

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ANSYS

ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΜΙΧΑΛΗΣ – ΠΙΣΤΕΝΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Περίληψη

Στη παρούσα εργασία γίνεται ενίσχυση δοκού με πρόσθετη στρώση σκυροδέματος και διερεύνηση των συντελεστών μονολιθικότητας με τη χρήση του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων ANSYS. Σκοπός της εργασίας είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων για τους συντελεστές μονολιθικότητας που θα προκύψουν και σύγκριση τους με υπάρχουσες τιμές.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για τη μεταφορά των πραγματικών χαρακτηριστικών απόκρισης του σύνθετου στοιχείου στα αντίστοιχα ενός ίδιου στοιχείου θεωρούμενου μονολιθικού, χρησιμοποιούνται διορθωτικοί συντελεστές μοντέλου (K) που ονομάζονται συντελεστές μονολιθικότητας.

Ο προσδιορισμός των διορθωτικών συντελεστών μοντέλου είναι ένα αρκετά δύσκολο θέμα και απαιτούνται εκτεταμένες πειραματικές δοκιμές για να προκύψουν τα πραγματικά χαρακτηριστικά δυσκαμψίας και αντοχής των επισκευασμένων και ενισχυμένων στοιχείων που στη συνέχεια θα συγκριθούν με των αντίστοιχων μονολιθικών στοιχείων. Στη συνέχεια θα ακολουθήσει η περιγραφή του τρόπου λειτουργίας και δυνατοτήτων του προγράμματος ANSYS, η περιγραφή του προβλήματος, τα αποτελέσματα και η εξαγωγή συμπερασμάτων.

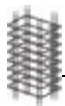
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ANSYS ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.

2.1 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ANSYS

Το πρόγραμμα ANSYS λειτουργεί με τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων και παρέχει πολλαπλές δυνατότητες όπως μιας απλής γραμμικής στατικής ανάλυσης έως και μίας πολύπλοκης μη γραμμικής μεταβαλλόμενης δυναμικής ανάλυσης.

Το πρόγραμμα ANSYS δύναται να πραγματοποιήσει τις ακόλουθες αναλύσεις :

- Κατασκευαστική Ανάλυση
- Ηλεκτρομαγνητική Ανάλυση
- Θερμική Ανάλυση
- FLOTRAN Ανάλυση
- Συνδυαστική Ανάλυση



Κατά τη κατασκευαστική ανάλυση μπορεί να γίνουν τα εξής:

- Στατικός υπολογισμός ενός φορέα με προσδιορισμό των μεγεθών παραμόρφωσης και έντασης.
- Υπολογισμός των ιδιομορφών και ιδιοσυχνοτήτων μιας κατασκευής.
- Υπολογισμός της γραμμικής και δυναμικής ανταπόκρισης μιας κατασκευής λόγω της δράσης αρμονικών μεταβαλλόμενων με το χρόνο εξωτερικών φορτίων
- Υπολογισμός των κρίσιμων φορτίων υπό την επίδραση των οποίων επέρχεται αστάθεια στην κατασκευή .
- Φασματική ανάλυση

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Αμφίπακτη δοκός ανοίγματος 4m, πλάτους 20cm και ύψους 40cm φορτίζεται με ομοιόμορφο φορτίο 60 KN/m και έχει κατηγορία ποιότητας σκυροδέματος C16/20. Θα εξετάσουμε την ίδια δοκό με κάποια βλάβη στο κάτω πέλμα της. Τη βλάβη αυτή θα την εξιδανικεύσουμε χρησιμοποιώντας μικρότερη κατηγορία ποιότητας σκυροδέματος στο κάτω πέλμα. Σε ύψος 20cm θα χρησιμοποιήσουμε ποιότητα σκυροδέματος C12/15 ενώ στο υπόλοιπο τμήμα της δοκού θα παραμείνει ως έχει C16/20.

Για την ενίσχυση της δοκού θα γίνει μια επιπρόσθετη στρώση σκυροδέματος στο κάτω πέλμα της οποίας το ύψος θα μεταβάλλεται. Για τη νέα στρώση θα χρησιμοποιηθεί σκυροδέμα κατηγορίας C20/25.

