

## ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ANSYS

ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ - ΤΣΙΟΥΛΟΥ ΟΥΡΑΝΙΑ

### *Περίληψη*

Στην παρούσα εργασία γίνεται ενίσχυση υποστυλώματος α) με πρόσθετη στρώση σκυροδέματος (μικρού και μεγάλου πάχους). β) με περιμετρικό μανδύα και γ) με τρίπλευρο μανδύα και γίνεται διερεύνηση των διεπιφανειών με τη χρήση του προγράμματος ANSYS. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η διεξαγωγή συμπερασμάτων για τη συμπεριφορά και αστοχία των διεπιφανειών, καθώς και σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν για τους τρεις τρόπους ενίσχυσης.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την ενίσχυση ενός στοιχείου με μία οι περισσότερες στρώσεις σκυροδέματος δημιουργούνται διεπιφάνειες, δηλαδή επιφάνειες επαφής μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος. Ανάλογα με την τριβή και τη συνοχή που υπάρχει μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος παρατηρείται κάποια ολίσθηση μεταξύ τους, ενώ παράλληλα αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις.

Η μελέτη των μεγεθών αυτών (ολίσθηση, διατμητικές τάσεις) παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και θα μας βοηθήσει να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τους τρόπους ενίσχυσης ενός φορέα και είναι αυτό με το οποίο θα ασχοληθούμε κυρίως στη συγκεκριμένη εργασία.

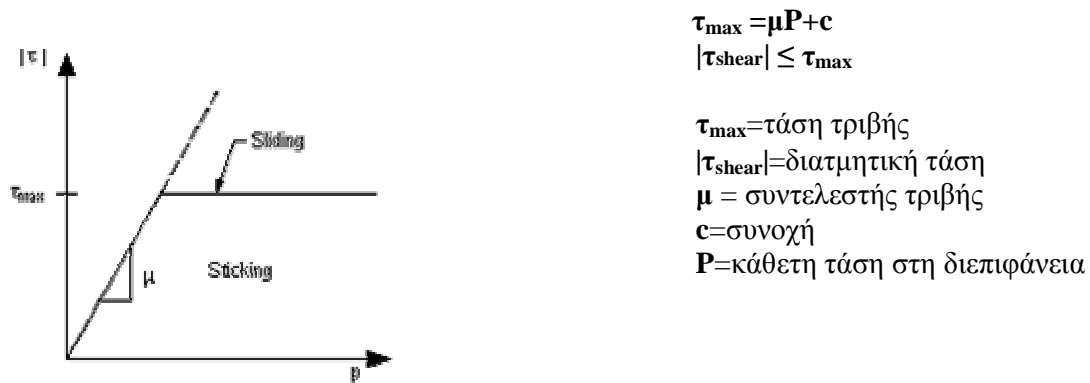
Στη συνέχεια θα ακολουθήσει η περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος ANSYS και η εφαρμογή του σε συγκεκριμένο πρόβλημα, η περιγραφή του προβλήματος, τα αποτελέσματα και η εξαγωγή συμπερασμάτων από την επίλυσή του.

### 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ANSYS ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

#### 2.1 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ANSYS

Το πρόγραμμα ANSYS είναι ένα πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές αναλύσεις. Κατά την κατασκευαστική ανάλυση την οποία εμείς χρησιμοποιούμε πραγματοποιούμε στατικό υπολογισμό ενός φορέα προσδιορίζοντας την ένταση και την παραμόρφωσή του και υπολογίζουμε τα κρίσιμα φορτία υπό την επίδραση των οποίων πραγματοποιείται αστοχία στην διεπιφάνεια της κατασκευής μας.

Για τη μελέτη των διεπιφανειών, που είναι και το ειδικότερο θέμα με το οποίο εμείς θα ασχοληθούμε, το πρόγραμμα ζητά να του καθορίσουμε τον τύπο της δίνοντάς το συντελεστή τριβής μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος καθώς και τη συνοχή. Μ' αυτόν τον τρόπο προσδιορίζουμε την τάση τριβής στη διεπιφάνεια η οποία δίνεται από τη σχέση:  $\tau = \mu * P + c$  (σχ.2.1). Μόλις η διατμητική τάση ξεπεράσει την τάση τριβής τότε έχουμε την αστοχία της διεπιφάνειας.



