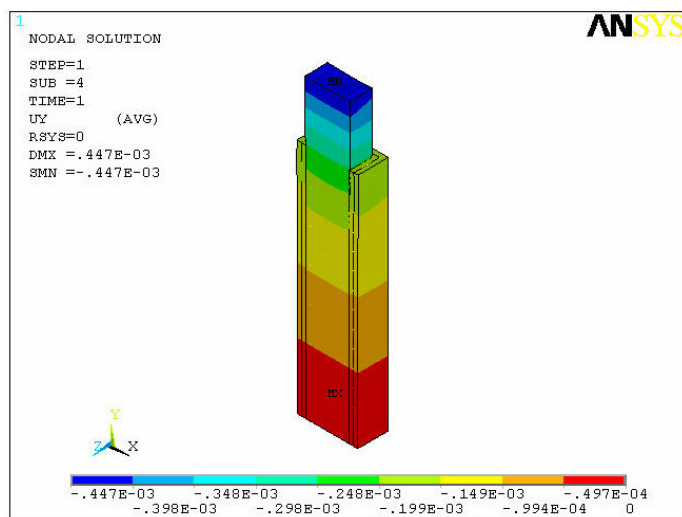
C30/37							
Μονολιθικό				Ενισχυμένο			
U _x (mm)	F _x (kN)	ε _c (×10 ⁻³)	S _s (MPa)	U _x (mm)	F _x (kN)	ε _c (×10 ⁻³)	S _s (MPa)
1,5	38,052	-----	< 0	1,5	35,09	-----	< 0
11,389	112,478	2,45	500	12,18	104,474	1,94	500
15,977	119,868	4	530,3	21,245	116,12	4	550,8
24	126,54	6,73	568,7	24	118,026	4,59	562,4

Πίνακας 3.2.25: Αποτελέσματα δοκιμίου με ποιότητας σκυροδέματος μανδύα C30/37

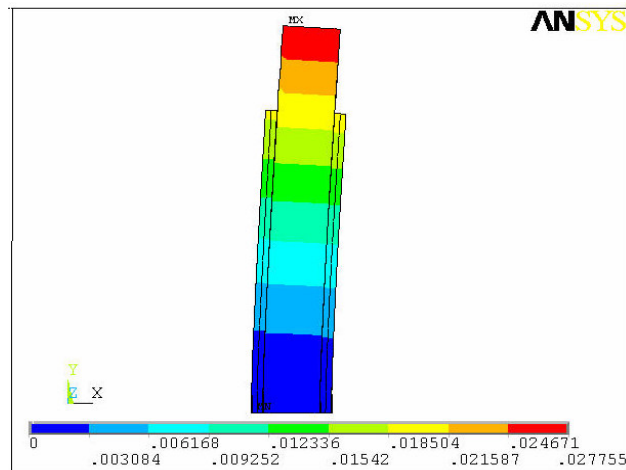
C40/50							
Μονολιθικό				Ενισχυμένο			
U _x (mm)	F _x (KN)	ε _c (x10 ⁻³)	S _s (MPa)	U _x (mm)	F _x (KN)	ε _c (x10 ⁻³)	S _s (MPa)
1,5	41,592	-----	< 0	1,5	38,77	-----	< 0
10,675	114,7	2	500	11,774	106,38 8	1,53	500
17,445	124,46 4	4	541	24	120,32 2	3,94	568,5
24	129,66 2	5,9	570,9	24,317	120,49	4	570

Πίνακας 3.2.26: Αποτελέσματα δοκιμίου με ποιότητας σκυροδέματος μανδύα C40/50

Ακολουθούν δύο Σχήματα που δείχνουν την κατανομή των μετατοπίσεων σε δύο ενισχυμένα δοκίμια. Στο Σχήμα 3.2.33 παρουσιάζεται η κατανομή των μετατοπίσεων ως προς τον κατακόρυφο άξονα Υ στην περίπτωση που ο μανδύας έχει σκυρόδεμα C40/50 και στο Σχήμα 3.2.34 παρουσιάζεται η κατανομή των μετατοπίσεων ως προς τον άξονα Χ, όταν η επιβληθείσα μετατόπιση είναι U_x=24mm στην περίπτωση που ο μανδύας έχει σκυρόδεμα C30/37.

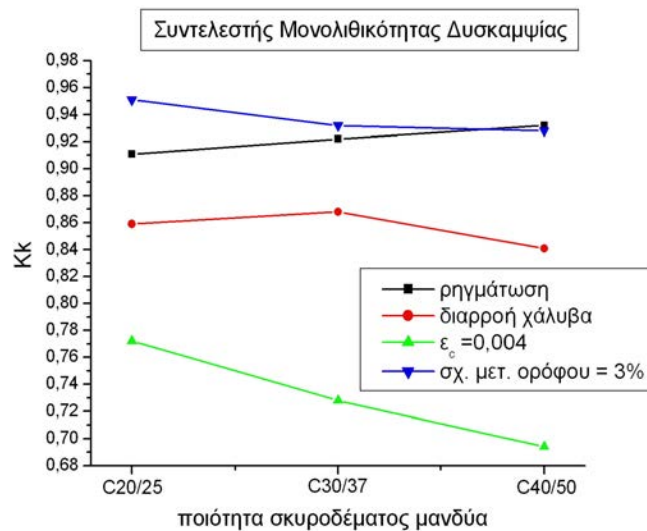


Σχήμα 3.2.33: Κατανομή μετατοπίσεων U_y



Σχήμα 3.2.34: Κατανομή μετατοπίσεων U_x

Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα που δείχνουν τη μεταβολή των συντελεστών μονολιθικότητας συναρτήσει της μεταβολής της ποιότητας σκυροδέματος του μανδύα. Στο Σχήμα 3.2.35 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k και ο πίνακας 3.2.27 παρουσιάζει τις τιμές του συντελεστή στις διάφορες φάσεις της φόρτισης.



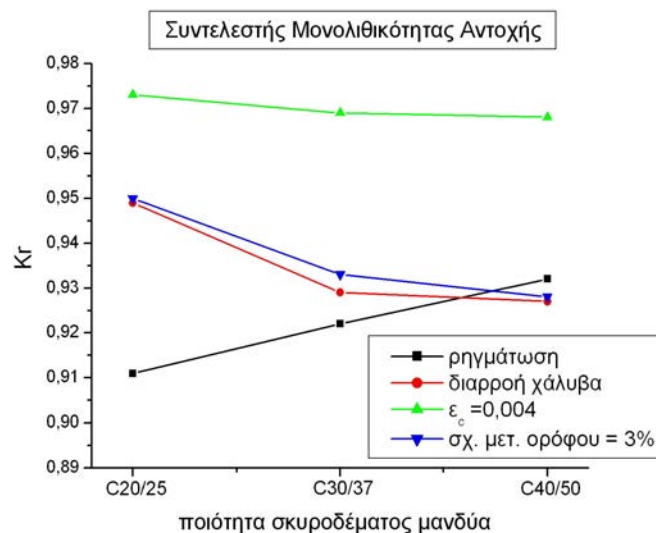
Σχήμα 3.2.35: Συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k

φάση		C20/25	C30/37	C40/50
Ao-Ar	Πρώτες ρωγμές	0,911	0,922	0,932
Bo-Br	Διαρροή χάλυβα	0,859	0,868	0,841
Co-Cr	Αστοχία επικάλυψης	0,772	0,728	0,694
Do-Dr	Σχετ. Μετ. Ορόφου = 3%	0,951	0,932	0,928

Πίνακας 3.2.27: Τιμές συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k

Όπως δείχνει το Σχήμα 3.2.35 η ποιότητα σκυροδέματος του μανδύα δεν επηρεάζει σημαντικά το συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας. Μόνο στη φάση της αστοχίας της επικάλυψης παρατηρείται αισθητή μείωση του συντελεστή με την αύξηση της ποιότητας σκυροδέματος.

Ακολουθούν το Σχήμα 3.2.36 και ο πίνακας 3.2.28 που δείχνουν τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής συναρτήσει της μεταβολής της ποιότητας σκυροδέματος του μανδύα.



Σχήμα 3.2.36: Συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής K_r

φάση		C20/25	C30/37	C40/50
Ao-Ar	Πρώτες ρωγμές	0,911	0,922	0,932
Bo-Br	Διαρροή χάλυβα	0,949	0,929	0,927
Co-Cr	Αστοχία επικάλυψης	0,973	0,969	0,968
Do-Dr	Σχετ. Μετ. Ορόφου = 3%	0,951	0,932	0,928

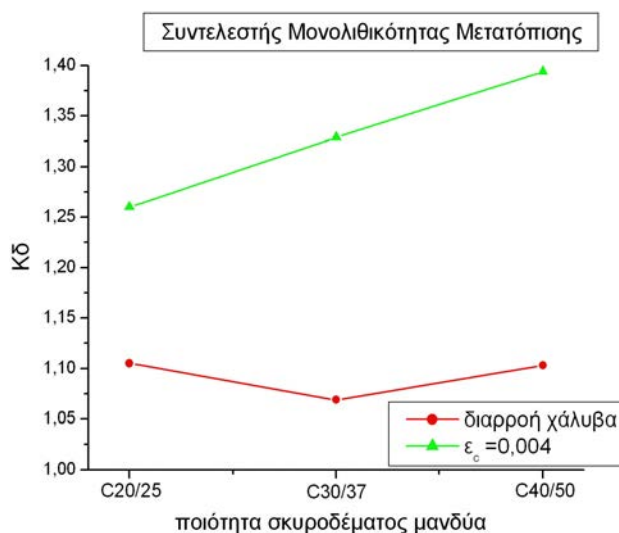
Πίνακας 3.2.28: Τιμές συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής K_r

Και στην περίπτωση αυτού του συντελεστή, η ποιότητα σκυροδέματος του μανδύα δε έχει σημαντικές επιρροές. Για όλες τις ποιότητες σκυροδέματος και σε όλες τις φάσεις της φόρτισης ο συντελεστής έχει τιμές μεγαλύτερες από 0,911 και γενικά η διακύμανσή του είναι πολύ μικρή.

Στο Σχήμα 3.2.37 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας μετατοπίσεων K_δ και ο πίνακας 3.2.29 δείχνει τις τιμές του σε όλες τις φάσεις της φόρτισης.

φάση		C20/25	C30/37	C40/50
Bo-Br	Διαρροή χάλυβα	1,105	1,069	1,103
Co-Cr	Αστοχία επικάλυψης	1,26	1,329	1,394

Πίνακας 3.2.29: Τιμές συντελεστής μονολιθικότητας μετατοπίσεων K_δ



Σχήμα 3.2.37: Συντελεστής μονολιθικότητας μετατοπίσεων K_δ

Ο συντελεστής δεν επηρεάζεται στη φάση της διαρροής του χάλυβα ενώ στη φάση της αστοχίας της επικάλυψης αυξάνεται με την αύξηση της ποιότητας σκυροδέματος του μανδύα.

Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

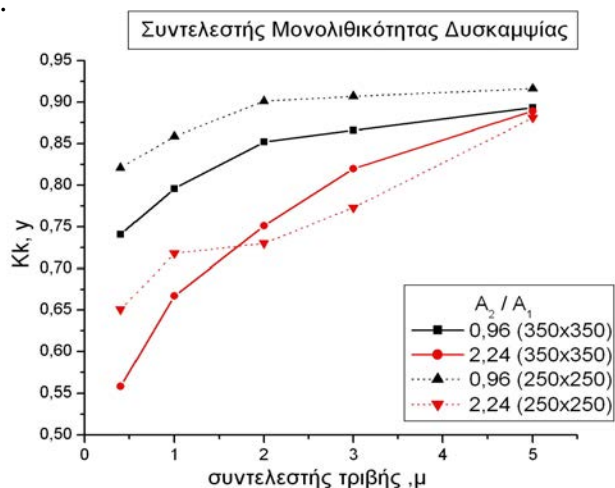
Ακολουθεί σύγκριση των συντελεστών μονολιθικότητας που προκύπτουν από τις προηγούμενες αναλύσεις. Η σύγκριση αφορά τις φάσεις της διαρροής του χάλυβα και της αστοχίας της επικάλυψης, για όλους τους λόγους εμβαδών A_2/A_1 που εξετάστηκαν. Η παρουσίαση γίνεται συναρτήσει των μεταβλητών παραμέτρων συντελεστή τριβής και ανηγμένου αξονικού φορτίου με σκοπό να φανεί η επιρροή του πάχους του μανδύα στον κάθε συντελεστή.

Οι λόγοι εμβαδών A_2/A_1 που εξετάζονται στο κεφάλαιο 8 είναι 0,96 και 2,24 και για αυτές τις τιμές παρουσιάζονται και τα αντίστοιχα αποτελέσματα του κεφαλαίου 7 για υποστυλώματα αρχικής διατομής 250x250mm.

Επιρροή Λόγου A_2/A_1 στους Συντελεστές Μονολιθικότητας στη Φάση της Διαρροής του Χάλυβα του Μανδύα

Εξετάζονται οι συντελεστές μονολιθικότητας δυσκαμψίας, αντοχής και μετατοπίσεων που αφορούν μόνο τη φάση της διαρροής του χάλυβα και συμβολίζονται αντιστοίχως $K_{κ,γ}$ - $K_{r,γ}$ και $K_{δ,γ}$

Το Σχήμα 3.2.38 παρουσιάζει τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας στη διαρροή του χάλυβα συναρτήσει του συντελεστή τριβής, μ , για όλες τις περιπτώσεις λόγου εμβαδών A_2/A_1 που διερευνήθηκαν.



Σχήμα 3.2.38: Συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας στη διαρροή, $K_{κ,γ}$ συναρτήσει του συντελεστή τριβής, μ

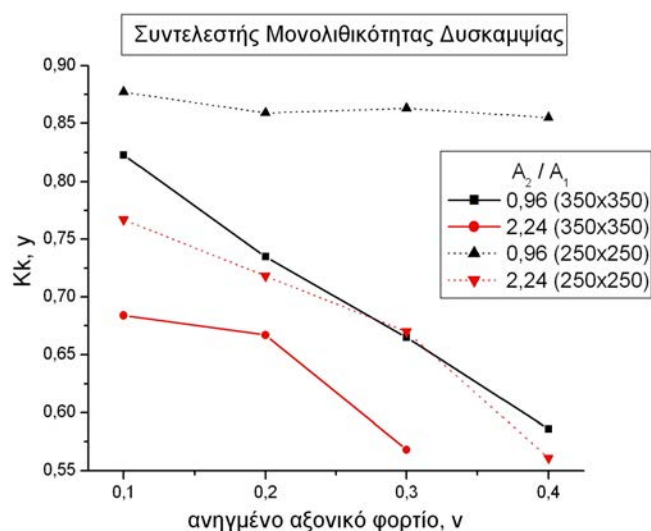
Ο πίνακας 3.2.30 δείχνει τις αντίστοιχες τιμές του συντελεστή $K_{κ,γ}$

	Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
	A_2/A_1			
μ	0,96	2,24	0,96	2,24
0,4	0,741	0,558	0,821	0,651
1	0,796	0,667	0,859	0,718
2	0,852	0,751	0,901	0,73
3	0,866	0,82	0,907	0,773
5	0,893	0,889	0,916	0,881

Πίνακας 3.2.30: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας στη διαρροή $K_{κ,γ}$ - $f(\mu)$

Για λόγο $A_2/A_1=0,96$ κυρίως υπάρχει καλή σύγκλιση μεταξύ των δύο διερευνήσεων που αφορούν την αρχική διατομή του υποστυλώματος και ο συντελεστής έχει ίδια συμπεριφορά συναρτήσει της αύξησης του συντελεστή τριβής. Για λόγο $A_2/A_1=2,24$ ο συντελεστής έχει σύγκλιση για ορισμένες μόνο τιμές συντελεστή τριβής.

Το Σχήμα 3.2.39 παρουσιάζει τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας στη διαρροή του χάλυβα συναρτήσει του ανηγμένου αξονικού φορτίου, ν ενώ ο πίνακας 3.2.31 δείχνει τις αντίστοιχες του τιμές.



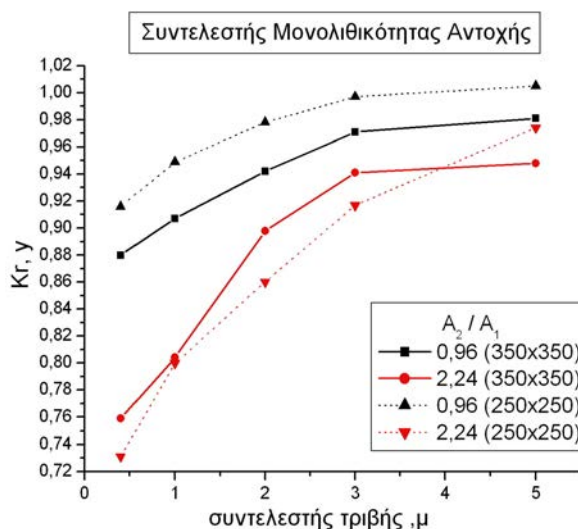
Σχήμα 3.2.39: Συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας στη διαρροή, $K_{\kappa,\gamma}$ συναρτήσει του ανηγμένου αξονικού φορτίου, ν

	Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
	A_2/A_1			
ν	0,96	2,24	0,96	2,24
0,1	0,823	0,684	0,877	0,767
0,2	0,835	0,667	0,859	0,718
0,3	0,665	0,568	0,863	0,67
0,4	0,586	-----	0,855	0,561

Πίνακας 3.2.31: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας στη διαρροή $K_{\kappa,\gamma}-f(\nu)$

Μείωση παρουσιάζει ο συντελεστής $K_{r,y}$ με την αύξηση του ανηγμένου αξονικού φορτίου και για τα δύο πάχη μανδύα που εξετάζονται εν αντιθέσει με την αρχική διερεύνηση υποστυλώματος διατομής 250x250mm.

Τα επόμενα δύο σχήματα παρουσιάζουν τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής στη διαρροή του χάλυβα, $K_{r,y}$ συναρτήσει των μεταβλητών παραμέτρων. Αρχικά παρουσιάζεται το Σχήμα 3.2.40 όπου μεταβλητή παράμετρος είναι ο συντελεστής τριβής, μ στη διεπιφάνεια.



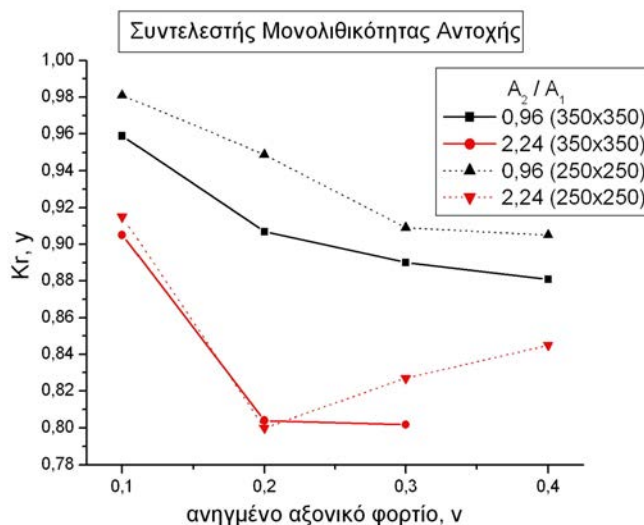
Σχήμα 3.2.40: Συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής στη διαρροή, $K_{r,y}$ συναρτήσει του συντελεστή τριβής, μ

	Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
	A_2/A_1			
μ	0,96	2,24	0,96	2,24
0,4	0,88	0,759	0,916	0,731
1	0,907	0,804	0,949	0,8
2	0,942	0,898	0,978	0,86
3	0,971	0,941	0,997	0,917
5	0,981	0,948	1,005	0,974

Πίνακας 3.2.32: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής στη διαρροή $K_{r,y}$ - $f(\mu)$

Ο συντελεστής $K_{r,y}$ αυξάνεται με την αύξηση του συντελεστή τριβής και για τα δύο πάχη μανδύα. Έχει επίσης συμπεριφορά πολύ κοντινή σε σχέση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από την αρχική διερεύνηση.

Το Σχήμα 3.2.41 παρουσιάζει τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής στη διαρροή του χάλυβα, συναρτήσει του ανηγμένου αξονικού φορτίου, ν , ενώ ο πίνακας 3.2.33 δείχνει τις αντίστοιχες του τιμές.



Σχήμα 3.2.41: Συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής στη διαρροή, $K_{r,y}$ συναρτήσει του ανηγμένου αξονικού φορτίου, ν

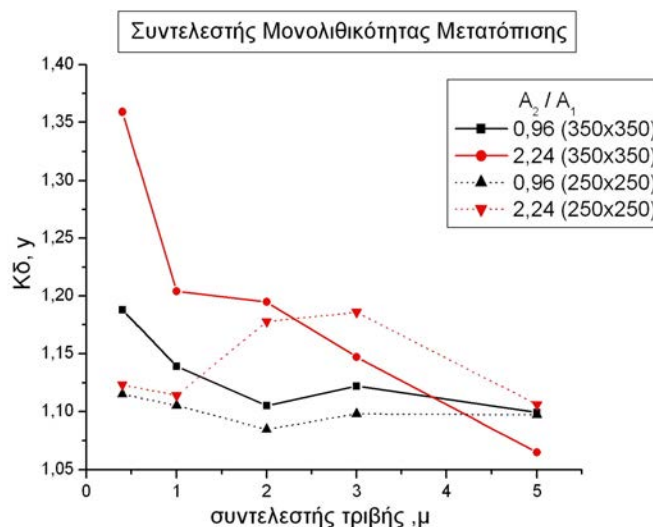
	Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
	A_2 / A_1			
ν	0,96	2,24	0,96	2,24
0,1	0,959	0,905	0,981	0,915
0,2	0,907	0,804	0,949	0,8
0,3	0,89	0,802	0,909	0,827
0,4	0,881	-----	0,905	0,845

Πίνακας 3.2.33: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας στη διαρροή $K_{r,y}-f(\nu)$

Μείωση παρουσιάζει αυτός ο συντελεστής με την αύξηση του ανηγμένου αξονικού φορτίου και στις περιπτώσεις που υπολογίστηκε έχει πολύ καλή σύγκλιση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από την αρχική διερεύνηση και οι διαφορά στις τιμές δεν είναι μεγαλύτερη πουθενά του 3%. Σε όλες τις διερευνήσεις ο συντελεστής έχει τιμές μεγαλύτερες από 0,8.