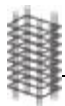
Δημιουργείται διεπιφάνεια μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος και για τον τρόπο σύνδεσης επιλέγουμε συντελεστή τριβής στη διεπιφάνεια $\mu=0.8$. Ο συντελεστής αυτός αντιστοιχεί σε λεία διεπιφάνεια σύμφωνα με διάφορα πειραματικά αποτελέσματα. Πραγματοποιήθηκαν διαδοχικές επίλψεις του προβλήματος και κάθε φορά άλλαζε το ύψος στρώσης ενίσχυσης. Τα ύψη της στρώσης που χρησιμοποιήθηκαν είναι 5cm, 6cm, 8cm και 10cm.

Ακολούθως έγινε επίλυση της μονολιθικής δοκού για κάθε ύψος νέας στρώσης. Η μονολιθική δοκός επιλύθηκε 4 φορές με ύψη 45cm, 46cm, 48cm και 50cm. Χρησιμοποιήθηκε ποιότητα σκυροδέματος C16/20.

Μετά από κάθε ανάλυση καταγράφονταν τα εξής:

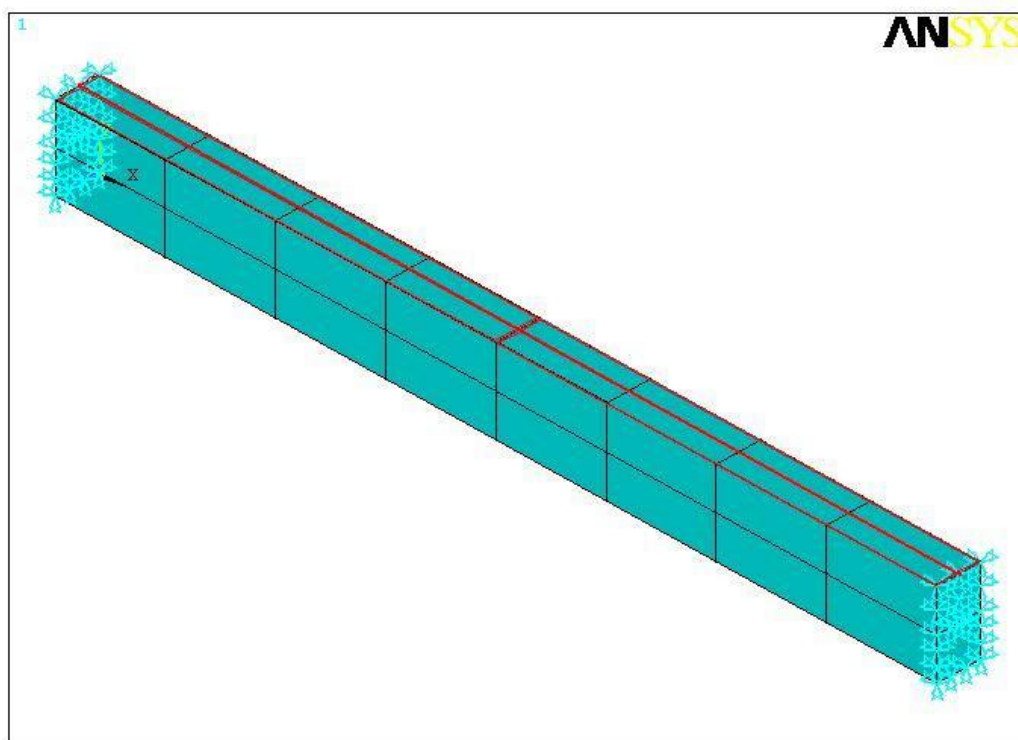
- Οι μέγιστες μετατοπίσεις (U_y) κατά τον κατακόρυφο άξονα y
- Οι ορθές τάσεις (σ_x) που ενεργούν στο επίπεδο YZ
- Οι μέγιστες διατμητικές τάσεις (τ_{xy}) που ενεργούν στο επίπεδο XZ

Ακολούθως τα αποτελέσματα ταξινομούνται και υπολογίζονται οι διάφοροι συντελεστές μονολιθικότητας. Γίνονται τα διαγράμματα που δείχνουν τη μεταβολή του συντελεστή μονολιθικότητας συναρτήσει του πάχους της νέας στρώσης και εξάγονται συμπεράσματα.