Σχήμα 2.1 Διάγραμμα διατμητικής τάσης με την κάθετη τάση στη διεπιφάνεια

## 2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Υποστύλωμα ύψους 2m και διατομής 200mmX200mm φορτίζεται με κατακόρυφη τάση  $\sigma=0.65\text{MPa}$  και με οριζόντια αυξανόμενη δύναμη. Το σκυρόδεμα που χρησιμοποιείται είναι κατηγορίας C16/20 και υπάρχει οπλισμός 4Φ10/S420 ( με επικάλυψη 50mm)

Αρχικά ενισχύεται στη μία πλευρά του με οπλισμένη στρώση από σκυρόδεμα C16/20 με πάχος 100mm και οπλισμό 2Φ10/S420. Στη διεπιφάνεια που δημιουργείται καθορίζουμε δύο διαφορετικές τάσεις τριβής (στη μία περίπτωση υπάρχει μόνο τριβή  $\mu=0.5$  ενώ στην άλλη υπάρχει και συνοχή  $c=1\text{MPa}$ ) και εξετάζουμε την σχετική ολίσθηση, την διατμητική τάση της διεπιφάνειας, καθώς και τότε αυτή αστοχεί. Επαναλαμβάνουμε τα ίδια για την περίπτωση που υπάρχει μόνο τριβή( η ίδια με προηγούμενως) και διπλασιάζουμε το πάχος της ενίσχυσης.

Στη συνέχεια ενισχύουμε το ίδιο υποστύλωμα με τρίπλευρο μανδύα πάχους 100mm σε κάθε πλευρά, οπλισμό 4Φ10/S420 και κατηγορία σκυροδέματος C16/20. Η διεπιφάνεια θεωρούμε ότι έχει μόνο τριβή με συντελεστή  $\mu=0.5$  και ασκούμε σταθερή κατακόρυφη τάση  $\sigma=0.65\text{MPa}$  και αυξανόμενη οριζόντια δύναμη μέχρι το σημείο όπου αστοχεί η διεπιφάνεια.

Τέλος επιλέγουμε για την ενίσχυση του υποστυλώματος έναν περιμετρικό μανδύα ο οποίος έχει πάχος σε κάθε πλευρά 100mm (τελικές διαστάσεις διατομής 400X400 mm), σκυρόδεμα C16/20 και οπλισμό 4Φ10/S420. Η διεπιφάνεια που χρησιμοποιούμε έχει τον ίδιο συντελεστή τριβής με πριν (μηδενική συνοχή) και την ίδια φόρτιση.

Για όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται τα εξής :

Η δύναμη στην οποία αστοχεί η διεπιφάνεια  
Η σχετική μετατόπιση του παλιού με το νέο σκυρόδεμα.  
Το διάγραμμα της διατμητικής τάσης στη διεπιφάνεια καθ' ύψος του υποστυλώματος.

## 2.3 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Το υποστύλωμα, ο μανδύας καθώς και η νέα στρώση σκυροδέματος μοντελοποιούνται με οκτάκομβα στοιχεία τύπου SOLID65, με τρεις βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο το καθένα (ux,uy,uz) ενώ ο χάλυβας οπλισμού με δίκκομβα γραμμικά στοιχεία τύπου LINK8 με τρεις βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο το καθένα (ux,uy,uz).

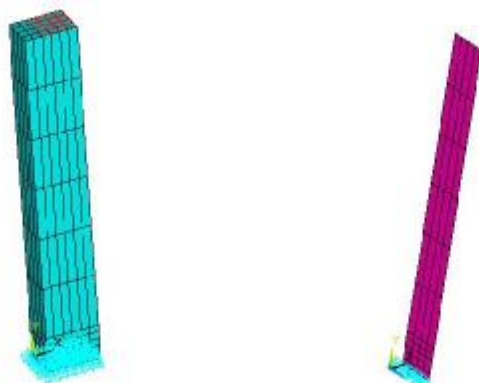
Η μοντελοποίηση της διεπιφάνειας παλιού και νέου σκυροδέματος γίνεται με στοιχεία επαφής (contact elements). Οι επιφάνειες επαφής είναι δύο:

α) Η επιφάνεια επαφής της πρόσθετης στρώσης σκυροδέματος (target surface) που μοντελοποιείται με το στοιχείο TARGET 170 και