Ακολουθούν τα σχήματα που περιγράφουν τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας μετατοπίσεων στη διαρροή του χάλυβα, $K_{\delta,y}$. Μεταβλητή

παράμετρος στο σχήμα 3.2.42 είναι ο συντελεστής τριβής, μ στη διεπιφάνεια. Οι τιμές του συντελεστή παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2.34.



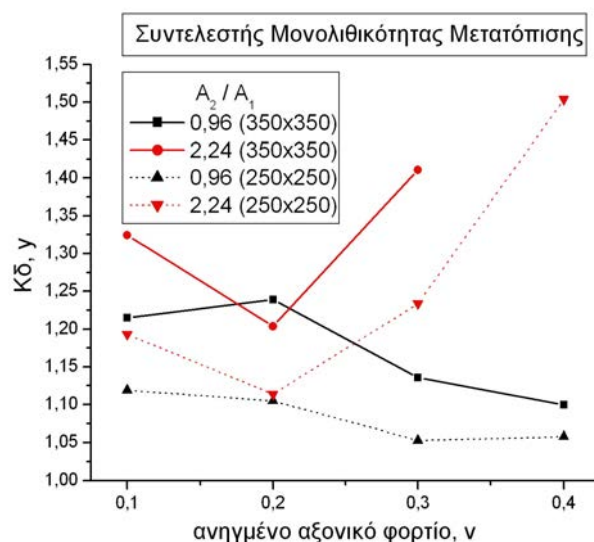
Σχήμα 3.2.42: Συντελεστής μονολιθικότητας μετατοπίσεων στη διαρροή, $K_{\delta,y}$ συναρτήσει του συντελεστή τριβής, μ

	Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
	A_2/A_1			
μ	0,96	2,24	0,96	2,24
0,4	1,188	1,359	1,115	1,123
1	1,139	1,204	1,105	1,114
2	1,105	1,195	1,085	1,178
3	1,122	1,147	1,098	1,186
5	1,099	1,065	1,097	1,106

Πίνακας 3.2.34: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας μετατοπίσεων στη διαρροή, $K_{\delta,y}$ - $f(\mu)$

Ο συντελεστής $K_{\delta,y}$ μειώνεται σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις με την αύξηση του συντελεστή τριβής ενώ παρουσιάζει μεγάλη σύγκλιση με τα αποτελέσματα της αρχικής διερεύνησης όταν ο λόγος A_2/A_1 είναι 0,96.

Το Σχήμα 3.2.43 παρουσιάζει τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας μετατοπίσεων $K_{\delta,y}$ για μεταβλητή παράμετρο το ανηγμένο αξονικό φορτίο και ο πίνακας 3.2.35 παρουσιάζει τις αντίστοιχες τιμές του συντελεστή.



Σχήμα 3.2.43: Συντελεστής μονολιθικότητας μετατοπίσεων στη διαρροή, $K_{\delta,\gamma}$ συναρτήσει του ανηγμένου αξονικού φορτίου, ν

	Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
	A_2 / A_1			
ν	0,96	2,24	0,96	2,24
0,1	1,215	1,324	1,119	1,193
0,2	1,139	1,204	1,105	1,114
0,3	1,136	1,411	1,053	1,234
0,4	1,1	-----	1,058	1,504

Πίνακας 3.2.35: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας μετατοπίσεων στη διαρροή $K_{\delta,\gamma}$ -f(ν)

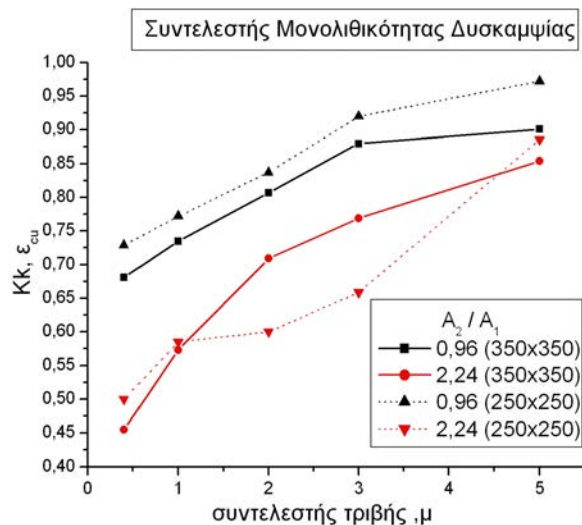
Μεικτές τάσεις παρουσιάζει ο συντελεστής αυτός με την αύξηση του ανηγμένου αξονικού φορτίου ενώ οι διαφορές από τις αντίστοιχες τιμές τις αρχικής διερεύνησης δε ξεπερνούν το 10%.

Επιρροή Λόγου A_2/A_1 στους Συντελεστές Μονολιθικότητας στη Φάση της Αστοχίας της Επικάλυψης του Μανδύα

Σε αυτή την περίπτωση, εξετάζονται οι συντελεστές μονολιθικότητας δυσκαμψίας, αντοχής και μετατοπίσεων που αφορούν μόνο τη φάση όπου αστοχεί η επικάλυψη του μανδύα και συμβολίζονται αντίστοιχα: $K_{k,εcu}$ - $K_{r,εcu}$ και $K_{\delta,εcu}$.

Το Σχήμα 3.2.44 παρουσιάζει τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα $K_{k,εcu}$, συναρτήσει του συντελεστή τριβής, μ , για όλες τις περιπτώσεις λόγου

εμβαδών A_2/A_1 που διερευνήθηκαν, ενώ ο πίνακας 3.2.36 δείχνει τις αντίστοιχες του τιμές



Σχήμα 3.2.44: Συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα, $K_{κ,εκυ}$ συναρτήσει του συντελεστή τριβής, μ

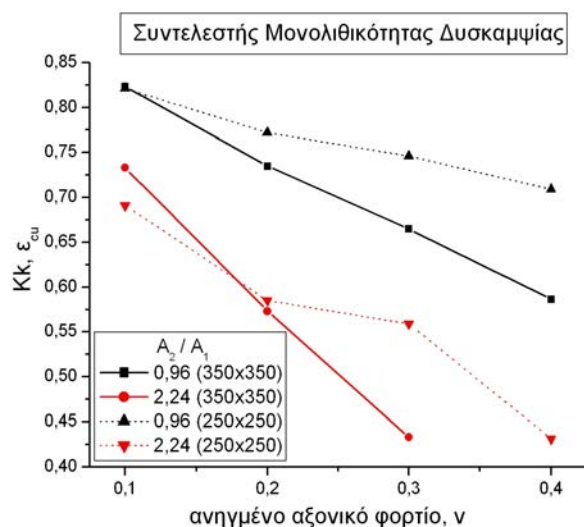
	Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
	A_2/A_1			
μ	0,96	2,24	0,96	2,24
0,4	0,681	0,455	0,729	0,5
1	0,735	0,573	0,772	0,585
2	0,807	0,709	0,837	0,6
3	0,88	0,769	0,92	0,659
5	0,901	0,854	0,972	0,886

Πίνακας 3.2.36: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα, $K_{κ,εκυ}-f(\mu)$

Ο συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας $K_{κ,εκυ}$ αυξάνεται με την αύξηση του συντελεστή τριβής και για τα δύο πάχη μανδύα. Η συμπεριφορά του είναι σε πολλά σημεία ίδια με την διερεύνηση όπου το αρχικό υποστύλωμα είχε διατομή 250x250mm. Για όλους τους συντελεστές τριβής οι τιμές του συντελεστή ελαττώνονται με την αύξηση του λόγου εμβαδών A_2/A_1 .

Το σχήμα 3.2.45 παρουσιάζει τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα συναρτήσει του ανηγμένου αξονικού φορτίου, ν , για όλες τις περιπτώσεις

λόγου εμβαδών A_2/A_1 που διερευνήθηκαν, ενώ ο πίνακας 3.2.37 δείχνει τις αντίστοιχες του τιμές.



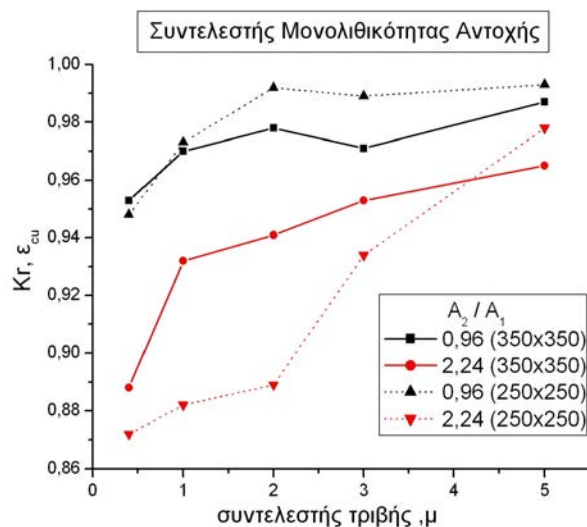
Σχήμα 3.2.45: Συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα, $K_{k, \epsilon_{cu}}$ συναρτήσει του ανηγμένου αξονικού φορτίου

	Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
	A_2/A_1			
ν	0,96	2,24	0,96	2,24
0,1	0,823	0,733	0,821	0,691
0,2	0,735	0,573	0,772	0,585
0,3	0,665	0,433	0,746	0,559
0,4	0,586	-----	0,709	0,431

Πίνακας 3.2.37: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα, $K_{k, \epsilon_{cu}} - f(\nu)$

Ο συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας $K_{k, \epsilon_{cu}}$ μειώνεται με την αύξηση του ανηγμένου αξονικού φορτίου και για τα δύο πάχη μανδύα κάτι που παρατηρήθηκε και στην διερεύνηση όπου το αρχικό υποστύλωμα είχε διατομή 250x250mm. Για λόγο $A_2/A_1=2,24$ οι τιμές του συντελεστή είναι πολύ χαμηλές και ιδιαιτέρως όταν το ανηγμένο αξονικό φορτίο είναι $\nu=0,2-0,3$ και 0,4 όπου και καταλήγει σε τιμές μικρότερες από 0,5.