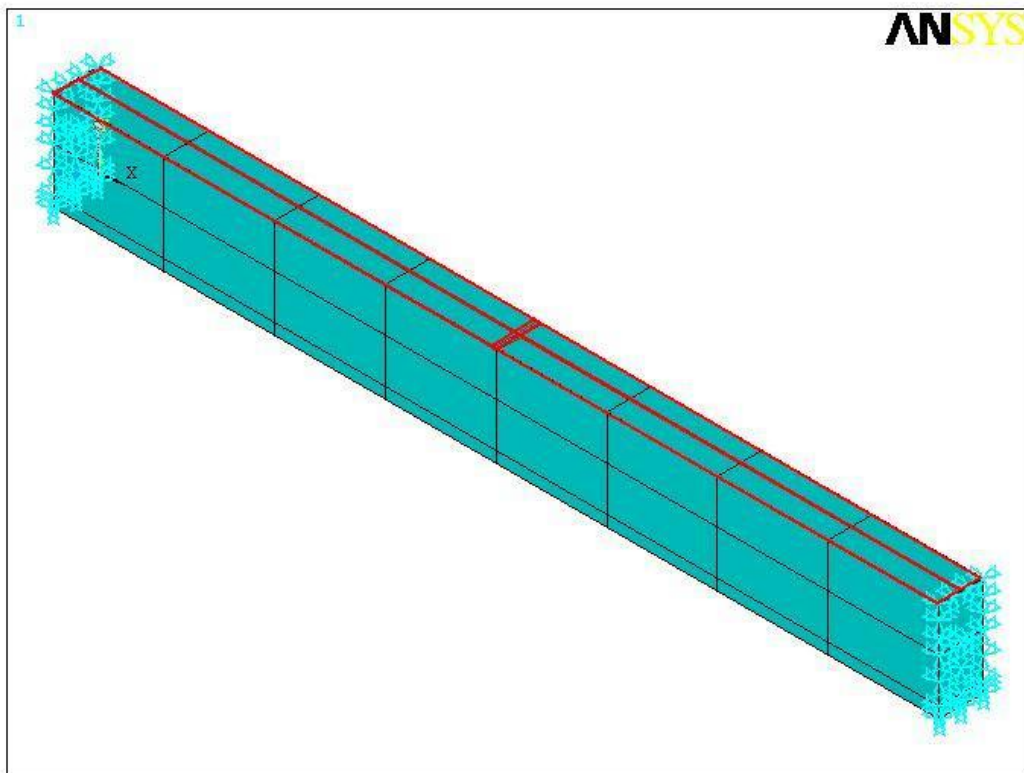
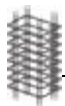


2.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΚΟΥ ΚΑΙ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Η δοκός από σκυρόδεμα καθώς και η νέα στρώση σκυροδέματος μοντελοποιούνται με τρισδιάστατα οκτάκομβα γραμμικά στοιχεία με 3 βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο(u_x, u_y, u_z) τύπου SOLID65. Η διακριτοποίηση της δοκού σε πεπερασμένα στοιχεία φαίνεται στο σχήμα 2.3.1 ενώ στο επόμενο σχήμα 2.3.2 φαίνεται η διακριτοποίηση της δοκού και της επιπρόσθετης στρώσης σκυροδέματος.