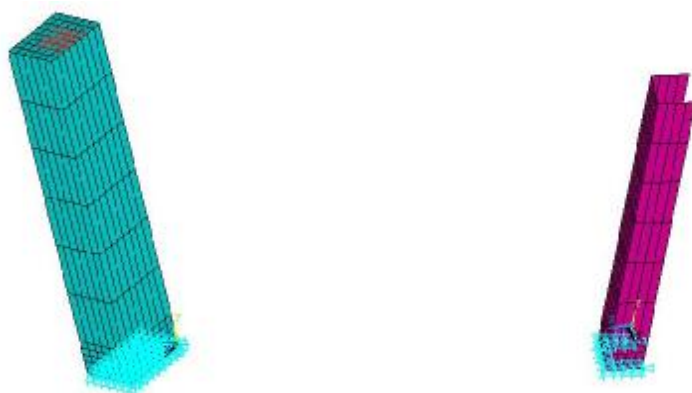
β) Η επιφάνεια επαφής του παλιού σκυροδέματος (contact surface) που μοντελοποιείται με το στοιχείο CONTA174.

Αυτά είναι δισδιάστατα γραμμικά στοιχεία που το καθένα έχει τέσσερις βαθμούς ελευθερίας (ux, uy, uz, temp).

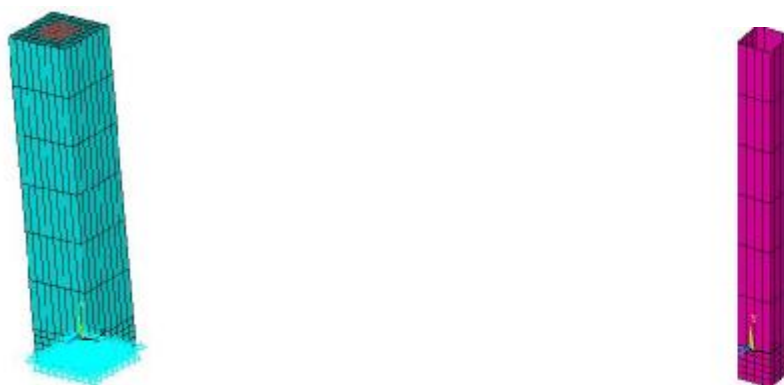
Οι δύο αυτές επιφάνειες δημιουργούν ένα ζεύγος επαφής (contact pair), το οποίο αποτελεί τη διεπιφάνεια. Η μοντελοποίηση του ενισχυμένου υποστυλώματος και της διεπιφάνειας σε κάθε μια από τις περιπτώσεις που εξετάζουμε φαίνεται στα παρακάτω σχήματα (2.3.1, 2.3.2, 2.3.3).



**Σχήμα 2.3.1** Μονόπλευρα ενισχυμένο υποστύλωμα και η αντίστοιχη διεπιφάνεια.



**Σχήμα 2.3.2** Τρίπλευρος μανδύας και η αντίστοιχη διεπιφάνεια



**Σχήμα 2.3.3** Περιμετρικός μανδύας και η αντίστοιχη διεπιφάνεια

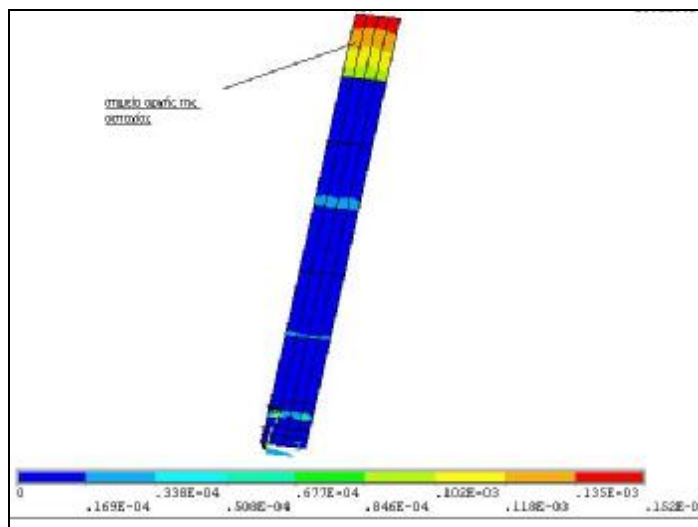
### 3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ \_ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