Στο Σχήμα 3.2.46 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής $K_{r,ecu}$ συναρτήσει της μεταβολής του συντελεστή τριβής, μ και στον πίνακα 3.2.38 φαίνονται οι τιμές αυτού.



Σχήμα 3.2.46: Συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα, $K_{r,ecu}$ συναρτήσει του συντελεστή τριβής, μ .

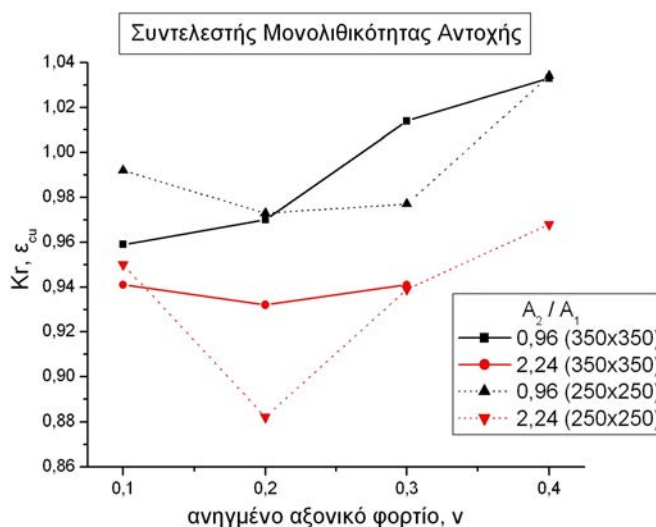
	Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
	A_2 / A_1			
μ	0,96	2,24	0,96	2,24
0,4	0,953	0,888	0,948	0,872
1	0,97	0,932	0,973	0,882
2	0,978	0,941	0,992	0,889
3	0,971	0,953	0,989	0,934
5	0,987	0,965	0,993	0,978

Πίνακας 3.2.38: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα, $K_{r,ecu}$ - $f(\mu)$

Ο συντελεστής αυτός αυξάνεται με την αύξηση του συντελεστή τριβής σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις. Οι τιμές που προκύπτουν είναι αρκετά ψηλές, και σε πολλές περιπτώσεις έχουν ελάχιστη διαφορά από τις αντίστοιχες τιμές στη διερεύνηση υποστυλωμάτων αρχικής διατομής 250x250mm.

Το Σχήμα 3.2.47 παρουσιάζει τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής στη φάση της αστοχίας της επικάλυψης του μανδύα

με μεταβλητή παράμετρο το ανηγμένο αξονικό φορτίο, για όλα τα πάχη μανδύα που διερευνήθηκαν και ο πίνακας 3.2.39 δείχνει τις τιμές του συντελεστή.



Σχήμα 3.2.47: Συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα, $K_{r,ecu}$ συναρτήσει του ανηγμένου αξονικού φορτίου

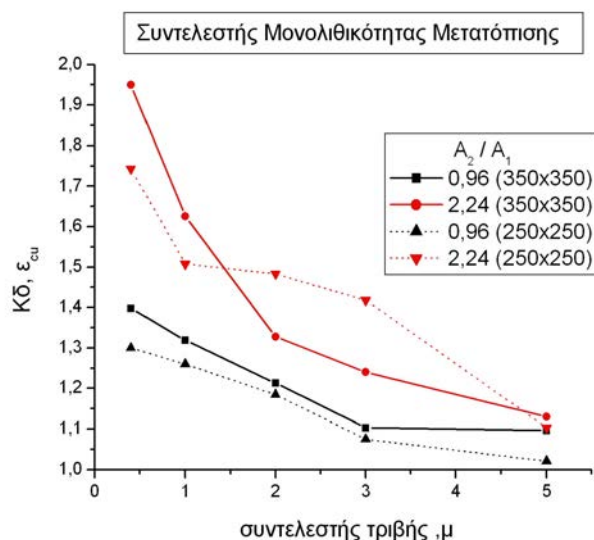
	Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
	A_2/A_1			
ν	0,96	2,24	0,96	2,24
0,1	0,959	0,941	0,992	0,95
0,2	0,97	0,932	0,973	0,882
0,3	1,014	0,941	0,977	0,939
0,4	1,033	-----	1,034	0,968

Πίνακας 3.2.39: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα, $K_{r,ecu}-f(\nu)$

Σε αρκετά ψηλά επίπεδα διατηρείται ο συντελεστή μονολιθικότητας $K_{r,ecu}$ συναρτήσει του ανηγμένου αξονικού φορτίου με τις τιμές να είναι παντού μεγαλύτερες από 0,941. Υπάρχει πολύ καλή σύγκλιση με τις αντίστοιχες τιμές στη διερεύνηση υποστυλωμάτων αρχικής διατομής 250x250mm και χαρακτηριστική είναι η περίπτωση για $\nu=0,4$ και λόγο $A_2/A_1=0,96$ όπου και στις δύο διερευνήσεις ο συντελεστής προέκυψε μεγαλύτερος από τη μονάδα.

Ακολουθούν τα σχήματα τα οποία παρουσιάζουν τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας μετατόπισης στη φάση της αστοχίας της επικάλυψης του μανδύα $K_{\delta, \varepsilon_{cu}}$.

Στο σχήμα 3.2.48 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας μετατοπίσεων συναρτήσει της μεταβολής του συντελεστή τριβής, μ , για όλα τα πάχη μανδύα που διερευνήθηκαν και στον πίνακα 3.2.40 φαίνονται οι τιμές αυτού.



Σχήμα 3.2.48: Συντελεστής μονολιθικότητας μετατοπίσεων στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα, $K_{\delta, \varepsilon_{cu}}$ συναρτήσει του συντελεστή τριβής, μ .

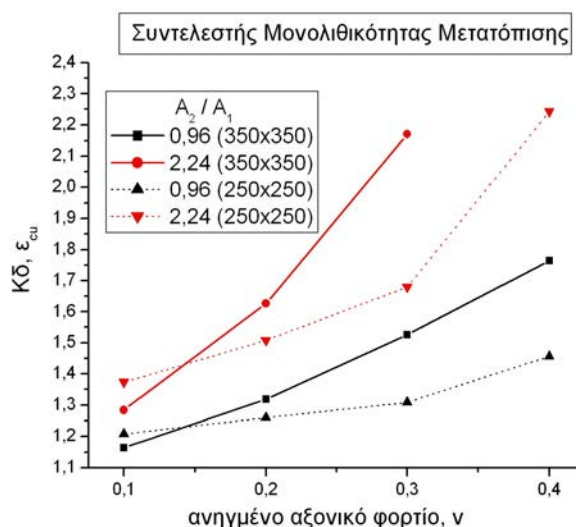
	Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
	A_2/A_1			
μ	0,96	2,24	0,96	2,24
0,4	1,398	1,95	1,3	1,743
1	1,319	1,626	1,26	1,508
2	1,213	1,328	1,185	1,483
3	1,103	1,24	1,075	1,418
5	1,096	1,13	1,021	1,103

Πίνακας 3.2.40: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας μετατοπίσεων στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα, $K_{\delta, \varepsilon_{cu}}-f(\mu)$

Ο συντελεστής $K_{\delta, \varepsilon_{cu}}$ μειώνεται με την αύξηση του συντελεστή τριβής και παράλληλα παρουσιάζει σύγκλιση σε πολλές περιπτώσεις με την διερεύνηση

υποστυλωμάτων αρχικής διατομής 250x250mm, ιδιαιτέρως όταν ο λόγος $A_2/A_1=0,96$ όπου για κάποιες τιμές του συντελεστή τριβής μ , η διαφορά στις τιμές του συντελεστή είναι μικρότερη από 3%.

Το Σχήμα 3.2.49 και ο πίνακας 3.2.41 παρουσιάζουν τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας μετατοπίσεων στη φάση της αστοχίας της επικάλυψης του μανδύα όταν η μεταβλητή παράμετρος είναι το ανηγμένο αξονικό φορτίο.



Σχήμα 3.2.49: Συντελεστής μονολιθικότητας μετατοπίσεων στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα, $K_{\delta,εcu}$ συναρτήσει του ανηγμένου αξονικού φορτίου, ν

	Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
	A_2/A_1			
ν	0,96	2,24	0,96	2,24
0,1	1,164	1,284	1,208	1,374
0,2	1,319	1,626	1,26	1,508
0,3	1,526	2,17	1,309	1,68
0,4	1,764	-----	1,034	2,243

Πίνακας 3.2.41: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας μετατοπίσεων στην αστοχία της επικάλυψης του μανδύα, $K_{\delta,εcu}-f(\nu)$

Ο συντελεστής $K_{\delta,εcu}$ αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του ανηγμένου αξονικού φορτίου και κυρίως για λόγο $A_2/A_1 = 2,24$. Με την διερεύνηση υποστυλωμάτων αρχικής διατομής 250x250mm υπάρχει σύγκλιση στις τιμές

του συντελεστή μόνο όταν το ανηγμένο αξονικό φορτίο έχει τιμές $\nu=0,1$ και $0,2$.

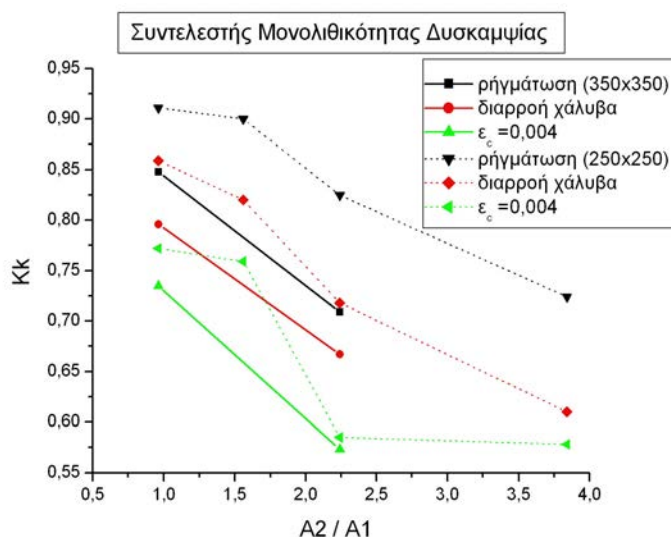
Επιρροή του Πάχους του Μανδύα στους Συντελεστές Μονολιθικότητας

Η παρουσίαση των συντελεστών μονολιθικότητας μπορεί να γίνει και ξεχωριστά για τον κάθε συντελεστή με μεταβλητή παράμετρο το πάχος του μανδύα και κατά συνέπεια το λόγο των εμβαδών A_2/A_1 . Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η μεταβολή των τριών συντελεστών μονολιθικότητας (δυσκαμψίας, αντοχής και μετατοπίσεων) σε όλες τις φάσεις της φόρτισης, με μεταβλητή παράμετρο το λόγο A_2/A_1 . Τα διαγράμματα όμως που ακολουθούν έχουν τις εξής παραμέτρους σταθερές για όλες τις περιπτώσεις συντελεστών μονολιθικότητας:

- συντελεστής τριβής στη διεπιφάνεια, $\mu=1$
- ανηγμένο αξονικό φορτίο, $\nu=0,2$
- ποιότητα σκυροδέματος στο μανδύα, C20/25

Για διαφορετικές τιμές από τις πιο πάνω τα αποτελέσματα προκύπτουν μέσα από τις διερευνήσεις που προηγήθηκαν στα κεφάλαια 7 και 8, οπότε και φαίνεται η επιρροή που έχει η εκάστοτε μεταβλητή παράμετρος στους συντελεστές μονολιθικότητας.