Σχήμα 2.3.1. Διακριτοποίηση δοκού σε πεπερασμένα στοιχεία



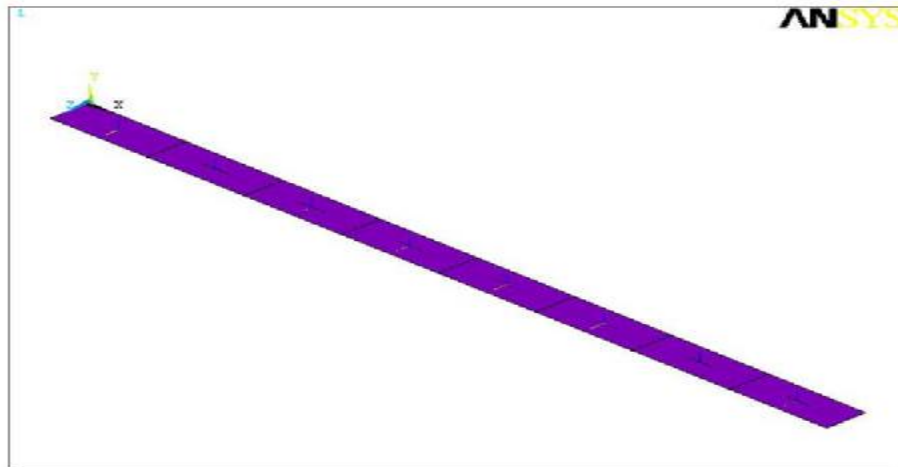
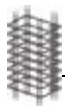
Σχήμα 2.3.2 Διακριτοποίηση δοκού και επιπρόσθετη στρώση

Η διεπιφάνεια μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος μοντελοποιείται με στοιχεία επαφής (contact elements) επιφάνεια προς επιφάνεια. Υπάρχουν δύο επιφάνειες επαφής :

- α) η target surface της επιπρόσθετης στρώσης η οποία μοντελοποιείται με δισδιάστατα γραμμικά στοιχεία TARGE170 με τέσσερις βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο($u_x, u_y, u_z, temp$).
- β) η contact surface που είναι η επιφάνεια της δοκού στην οποία θα προσκολληθεί η νέα στρώση η οποία μοντελοποιείται με δισδιάστατα γραμμικά στοιχεία CONTA174 με τέσσερις βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο ($u_x, u_y, u_z, temp$).

Οι δύο αυτές επιφάνειες δημιουργούν ένα ζεύγος επαφής (contact pair) που αντιπροσωπεύει τη διεπιφάνεια των δύο στρώσεων σκυροδέματος (παλαιού και νέου).

Η διακριτοποίηση της διεπιφάνειας σε πεπερασμένα στοιχεία φαίνεται στο σχήμα 2.3.3.



Σχήμα 2.3.3 Διακριτοποίηση διεπιφάνειας σε πεπερασμένα στοιχεία

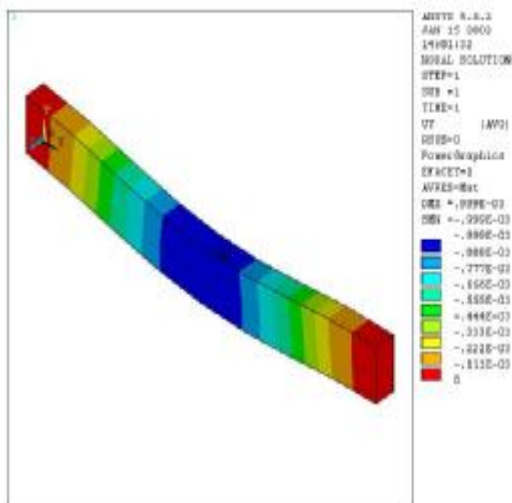
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

3.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΟΤΗΤΑΣ

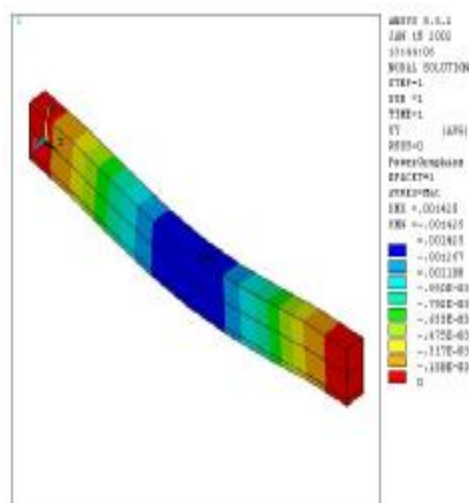
Οι παράγοντες που επηρεάζουν τους συντελεστές μονολιθικότητας α) ο συντελεστής τριβής μ μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος β) το πάχος της νέας στρώσης γ) η ποιότητα του νέου σκυροδέματος δ) η έκταση της βλάβης του παλιού σκυροδέματος ε) ο βαθμός της βλάβης του παλιού σκυροδέματος στ) οι διεπιφάνειες και οι ασυνέχειες μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος.