#### 1)ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΙΑ ΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κατά την ενίσχυση υποστυλώματος με μία στρώση σκυροδέματος πάχους 0,1 m και οπλισμό 2Φ10/S420 (σχ. 2.3.1), εξετάζουμε τη συμβολή του συντελεστή τριβής  $\mu$  μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος, καθώς και της συνοχής τους στην αστοχία της διεπιφάνειας. Στη συνέχεια μελετάμε τη σχετική μετατόπιση παλιού και νέου σκυροδέματος, ποια είναι η δύναμη στην οποία πραγματοποιείται η αστοχία της διεπιφάνειας και τη μεταβολή της διατμητικής τάσης καθ' ύψος του υποστυλώματος για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

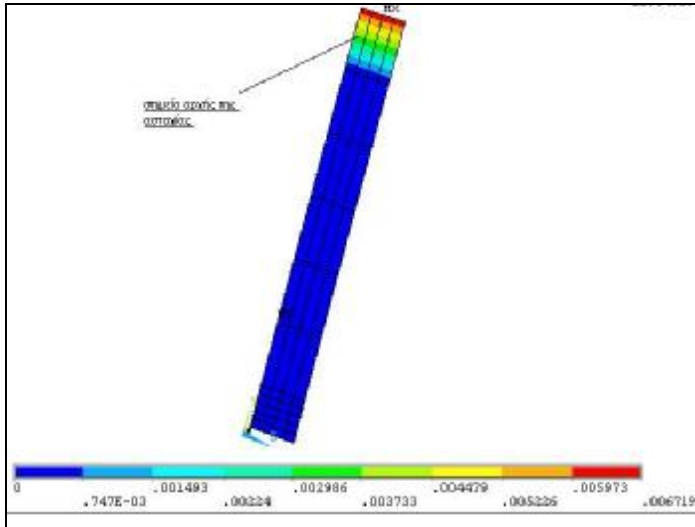
- α) διεπιφάνεια με συντελεστή τριβής  $\mu=0,5$  και συνοχή  $c=1\text{MPa}$
- β) διεπιφάνεια με συντελεστή τριβής  $\mu=0,5$  (χωρίς συνοχή)

α) Σε αυτή τη περίπτωση ( $\mu=0.5$  ,  $c=1\text{MPa}$  ) η διεπιφάνεια αστόχησε όταν η οριζόντια δύναμη έφτασε την τιμή  $F=13,274\text{ KN}$  ( ενώ παράλληλα υπήρχε κατακόρυφη τάση  $\sigma=0,65\text{ MPa}$ ). Για αυτή την τιμή της δύναμης παρουσιάζεται η ολίσθηση της διεπιφάνειας καθώς και το στοιχείο στο οποίο εμφανίστηκε πρώτα η αστοχία (σχ. 3.1.α).



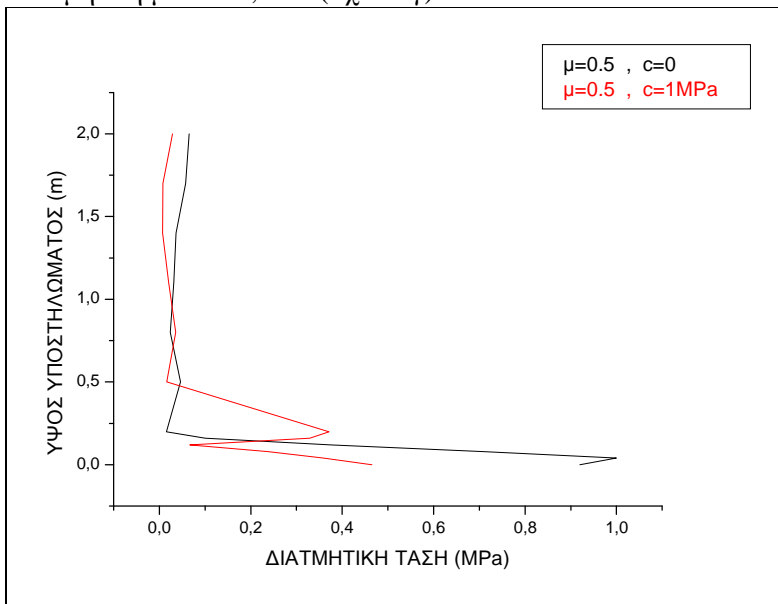
**Σχήμα 3.1α** Ολίσθηση διεπιφάνειας μονόπλευρα ενισχυμένου υποστυλώματος ( $\mu=0.5$ ,  $c=1$ )