Το Σχήμα 3.2.50 παρουσιάζει την μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k συναρτήσει του λόγου A_2/A_1 στις τρεις πρώτες φάσεις της φόρτισης και στον πίνακα 3.2.42 φαίνονται οι τιμές του συντελεστή. Στο σχήμα και στον πίνακα παρουσιάζονται επίσης τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον συντελεστή K_k στην διερεύνηση υποστυλωμάτων αρχικής διατομής 250x250mm.



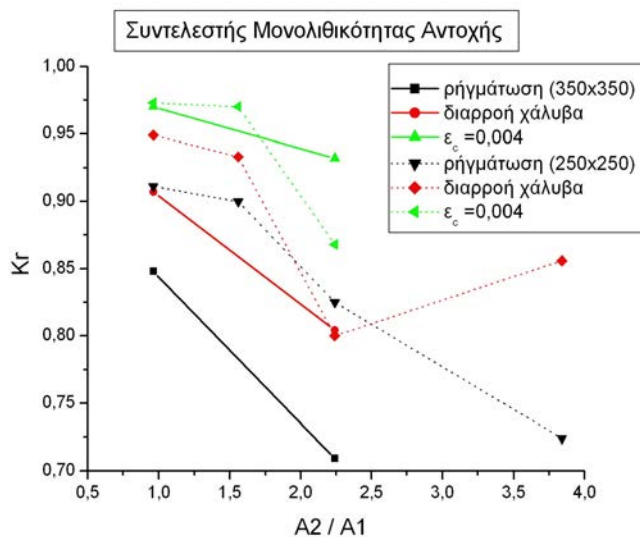
Σχήμα 3.2.50: Συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας συναρτήσει του λόγου A_2/A_1

φάση \ A_2/A_1		Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
		0,96	2,24	0,96	2,24
Ao-Ar	Πρώτες ρωγμές	0,848	0,709	0,911	0,825
Bo-Br	Διαρροή χάλυβα	0,796	0,667	0,859	0,718
Co-Cr	Αστοχία επικάλυψης	0,735	0,573	0,772	0,585

Πίνακας 3.2.42: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k συναρτήσει του λόγου A_2/A_1

Ο συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k μειώνεται με την αύξηση του πάχους του μανδύα σε όλες τις φάσεις της φόρτισης. Οι τιμές που προκύπτουν δεν έχουν μεγάλη διαφορά από τις αντίστοιχες τιμές που προέκυψαν από την διερεύνηση συντελεστών μονολιθικότητας με διατομή αρχικού υποστυλώματος 250x250mm. Στη φάση της διαρροής του χάλυβα και της αστοχίας της επικάλυψης οι τιμές από τις δύο διερευνήσεις δεν διαφέρουν περισσότερο από 6%.

Το Σχήμα 3.2.51 παρουσιάζει την μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής, K_r συναρτήσει του λόγου A_2/A_1 για όλες τις φάσεις της φόρτισης και στον πίνακα 3.2.43 φαίνονται οι τιμές του συντελεστή



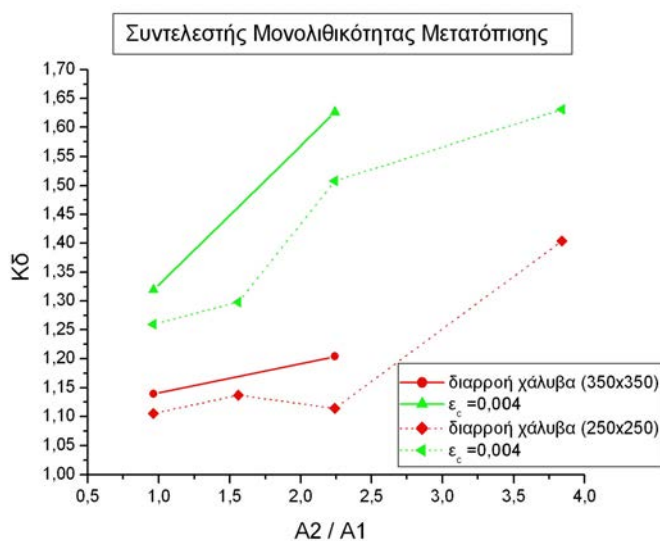
Σχήμα 3.2.51: Συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής, K_r συναρτήσει του λόγου A_2/A_1

φάση A_2/A_1		Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
		0,96	2,24	0,96	2,24
Ao-Ar	Πρώτες ρωγμές	0,845	0,709	0,911	0,825
Bo-Br	Διαρροή χάλυβα	0,907	0,804	0,949	0,8
Co-Cr	Αστοχία επικάλυψης	0,97	0,932	0,973	0,882

Πίνακας 3.2.43: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής, K_r συναρτήσει του λόγου A_2/A_1

Ο συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής, K_r μειώνεται με την αύξηση του πάχους του μανδύα σε όλες τις φάσεις της φόρτισης. Οι τιμές που προκύπτουν και σε αυτήν την περίπτωση δεν έχουν μεγάλη διαφορά από τις αντίστοιχες τιμές που προέκυψαν από την διερεύνηση συντελεστών μονολιθικότητας με διατομή αρχικού υποστυλώματος 250x250mm.

Στο τελευταίο Σχήμα 3.2.52, παρουσιάζει τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας μετατοπίσεων K_δ συναρτήσει του λόγου A_2/A_1 , ενώ ο πίνακας 3.2.44 δείχνει τις τιμές αυτού.



Σχήμα 3.2.52: Συντελεστής μονολιθικότητας μετατοπίσεων K_δ συναρτήσει του λόγου A_2/A_1

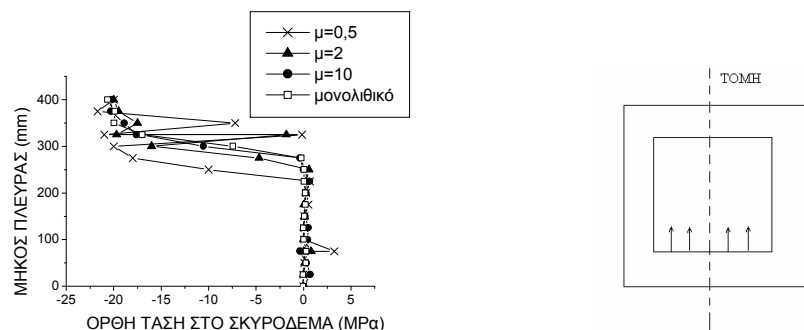
φάση A_2/A_1		Αρχική διατομή 350x350mm		Αρχική διατομή 250x250mm	
		0,96	2,24	0,96	2,24
Bo-Br	Διαρροή χάλυβα	1,139	1,204	1,105	1,114
Co-Cr	Αστοχία επικάλυψης	1,319	1,626	1,26	1,508

Πίνακας 3.2.44: Τιμές συντελεστή μονολιθικότητας μετατοπίσεων K_δ συναρτήσει του λόγου A_2/A_1

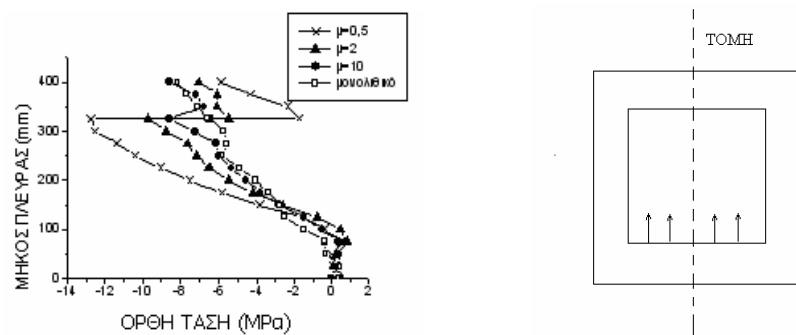
Αύξηση παρουσιάζει ο συντελεστής μονολιθικότητας μετατοπίσεων K_δ συναρτήσει της αύξησης του πάχους του μανδύα και οι τιμές που προκύπτουν δεν διαφέρουν περισσότερο από 8% σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές στη διερεύνηση υποστυλωμάτων αρχικής διατομής 250x250mm.

Σύγκριση Συμπεριφοράς Στοιχείων Ενισχυμένων με Μανδύα και με Μονόπλευρη Επέκταση

Η ανάλυση που ακολουθεί είναι για την περίπτωση που η ενίσχυση γίνεται με ολόσωμο μανδύα πάχους 75 mm . Αρχικά εξετάζεται η επιρροή του συντελεστή τριβής στην συμπεριφορά της διεπιφάνειας. Στη διεπιφάνεια η συνοχή θεωρείται ότι μένει σταθερή και ίση με 1MPa ενώ ο συντελεστής τριβής μεταβάλλεται ($\mu=0.5$, $\mu=2$, $\mu=10$) . Η δύναμη κατά την οποία η παραμόρφωση γίνεται για πρώτη φορά 8 ‰ στην περίπτωση που θεωρείται συντελεστής τριβής $\mu=0.5$ είναι $H=180$ KN . Για την δύναμη αυτή παρουσιάζεται παρακάτω στα Σχήματα 3.2.53 και 3.2.54 ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλονται οι ορθές τάσεις για τους τρεις διαφορετικούς συντελεστές τριβής και για το αντίστοιχο μονολιθικό , σε μια μεσαία τομή της διατομής του ενισχυμένου υποστυλώματος στη βάση και σε ύψος 1m .