Η εκτίμηση των συντελεστών μονολιθικότητας γίνεται ως ακολούθως:

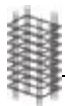
1. Ο συντελεστής μονολιθικότητας ακαμψίας K_k υπολογίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης μετατόπισης κατά τον κατακόρυφο άξονα y (U_y) της μονολιθικής δοκού προς την αντίστοιχη μετατόπιση της ενισχυμένης δοκού. Η μέγιστη μετατόπιση (U_y) τόσο της μονολιθικής δοκού (σχήμα 3.1.1) όσο και της ενισχυμένης δοκού (σχήμα 3.1.2) παρουσιάζεται στο μέσο σε όλα τα παραδείγματα.



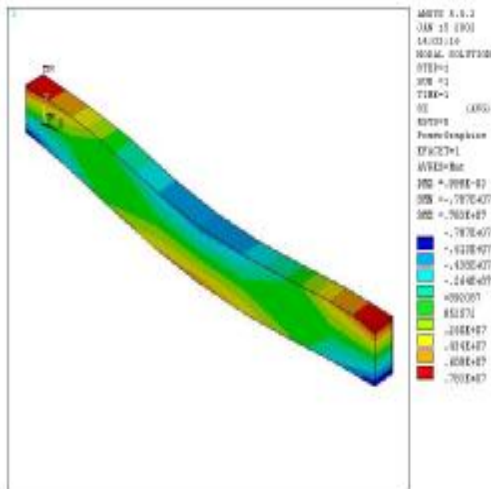
Σχήμα 3.1.1. Μετατόπιση κατά τον άξονα y (U_y) μονολιθικής δοκού.



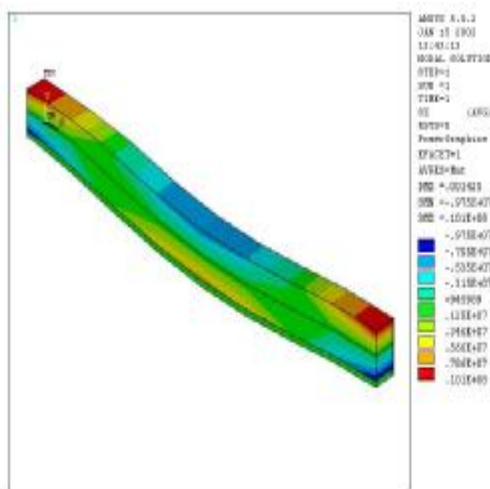
Σχήμα 3.1.2. Μετατόπιση κατά τον άξονα y (U_y) ενισχυμένης δοκού.



2. Ο συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής $K_{t,m}$ υπολογίζεται ως το πηλίκο της ορθής τάσης κατά τον άξονα x (σ_x) της μονολιθικής δοκού προς την αντίστοιχη τάση της ενισχυμένης δοκού. Οι μέγιστες θετικές ορθές τάσεις (εφελκυστικές) σ_x τόσο στη μονολιθική δοκό (σχήμα 3.1.3) όσο και στην ενισχυμένη δοκό (σχήμα 3.1.4) παρατηρούνται στο κάτω μέρος του ανοίγματος της δοκού και στα άνω άκρα. Αυτό φαίνεται στα παρακάτω σχήματα με κόκκινο χρώμα.

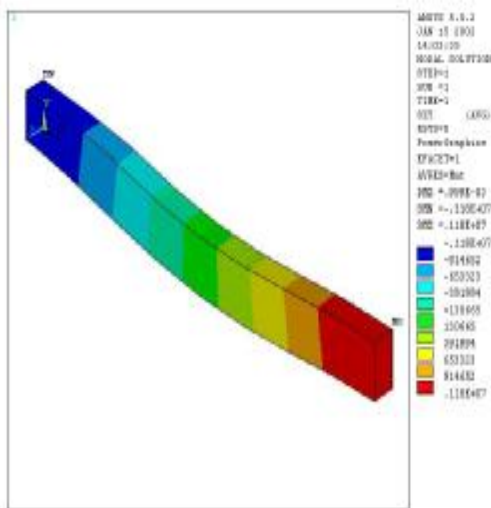


Σχήμα 3.1.3. Κατανομή τάσεων (σ_x) στη μονολιθική δοκό.