β) Με συντελεστή τριβής  $\mu=0.5$  και χωρίς συνοχή η διεπιφάνεια αστοχεί μόλις η οριζόντια δύναμη φτάσει την τιμή  $F=11,408 \text{ KN}$  ( υπάρχει και σταθερή κατακόρυφη τάση  $\sigma=0,65 \text{ MPa}$ ) .Η ολίσθηση στη διεπιφάνεια καθώς και το στοιχείο που αστοχεί πρώτο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (σχ.3.1β).



Σχήμα 3.1.β Ολίσθηση στη διεπιφάνεια μονόπλευρα ενισχυμένου υποστρώματος ( $\mu=0.5$ )

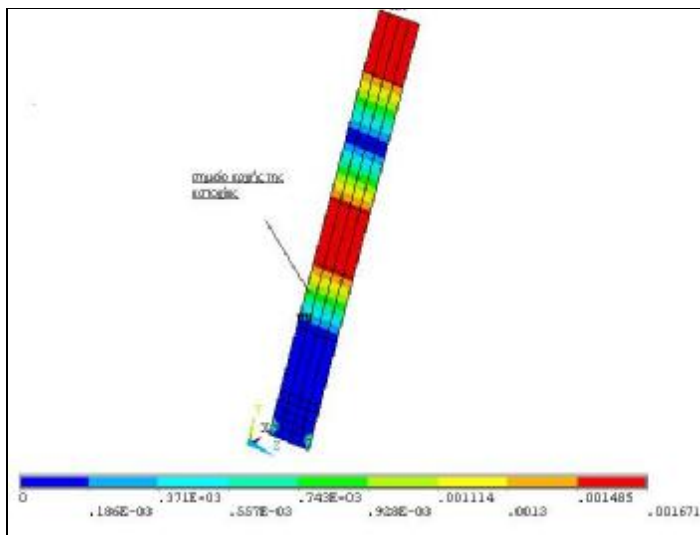
Στη συνέχεια ακολουθεί γραφική παράσταση που δείχνει πώς μεταβάλλεται η διατμητική τάση με το ύψος του υποστρώματος για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις και για οριζόντια δύναμη ίση με  $F=11,408$  (σχ.3.1.γ)



Σχήμα 3.1.γ Διατμητική τάση συναρτήσεως του ύψους του μονόπλευρα ενισχυμένου υποστρώματος

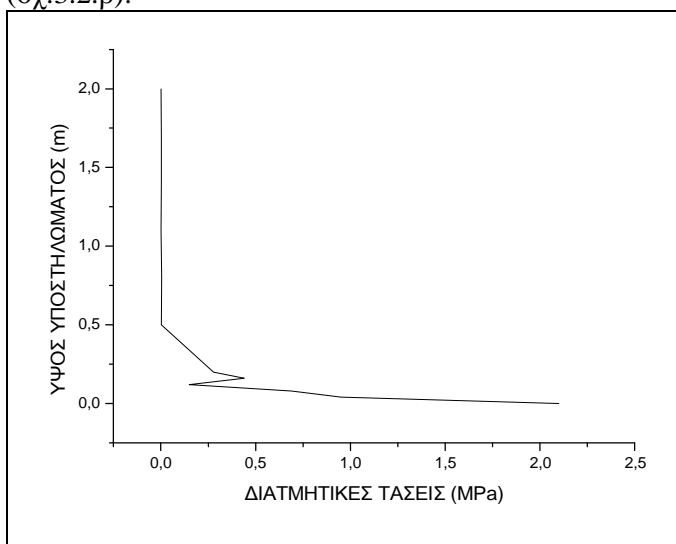
## 2)ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΙΑ ΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΔΙΠΛΑΣΙΟΥ ΠΑΧΟΥΣ

Στην περίπτωση αυτή ενισχύουμε το ίδιο υποστύλωμα με μια στρώση σκυροδέματος πάχους 0.2m (διπλάσιο από την προηγούμενη περίπτωση) και οπλισμό 2Φ10/S420. Φορτίζουμε με μια κατακόρυφη τάση  $\sigma=0.65\text{MPa}$  και με μια οριζόντια δύναμη η οποία όταν φτάνει την τιμή  $F=3,657\text{ KN}$  προκαλεί την αστοχία της διεπιφάνειας. Στο σχήμα φαίνεται η ολίσθηση στη διεπιφάνεια καθώς και το στοιχείο στο οποίο εμφανίζεται πρώτα η αστοχία (σχ.3.2.α).