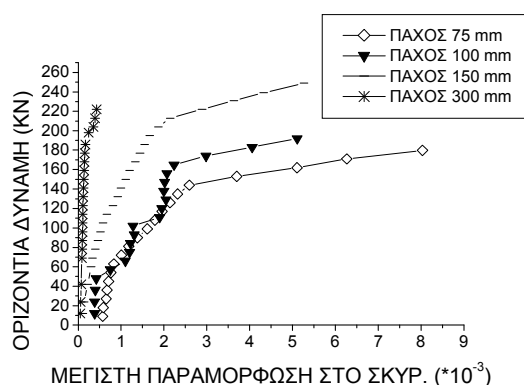
Σχήμα 3.2.53: Κατανομή ορθών τάσεων στο σκυρόδεμα , σε μεσαία τομή σε διατομή στη βάση



Σχήμα 3.2.54: Κατανομή ορθών τάσεων στο σκυρόδεμα , σε μεσαία τομή σε διατομή σε ύψος 1m

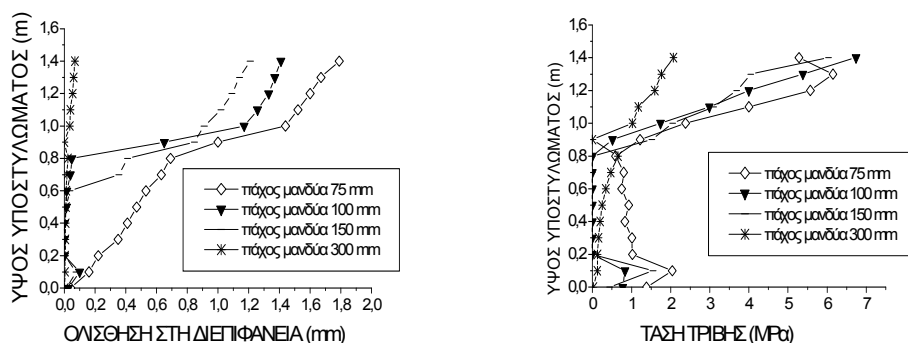
Στο Σχήμα 3.2.54 που παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διατομής της βάσης, φαίνεται η πτώση τάσης στο σημείο της διεπιφάνειας είναι μεγάλη για μικρούς συντελεστές τριβής ενώ για το μονολιθικό και για $\mu=10$ δεν υπάρχει καθόλου πτώση τάσης . Τα ίδια σχεδόν συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν εξετάζοντας την διατομή σε ύψος 1m (Σχήμα 3.2.54).

Στη συνέχεια εξετάζεται η επιρροή του πάχους του μανδύα. Ο ολόσωμος μανδύας που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω είχε πάχος 75mm. Για τον προσδιορισμό της επίδρασης του πάχους του μανδύα χρησιμοποιείται το ίδιο υποσύλωμα ενισχυμένο με μανδύα πάχους 100 , 150 και 300 mm . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συγκριτικά στα παρακάτω σχήματα. Στο Σχήμα 3.2.55 παρουσιάζεται η μεταβολή της μέγιστης παραμόρφωσης του σκυροδέματος συναρτήσει της επιβαλλόμενης οριζόντιας δύναμης για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις.

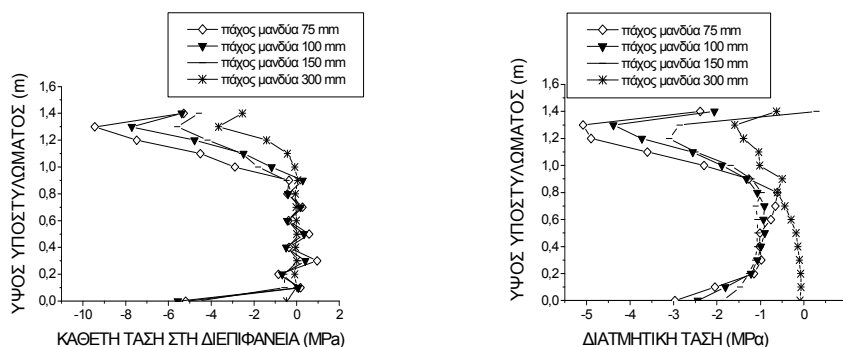


Σχήμα 3.2.55: Διάγραμμα οριζόντιου φορτίου - μετατόπισης κορυφής για τέσσερις περιπτώσεις πάχους του ολόσωμου μανδύα

Στα Σχήματα 3.2.56 και 3.2.57 που ακολουθούν παρουσιάζεται η μεταβολή της ολίσθησης, της τάσης τριβής, της διατμητικής και της κάθετης στη διεπιφάνεια τάσης καθ' ύψος του υποστύλματος, για οριζόντια δύναμη $H=153$ kN (που αντιστοιχεί στο 85% του μέγιστου αναλαμβανόμενου φορτίου για ενίσχυση με ολόσωμο μανδύα πάχους 75mm).

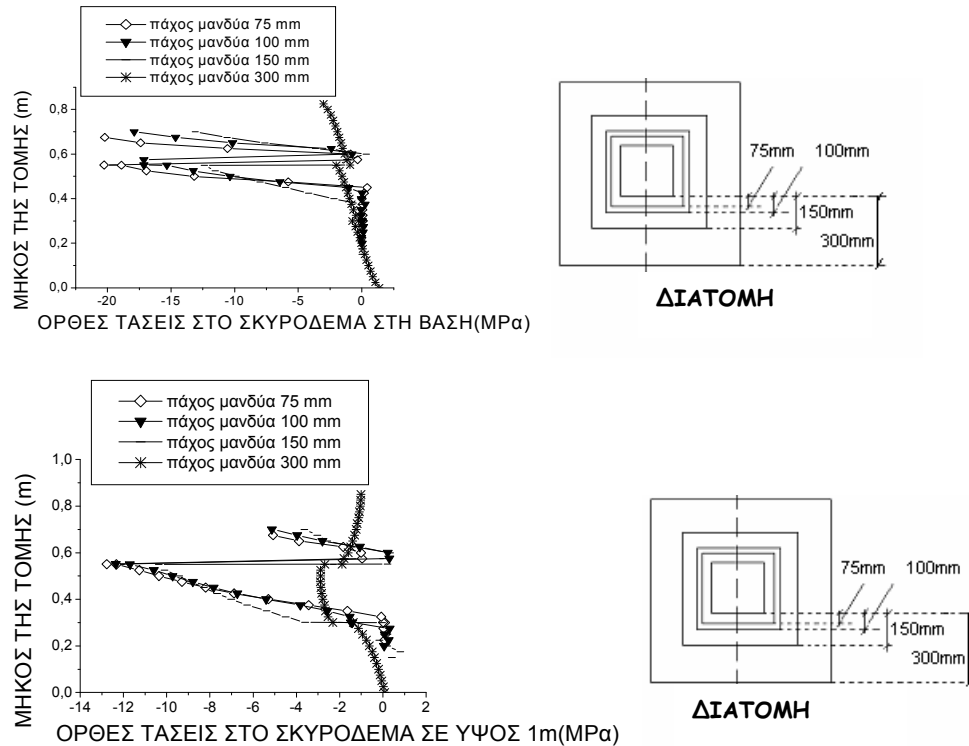


Σχήμα 3.2.56: Κατανομή ολίσθησης και τάσης τριβής καθ' ύψος του υποστύλματος για διάφορα πάχη μανδύα.



Σχήμα 3.2.57: Κατανομή της κάθετης τάσης και διατμητικής τάσης στη διεπιφάνεια καθ' ύψος του υποστύλματος για διάφορα πάχη μανδύα.

Στη συνέχεια στο Σχήμα 3.2.58 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ορθές τάσεις σε μεσαίες τομές στη διατομή του δοκιμίου στη βάση και σε ύψος 1m.

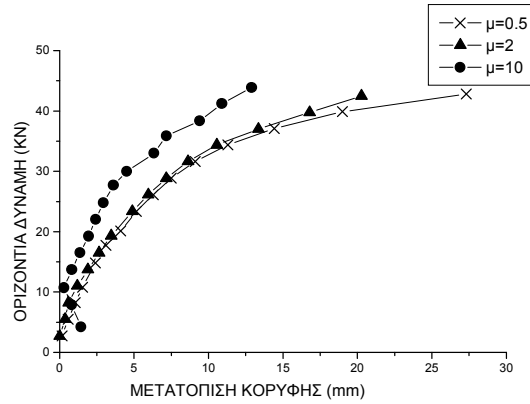


Σχήμα 3.2.58: Κατανομή ορθών τάσεων στο μέσο της διατομής στη βάση και σε ύψος 1m

Από τα Σχήματα 3.2.56 και 3.2.57 παρατηρείται ότι η αύξηση του πάχους του μανδύα, έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ολίσθησης της διεπιφάνειας, της τάσης τριβής, της κάθετης τάσης και της διατμητικής τάσης. Με την αύξηση του πάχους του μανδύα, μειώνεται και η μέγιστη παραμόρφωση, καθώς και οι ορθές τάσεις στην διεπιφάνεια του σκυροδέματος (Σχήμα 3.2.58).

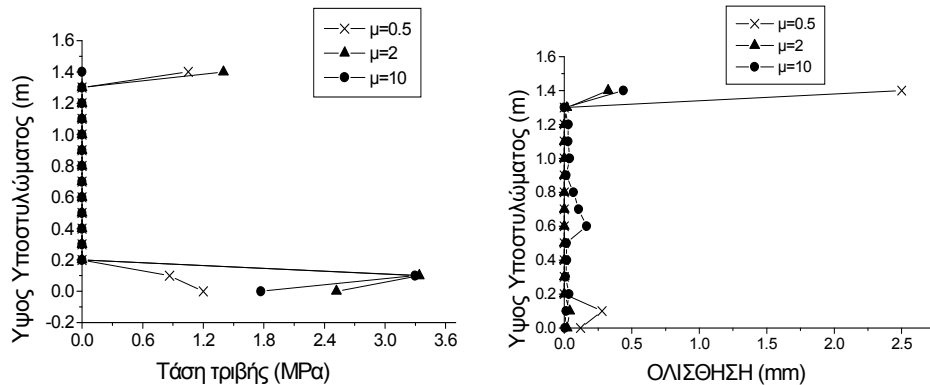
Ενίσχυση Μονόπλευρα με Στρώση Σκυροδέματος

Τα αποτελέσματα που ακολουθούν είναι για την περίπτωση που η ενίσχυση γίνεται με μία στρώση σκυροδέματος, η οποία βρίσκεται στη θλιβόμενη πλευρά, δηλαδή σε επαφή με την πλευρά BC του υποστυλώματος. Η διεπιφάνεια εξιδανικεύεται με σταθερή συνοχή ίση με 1MPa ενώ η τριβή μεταβάλλεται ($\mu=0.5$, $\mu=2$, $\mu=10$). Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 3.2.59) φαίνεται η μεταβολή της οριζόντιας δύναμης με τη μετατόπιση στην κορυφή μέχρι την δύναμη 43 kN η οποία αντιστοιχεί στο στάδιο κατά το οποίο το ενισχυμένο δοκίμιο με συντελεστή τριβής $\mu=0.5$ η μέγιστη παραμόρφωση φτάνει 8 ‰ (κοντά στην βάση του υποστυλώματος).