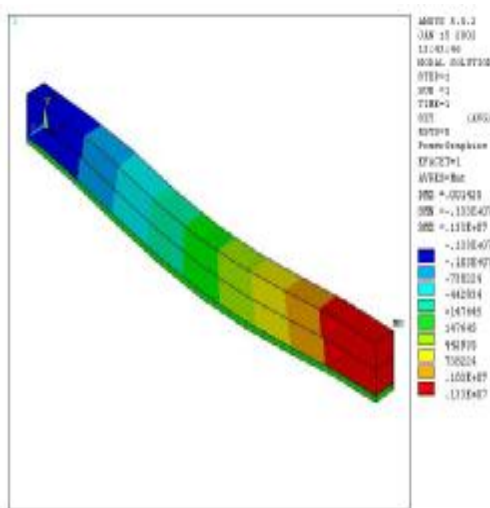


Σχήμα 3.1.4. Κατανομή τάσεων (σ_x) στην ενισχυμένη δοκό.

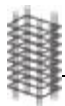
3. Ο συντελεστής μονολιθικότητας αντοχής $K_{t,v}$ υπολογίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης διατμητικής τάσης στο επίπεδο xz (τ_{xz}) της μονολιθικής δοκού προς την αντίστοιχη τάση της ενισχυμένης δοκού. Οι μέγιστες διατμητικές τάσεις της μονολιθικής δοκού (σχήμα 3.1.5) όσο και της ενισχυμένης δοκού (σχήμα 3.1.6) παρουσιάζονται στα άκρα (στο ένα θετικές και στο άλλο αρνητικές) και φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 3.1.5. Κατανομή διατμητικών τάσεων (τ_{xz}) στη μονολιθική δοκό.



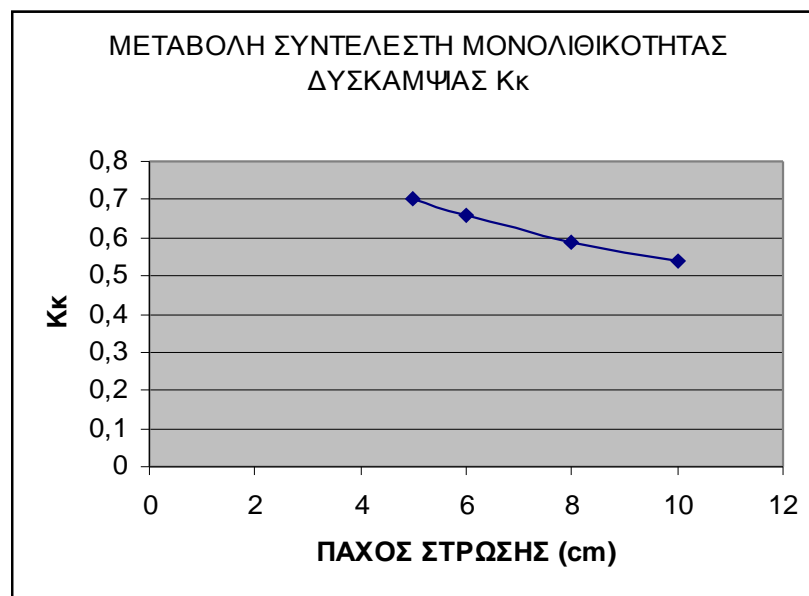
Σχήμα 3.1.6. Κατανομή διατμητικών τάσεων (τ_{xz}) στην ενισχυμένη δοκό.



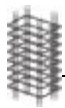
3.2 ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΟΤΗΤΑΣ

Πίνακας 1: Μέγιστες μετατοπίσεις(U_y) κατά τον άξονα y και συντελεστές μονολιθικότητας δυσκαμψίας K_k για μεταβλητό πάχος στρώσης ενίσχυσης.