**Σχήμα 3.2α** Ολίσθηση διεπιφάνειας υποστυλώματος με παχιά στρώση σκυροδέματος.

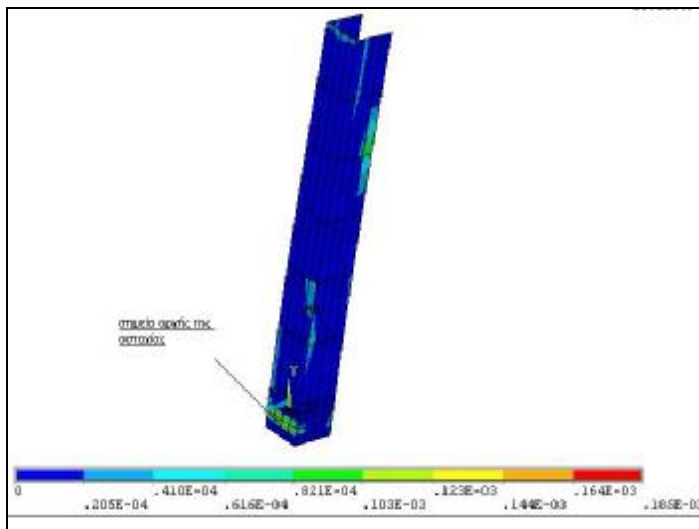
Στο σχήμα φαίνεται η κατανομή των διατμητικών τάσεων καθ' ύψος του υποστυλώματος (σχ.3.2.β).



**Σχήμα 3.2.β** Διατμητική τάση συναρτήσεως του ύψους σε υποστύλωμα ενισχυμένο με παχιά στρώση σκυροδέματος.

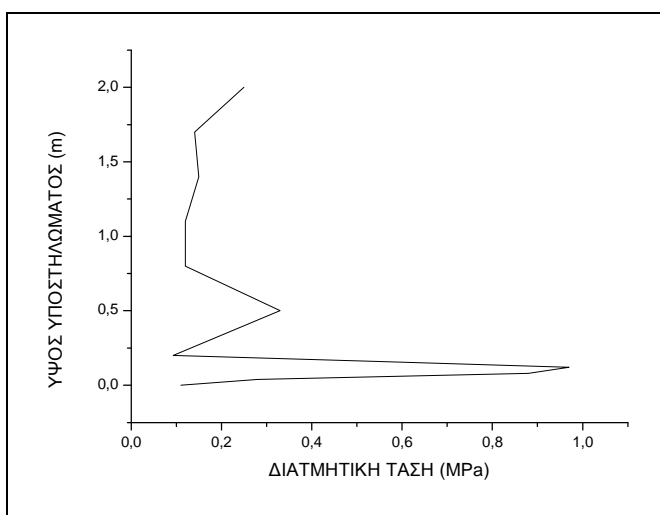
### 3) ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΑΝΟΙΚΤΟ ΜΑΝΔΥΑ ΜΟΝΟ ΣΤΙΣ ΤΡΕΙΣ ΠΛΕΥΡΕΣ

Στην περίπτωση αυτή ενισχύουμε το υποστύλωμα με μανδύα ανοικτό μόνο στις τρεις πλευρές, πάχους 0.1m και οπλισμό 4Φ10/S420 (σχ2.3.2α), και χρησιμοποιούμε διεπιφάνεια με συντελεστή τριβής  $\mu=0.5$  και χωρίς συνοχή. Η οριζόντια δύναμη κατά την οποία αστοχεί η διεπιφάνεια (πάντα υπό την επίδραση σταθερής τάσης  $\sigma=0.65\text{MPa}$ ) είναι  $F=17,169\text{MPa}$ , ενώ η ολίσθηση και το στοιχείο από το οποίο αρχίζει η αστοχία φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 3.3.α.