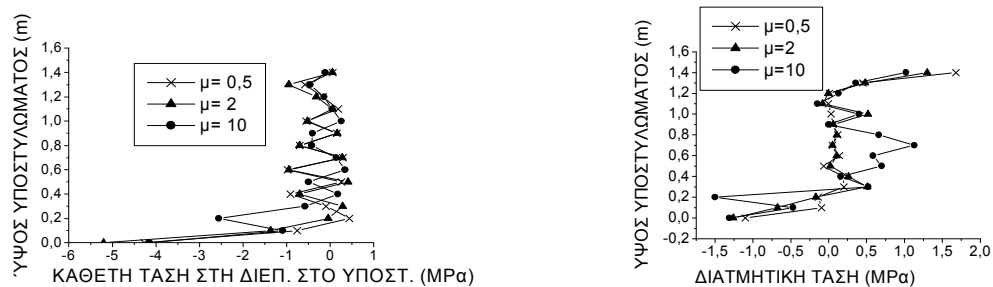


Σχήμα 3.2.59: Μεταβολή οριζόντιου φορτίου-μετατόπισης για μονόπλευρη επέκταση

Στη συνέχεια και για οριζόντια δύναμη 39 kN (που αντιστοιχεί στο 93% του μέγιστου αναλαμβανόμενου φορτίου για μονόπλευρη ενίσχυση με συντελεστή τριβής $\mu=0.5$) παρουσιάζεται (σχήμα 3.2.60 και 3.2.61) η μεταβολή της ολίσθησης, της τάσης τριβής, της διατμητικής και της ορθής στη διεπιφάνεια τάσης σε όλο το ύψος του υποστυλώματος.



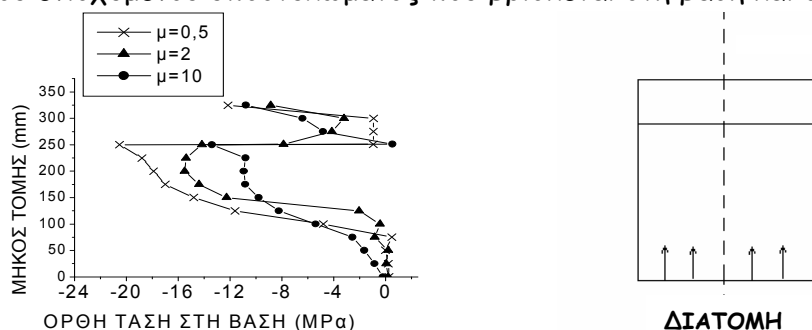
Σχήμα 3.2.60: Μεταβολή ολίσθησης και τάσης τριβής με το ύψος του υποστυλώματος



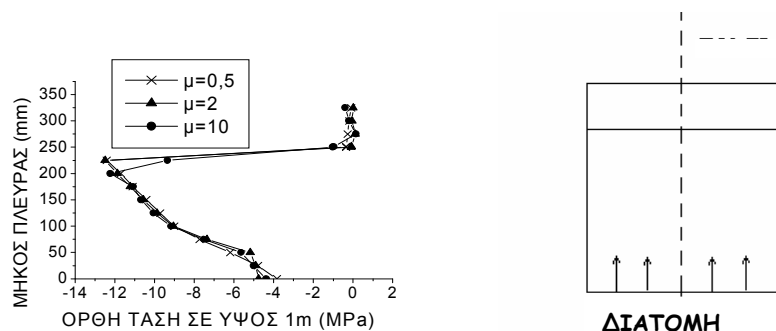
Σχήμα 3.2.61: Διάγραμμα κάθετης στη διεπιφάνεια τάσης και διατμητικής τάσης με το ύψος του υποστυλώματος.

Από τα διαγράμματα του Σχήματος 3.2.60 παρατηρείται ότι η ολίσθηση στη διεπιφάνεια αυξάνεται απότομα στην κορυφή (ανώτατο σημείο) της ενίσχυσης και είναι πολύ μεγαλύτερη για $\mu=0.5$ από ότι για $\mu=2$ και $\mu=10$. Η ίδια εικόνα έχει εντοπιστεί και στην περίπτωση ενίσχυσης με μανδύα (Lampropoulos et al 2003). Η τάση τριβής είναι μεγαλύτερη για μεγάλους συντελεστές τριβής και έχει σημαντικές τιμές κοντά στη βάση. Η κάθετη στη διεπιφάνεια τάση παρουσιάζει σημαντικές τιμές κοντά στην βάση, ενώ η διατμητική τάση φαίνεται να λαμβάνει τις αξιόλογες τιμές τόσο κοντά στην κορυφή όσο και κοντά στην βάση.

Στη συνέχεια και στα Σχήματα 3.2.62 και 3.2.63 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι ορθές τάσεις κατά μήκος μιας κεντρικής τομής στη διατομή του ενισχυμένου υποστυλώματος που βρίσκεται στη βάση και σε ύψος 1m.



Σχήμα 3.2.62: Κατανομή ορθών τάσεων στο σκυρόδεμα στα μέσα της διατομής στη βάση



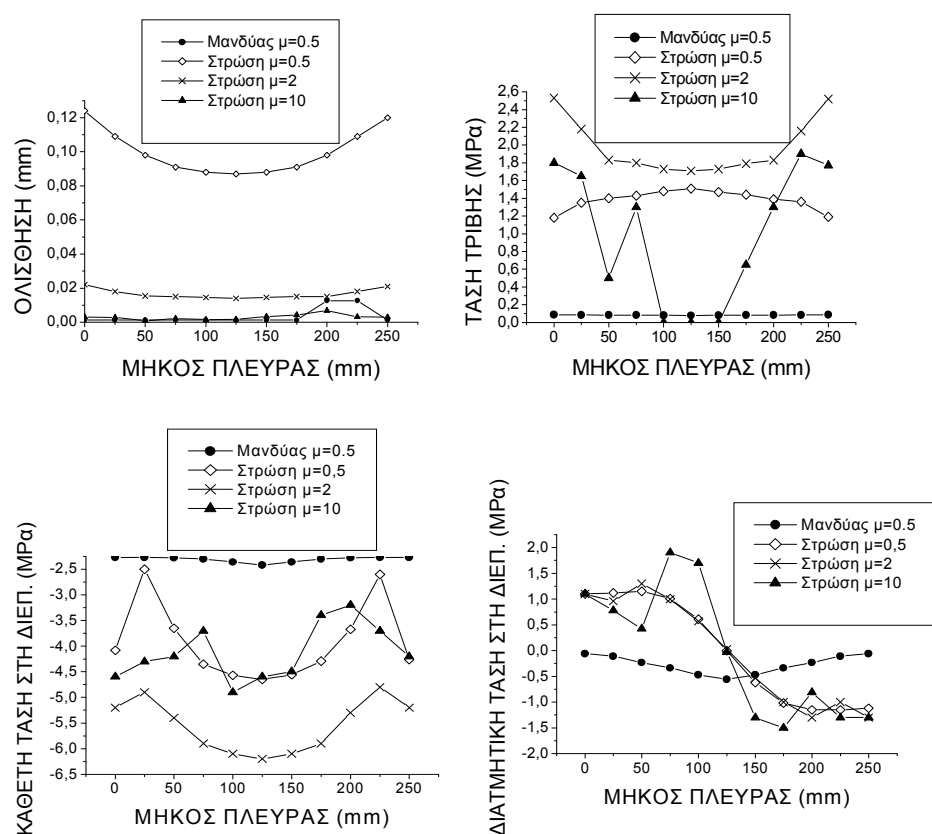
Σχήμα 3.2.63: Κατανομή ορθών τάσεων στο σκυρόδεμα στα μέσα της διατομής σε ύψος 1m

Από τα σχήματα αυτά φαίνεται ότι στη τομή στην βάση υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάλογα με τον συντελεστή τριβής. Συγκεκριμένα στην περίπτωση που ο συντελεστής τριβής είναι πολύ μικρός ($\mu=0.5$) παρατηρείται η μεγαλύτερη θλιπτική τάση στο υποστυλωμα στο σημείο που υπάρχει η διεπιφάνεια, η οποία στη συνέχεια σημειώνει μεγάλη πτώση (την μεγαλύτερη σε σχέση με τους άλλους συντελεστές τριβής) λόγω της ολίσθησης, η οποία

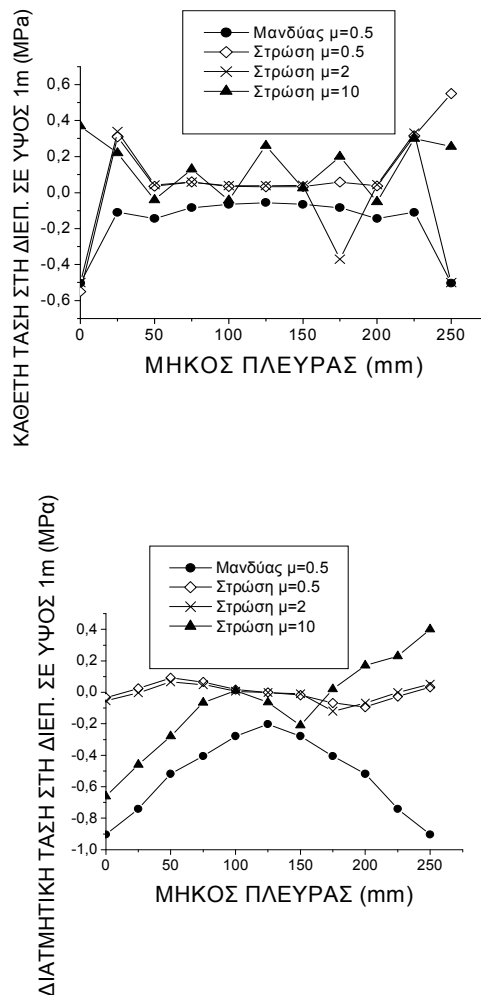
για την περίπτωση αυτή είναι πολύ μεγάλη . Όσο ο συντελεστής τριβής αυξάνεται αυτά γίνονται λιγότερο έντονα . Στην περίπτωση της τομής σε ύψος 1m δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές σε σχέση με τους συντελεστές τριβής.