Πάχος Στρώσης (cm)	U_y μονολιθικού(mm)	U_y ενισχυμένου(mm)	K_k
5	0.919	1.425	0.7010
6	0.940	1.423	0.6605
8	0.830	1.410	0.5886
10	0.748	1.391	0.5370

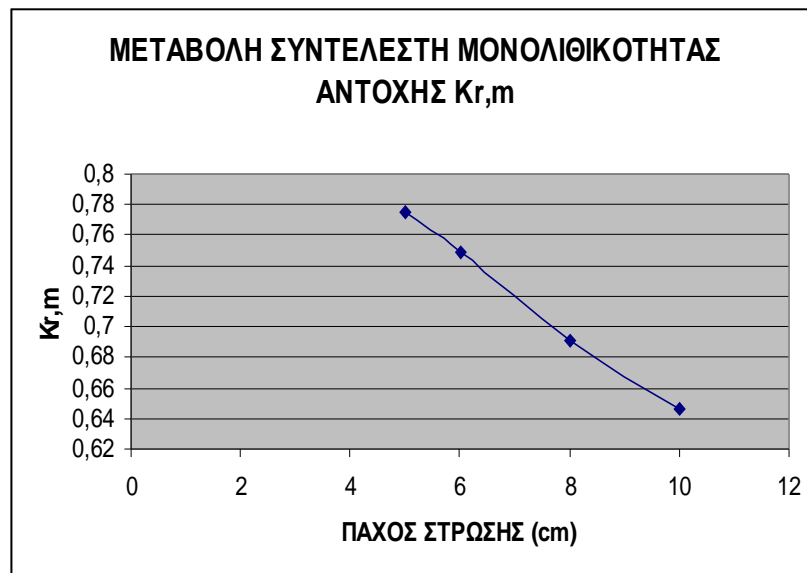


Σχήμα 3.2.1. Συντελεστής μονολιθικότητας K_k συναρτήσει του πάχους της νέας στρώσης

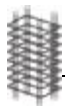


Πίνακας 2: Ορθές εφελκυστικές τάσεις (σ_{χ}) κατά τον άξονα χ και συντελεστές μονολιθικότητας αντοχής $K_{r,m}$ για μεταβλητό πάχος στρώσης ενίσχυσης.

Πάχος Στρώσης (cm)	σ_{χ} μονολιθικού(MPa)	σ_{χ} ενισχυμένου(MPa)	$K_{r,m}$
5	7.83	10.1	0.7752
6	7.49	10	0.7490
8	6.88	9.95	0.6914
10	6.34	9.81	0.6462

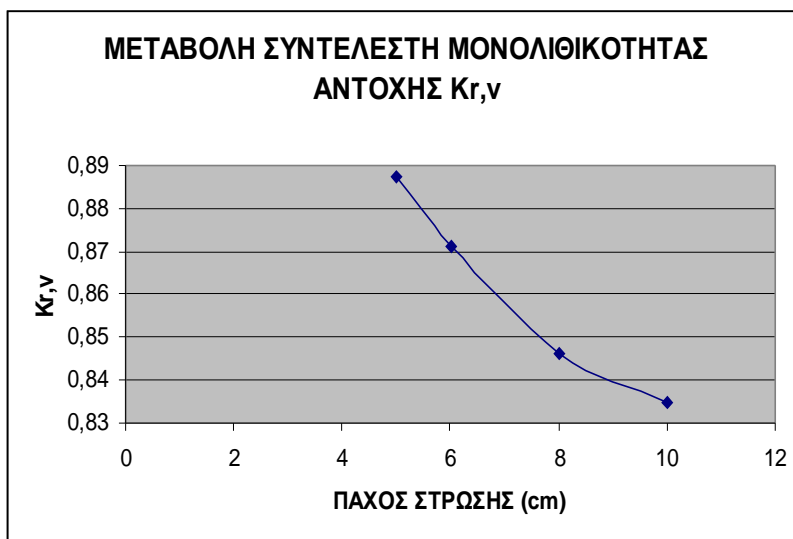


Σχήμα 3.2.2. Συντελεστής μονολιθικότητας $K_{r,m}$ συναρτήσει του πάχους της νέας στρώσης

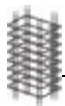


Πίνακας 3: Μέγιστες διατμητικές τάσεις T_{xy} και συντελεστές μονολιθικότητας αντοχής $K_{r,v}$ για μεταβλητό πάχος στρώσης ενίσχυσης.