Σχήμα 3.3.α Ολίσθηση διεπιφάνειας τρίπλευρου μανδύα ( $\mu=0.5$ )

Στη συνέχεια στο σχήμα παρουσιάζεται η μεταβολή της διατμητικής τάσης με το ύψος του υποστυλώματος για την πλευρά την αντίστοιχη με αυτή του ενισχυμένου με μια στρώση (σχ.3.3.β)

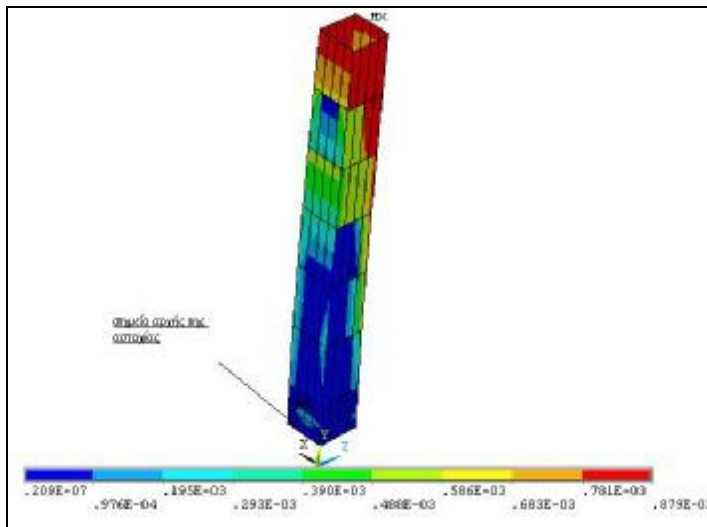


Σχήμα 3.1.4.β Διατμητική τάση συναρτήσει του ύψους υποστυλώματος ενισχυμένου με τρίπλευρο μανδύα



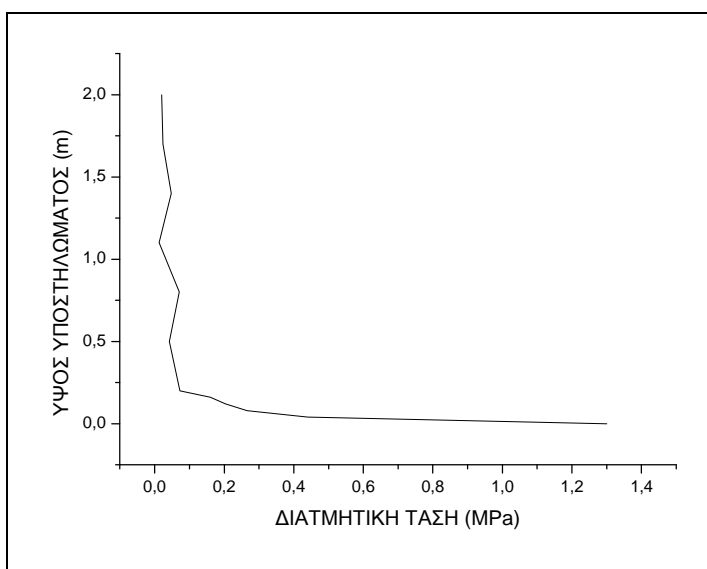
#### 4) ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΟΛΟΣΩΜΟ ΜΑΝΔΥΑ

Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε ολόσωμο μανδύα με πάχος σε κάθε πλευρά 0,1 m και οπλισμό 4Φ10/S220 , και η διεπιφάνεια έχει συντελεστή τριβής  $\mu=0.5$  και μηδενική συνοχή . Η οριζόντια δύναμη στην οποία αστοχεί η διεπιφάνεια ( ενώ υπάρχει και σταθερή κατακόρυφη τάση  $\sigma=0.65$  MPa) είναι  $F=19,771$  KN ενώ η ολίσθηση στη διεπιφάνεια καθώς και το στοιχείο που αστοχεί πρώτο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 3.4.α.



Σχήμα 3.4.α Ολίσθηση διεπιφάνειας ολόσωμου μανδύα.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της διατμητικής τάσης με το ύψος του υποστυλώματος για την περιοχή της διεπιφάνειας που τα μεγέθη είναι πιο έντονα και συγκεκριμένα για μια από τις γωνίες της (σχ.3.4.β).



Σχήμα 3.4.β Διατμητική τάση καθ' ύψος υποστυλώματος ενισχυμένου με ολόσωμο περιμετρικό μανδύα.