Συγκρίσεις Μεταξύ Ενίσχυσης με Ολόσωμο Μανδύα και Μονόπλευρης Επέκτασης

Για οριζόντια δύναμη $H=39$ ΚΝ (που αντιστοιχεί στο 93% του μέγιστου αναλαμβανόμενου φορτίου στην περίπτωση της μονόπλευρης επέκτασης) συγκρίνονται τα μεγέθη της ολίσθησης , της τάσης τριβής, της διατμητικής και της κάθετης στη διεπιφάνεια τάσης που αναπτύσσονται κατά μήκος της πλευράς BC. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για τομή της διεπιφάνειας στη βάση (Σχήμα 3.2.64 και σε ύψος 1m (Σχήμα 3.2.65)



Σχήμα 3.2.64: Διάγραμμα ολίσθησης , τάσης τριβής ,κάθετης , στη διεπιφάνεια τάσης και διατμητικής τάσης κατά μήκος της διεπιφάνειας , στη βάση του υποστυλώματος , για ενίσχυση με μανδύα και στρώση



Σχήμα 3.2.65: Διάγραμμα κάθετης στη διεπιφάνεια τάσης και διατμητικής τάσης κατά μήκος της διεπιφάνειας , σε ύψος 1m , για ενίσχυση με μανδύα και στρώση

Από το Σχήμα 3.2.64 φαίνεται ότι η ολίσθηση είναι μεγάλη για ενίσχυση με μια στρώση , με μικρό συντελεστή τριβής ενώ όταν η ενίσχυση γίνεται με ολόσωμο μανδύα η ολίσθηση γίνεται πολύ μικρή . Η τάση τριβής για ενίσχυση με ολόσωμο μανδύα είναι σημαντικά μικρότερη από αυτήν για ενίσχυση με στρώσεις . Το ίδιο συμβαίνει και για την κάθετη στη διεπιφάνεια τάση καθώς και για την διατμητική τάση . Τέλος από το Σχήμα 3.2.65 παρατηρείται ότι η διατμητική τάση αυξάνεται σε ύψος 1m για ενίσχυση με ολόσωμο μανδύα.

Εξ' άλλου συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων που παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.2.53, 3.2.54, 3.2.62 και 3.2.63, μπορεί να παρατηρηθεί ότι η απότομη μεταβολή των ορθών τάσεων (και παραμορφώσεων) που παρατηρείται στη διεπιφάνεια (στα εκατέρωθεν στοιχεία) στην περίπτωση της μονόπλευρης επέκτασης, ακόμα και για υψηλές

τιμές του συντελεστή τριβής, μειώνεται σημαντικά όταν η ενίσχυση γίνεται με μανδύα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα που προαναφέρθηκαν ως κρίσιμοι παράμετροι που επηρεάζουν τον συντελεστή μονολιθικότητας πρέπει να θεωρηθούν οι εξής:

(α) ο συντελεστής τριβής, μ , στη διεπιφάνεια του αρχικού υποστρώματος και του μανδύα, (β) το ανηγμένο αξονικό φορτίο, ν , (γ) η ποιότητα σκυροδέματος του μανδύα, (δ) το πάχος του μανδύα.

Συνοπτικά η επιρροή κάθε μιας από τις παραπάνω παραμέτρους είναι:

(α) Ο συντελεστής τριβής, μ , στη διεπιφάνεια του αρχικού υποστρώματος και του μανδύα

Η επιρροή του συντελεστή τριβής στη διεπιφάνεια είναι πολύ σημαντική σε όλους τους συντελεστές μονολιθικότητας. Με την αύξηση του συντελεστή αυξάνονται οι συντελεστές μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k και αντοχής K_r , ενώ μειώνεται ο συντελεστής μονολιθικότητας μετατοπίσεων K_δ . Αυτό συμβαίνει σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις όπου αυξάνεται ο συντελεστής τριβής, με πολύ λίγες εξαιρέσεις που και αυτές ίσως να οφείλονται σε μικρά σφάλματα που δημιουργούνται λόγω των πολλών πράξεων που γίνονται με ακρίβεια χιλιοστού. Μόνο στη φάση όπου η σχετική μετατόπιση ορόφου είναι 3%, οι συντελεστές σε πολλές περιπτώσεις παραμένουν σταθεροί. Για συντελεστή τριβής $\mu=0,4$ που αντιστοιχεί με πολύ λεία διεπιφάνεια οι τιμές των συντελεστών είχαν τιμές με τη μεγαλύτερη απόκλιση από τη μονάδα, ενώ χαρακτηριστικά για $\mu=5$ οι συντελεστές σε όλες τις φάσεις της φόρτισης πλησίαζαν πολύ τη μονάδα δείχνοντας έτσι ότι το ενισχυμένο δοκίμιο συμπεριφέρεται όπως το αντίστοιχο μονολιθικό του. Ο συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής K_r είναι πάντοτε μεγαλύτερος από τον συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k ενώ ο συντελεστής μονολιθικότητας μετατοπίσεων K_δ είναι πάντοτε μεγαλύτερος της μονάδας.

(β) Το ανηγμένο αξονικό φορτίο, ν

Σημαντική είναι και η επιρροή που έχει το ανηγμένο αξονικό φορτίο, ν , στις τιμές των συντελεστών μονολιθικότητας. Η μεταβολή του αλλάζει και τους συντελεστές, άλλα όχι πάντοτε με τον ίδιο τρόπο. Η αύξηση του ανηγμένου αξονικού φορτίου:

- μειώνει τον συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k στις πλείστες περιπτώσεις και σε όλες τις φάσεις της φόρτισης. Σε κάποιες φάσεις όμως ο συντελεστής έχει ελάχιστη μεταβολή.
- προκαλεί ποικίλες αντιδράσεις στον συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής K_r . Σε πολλές περιπτώσεις μειώνει το συντελεστή αρχικά ενώ για μεγαλύτερες τιμές του ν συντελεστής αυξάνεται. Κάτι συγκεκριμένο δεν προκύπτει όπως στην περίπτωση που μεταβλητή παράμετρος είναι ο

συντελεστής τριβής και γι' αυτό το λόγο πρέπει να ανατρέξει ο αναγνώστης σε συγκεκριμένα διαγράμματα που υπάρχουν στην εργασία για να δει την ακριβή συμπεριφορά του συντελεστή αναλόγως των συνθηκών φόρτισης, του πάχους του μανδύα και της διατομής του αρχικού υποστυλώματος.

- αυξάνει το συντελεστή μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_δ , σε όλες τις φάσεις της φόρτισης. Για τις μικρότερες τιμές του ανηγμένου αξονικού φορτίου, ο συντελεστής K_δ έχει μικρές σχετικά μεταβολές ενώ η αύξηση του συντελεστή είναι σημαντικότερη για την τιμή $\nu=0,4$ όπου σε κάποιες περιπτώσεις ο συντελεστής K_δ ξεπερνά την τιμή 2.

γ) Η ποιότητα σκυροδέματος του μανδύα

Η παράμετρος αυτή δεν έχει πολύ σημαντική επιρροή στους συντελεστές μονολιθικότητας γενικά. Για το λόγο αυτό εξετάστηκε μόνο σε υποστυλώματα αρχικής διατομής 250x250mm. Με την αύξηση της ποιότητας σκυροδέματος δεν προκύπτει κάποιο συγκεκριμένο συμπέρασμα για τον κάθε συντελεστή. Αυξομείωση σε ένα συντελεστή παρατηρείται ορισμένες φορές με την μεταβολή της ποιότητας σκυροδέματος του μανδύα κατά σειρά σε C20/25-C30/37-C40/50 ενώ σε άλλες περιπτώσεις ο ίδιος συντελεστής για την ίδια μεταβολή έχει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά. Σε γενικές γραμμές όμως οι μεταβολές που προκαλεί η συγκεκριμένη παράμετρος στους συντελεστές είναι μικρής κλίμακας. Με την αύξηση της ποιότητας σκυροδέματος του μανδύα:

- ο συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k μειώνεται πολύ λίγο σε κάποιες φάσεις της φόρτισης, ενώ σε κάποιες άλλες παραμένει σταθερός.
- οι συντελεστές μονολιθικότητας αντοχής K_r και μετατοπίσεων K_δ παρουσιάζουν αυξομειώσεις σε όλες τους τις φάσεις.

(δ) Το πάχος του μανδύα

Το πάχος του μανδύα αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο όσον αφορά την εκτίμηση των συντελεστών μονολιθικότητας αλλά και στη στρατηγική που ακολουθείται για την ενίσχυση ενός υποστυλώματος. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η επιρροή του πάχους του μανδύα μέσω του λόγου των εμβαδών A_2/A_1 (εμβαδό αρχικού υποστυλώματος προς εμβαδό μανδύα). Τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις δείχνουν χαρακτηριστικά ότι με την αύξηση του λόγου A_2/A_1 :

- οι συντελεστές μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k και αντοχής K_r , μειώνονται σε όλες τις φάσεις της φόρτισης. Σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις κάποιοι συντελεστές που προκύπτουν για λόγο $A_2/A_1= 2,24$ είναι μεγαλύτερη από τους αντίστοιχους τους συντελεστές για λόγο $A_2/A_1= 3,84$. Τα αποτελέσματα πάντως που προκύπτουν για λόγο $A_2/A_1= 3,84$ είναι πολύ χαμηλά (σε πολλές φορές οι τιμές είναι μικρότερες από 0,5) και χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή. Φαίνεται πάντως ότι για τόσο

μεγάλο πάχος μανδύα το ενισχυμένο δοκίμιο δεν έχει συμπεριφορά αντίστοιχη με τα δοκίμια που έχουν πιο μικρό πάχος μανδύα. Ιδιαίτερα δε ο συνδυασμός μεγάλου πάχους μανδύα και μεγάλου ανηγμένου αξονικού φορτίου προκαλούσε σημαντικά προβλήματα στη συμπεριφορά των δοκιμίων. Το αξονικό φορτίο δε μπορούσε να μεταφερθεί σωστά στο μανδύα και στο αρχικό υποστύλωμα αναπτύσσονταν μεγάλες θλιπτικές παραμορφώσεις με αποτέλεσμα την πρόωρη αστοχία του δοκιμίου.

- ο συντελεστής μονολιθικότητας μετατοπίσεων K_8 , αυξάνεται όσο αυξάνει το πάχος του μανδύα. Για λόγους $A_2/A_1=0,96$ και $1,56$ η μεταβολή του συντελεστή είναι μικρή τις πιο πολλές φορές ενώ για μεγαλύτερους λόγους παρατηρούνται απότομες μεταβολές και ακραίες πολλές φορές τιμές στις τιμές του συντελεστή. Τα ακραία αποτελέσματα εμφανίστηκαν στις περιπτώσεις όπου ο συντελεστής τριβής στη διεπιφάνεια έχει τιμή $\mu=0,4$ και το ανηγμένο αξονικό φορτίο είναι $\nu=0,3$ ή $0,4$.

Εξάλλου από το σύνολο των αναλύσεων που προηγήθηκε προέκυψε ότι: (α) η ολίσθηση στη διεπιφάνεια παλαιού- νέου σκυροδέματος στη περίπτωση κατασκευής ολόπλευρου μανδύα είναι σημαντικά μικρότερη σε σύγκριση με την περίπτωση που η ενίσχυση του παλαιού στοιχείου γίνεται με μονόπλευρη επέκταση, (β) η αύξηση του πάχους του μανδύα, έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ολίσθησης της διεπιφάνειας, της τάσης τριβής, της κάθετης τάσης και της διατμητικής τάσης.