Πάχος Στρώσης (cm)	t_{xy} μονολιθικού(MPa)	t_{xy} ενισχυμένου(MPa)	$K_{r,v}$
5	1.18	1.33	0.8872
6	1.15	1.32	0.8712
8	1.10	1.30	0.8461
10	1.06	1.27	0.8346



Σχήμα 3.2.3. Συντελεστής μονολιθικότητας $K_{r,v}$ συναρτήσσει του πάχους της νέας στρώσης



4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Οι μέγιστες μετατοπίσεις (U_y) κατά τον κατακόρυφο άξονα y της ενισχυμένης ζώνης είναι πιο μεγάλες από τις αντίστοιχες μετατοπίσεις της μονολιθικής δοκού.
2. Όσο αυξάνεται το πάχος της νέας στρώσης παρατηρούνται τα εξής:
 - α. Οι αντίστοιχες μετατοπίσεις της ενισχυμένης δοκού μειώνονται
 - β. Οι μέγιστες ορθές τάσεις μειώνονται
 - γ. Οι τρεις συντελεστές μονολιθικότητας μειώνονται
3. Σε όλες τις περιπτώσεις προκύπτει $K_k < 1$, $K_{r,m} < 1$, $K_{r,v} < 1$ κάτι που οφείλεται στο ότι οι διεπιφάνειες και οι ασυνέχειες μεταξύ παλαιών και νέων υλικών μειώνουν την δυσκαμψία και την αντοχή των στοιχείων.
4. Ο συντελεστής μονολιθικότητας δυσκαμψίας είναι για κάθε πάχος στρώσης μικρότερος από τον συντελεστή μονολιθικότητας αντοχής $K_k < K_{r,m}$, $K_k < K_{r,v}$ κάτι που παρατηρείται τις περισσότερες φορές.
5. Ο συντελεστής K_k έχει εύρος τιμών 0,537-0,7010. Οι τιμές αυτές είναι πολύ μικρές και δείχνουν μεγάλη απόκλιση από την τιμή που προτείνει ο EC8-Part1.4 και είναι $K_k = 0.85$.
6. Οι συντελεστές μονολιθικότητας αντοχής έχουν εύρος τιμών $K_{r,m}$ 0.6462-0.7752 και $K_{r,v}$ 0.8346-0.8872 που είναι πάλι πιο μικρές από την τιμή που προτείνει ο EC8-Part1.4 και είναι 0.9
7. Στην εργασία λήφθηκε συντελεστής τριβής στη διεπιφάνεια $\mu = 0.8$. Έχει αποδειχθεί από παρόμοιες εργασίες ότι για μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή τριβής μεγαλώνουν και οι συντελεστές μονολιθικότητας.
8. Με την αύξηση του πάχους της στρώσης ενίσχυσης παρατηρείται μείωση του μέγιστου βέλους κάμψης πλησιάζοντας στα επίπεδα της αρχικής δοκού χωρίς βλάβη επιτυγχάνοντας έτσι ικανοποιητικό βαθμό ενίσχυσης.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Σ.Η.Δρίτσος, ΠΑΤΡΑ (2001)
2. Μαθήματα οπλισμένου σκυροδέματος Μέρος I,II Μιχαήλ Ν. Φαρδής, ΠΑΤΡΑ (2000)
3. Εκτίμηση συντελεστών μονολιθικότητας στοιχείων από σκυρόδεμα ενισχυμένων με πρόσθετη στρώση σκυροδέματος και ενισχυμένων με μανδύα σκυροδέματος με χρήση του προγράμματος ANSYS. Διπλωματική εργασία. Γεωργίου Νίκη, Κουκούνα Ολυμπία, ΠΑΤΡΑ (2001)
4. ANSYS User's Manual
5. ANSYS Theory Manual
6. ANSYS Elements Manual
7. ANSYS Procedures Manual