#### **4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

Από τις παραπάνω αναλύσεις και τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτές καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

1) Η αντοχή της διεπιφάνειας αυξάνεται όταν υπάρχει συνοχή αφού όπως είδαμε στην περίπτωση της ενίσχυσης του υποστρώματος με μία στρώση σκυροδέματος όταν είχαμε μόνο τριβή ( $\mu=0.5$ ), η δύναμη στην οποία παρατηρήσαμε αστοχία στη διεπιφάνεια ήταν  $F=11,408\text{KN}$  ενώ όταν είχαμε και συνοχή ( $\mu=0.5$ ,  $c=1\text{MPa}$ ) η αντίστοιχη δύναμη ήταν  $F=13,274\text{KN}$

2) Η αύξηση του πάχους της στρώσης με την οποία ενισχύουμε το υποστύλωμα έχει σαν αποτέλεσμα πολύ μεγάλη μείωση της αντοχής στη διεπιφάνεια. Ενίσχυση του υποστρώματος με στρώση σκυροδέματος  $0.1\text{m}$  μας έδωσε δύναμη στην οποία αστοχεί η διεπιφάνεια  $F=11,408\text{KN}$ , ενώ για ενίσχυση του ίδιου υποστρώματος με διπλάσιου πάχους στρώση σκυροδέματος η δύναμη στην οποία παρατηρήσαμε αστοχία της διεπιφάνειας ήταν  $F=3,657\text{KN}$ .

3) Η ενίσχυση με περιμετρικό μανδύα έχει σαν αποτέλεσμα σημαντική αύξηση της αντοχής της διεπιφάνειας σε σχέση με την ενίσχυση με τρίπλευρο μανδύα αφού οι αντίστοιχες δυνάμεις στις οποίες παρατηρείται αστοχία της διεπιφάνειας είναι  $F_1=17,169\text{KN}$ ,  $F_2=19,771\text{KN}$ ,

4) Η ολίσθηση είναι σημαντική στην κορυφή του υποστρώματος .

5) Η κατανομή της διατμητικής τάσης της διεπιφάνειας καθ' ύψος του υποστρώματος έχει περίπου την ίδια μορφή σε όλες της περιπτώσεις και η τιμή της είναι μεγάλη στο κάτω μέρος του υποστρώματος και σε κάποιο σημείο μειώνεται απότομα.

6) Αξιοσημείωτο και περίεργο είναι το γεγονός ότι σύμφωνα με το πρόγραμμα το πρώτο σημείο της διεπιφάνειας που αστοχεί στην περίπτωση που ενισχύουμε με μία στρώση πάχους  $100\text{mm}$  βρίσκεται στην κορυφή , ενώ το σημείο που έχουμε μέγιστη διατμητική τάση βρίσκεται κοντά στη βάση του υποστρώματος . Αυτό είναι αρκετά παράξενο γιατί η αστοχία επέρχεται την στιγμή που η διατμητική τάση ξεπερνάει την τάση τριβής στη διεπιφάνεια η οποία μεταβάλλεται περίπου με τον ίδιο τρόπο που μεταβάλλεται η ολίσθηση (μηδενική απο τη βάση μέχρι λίγο πριν την κορυφή όπου παίρνει και την μέγιστη τιμή της ) . Εμείς πιστεύουμε ότι αυτό συμβαίνει επειδή στην περιοχή όπου η τάση τριβής είναι μηδενική το πρόγραμμα δεν κάνει καν τον έλεγχο  $\tau_{\text{shear}} \leq \tau_{\text{friction}}$  . Στην περίπτωση μιας στρώσης  $200\text{mm}$ , καθώς και στις περιπτώσεις που κάναμε ενίσχυση με τρίπλευρο και περιμετρικό μανδύα πάχους  $100\text{mm}$  , όπου τα αποτελέσματα ήταν τα αναμενόμενα , υπήρχε τάση τριβής και σε αρκετά χαμηλό ύψος .

#### **5.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- 1.ANSYS Structural Analysis Guide.
- 2.ANSYS Element Reference.
- 3.ANSYS, Inc. Theory Reference.
- 4.Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα , Σ.Η.Δρίτσος(Πάτρα 2002).
- 5.Διπλωματική εργασία Οικονόμου Μιχάλη-Πιστέντη Γιώργου (Σεπτέμβριος 2002 Πάτρα).

