

ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΙΣ ΜΗ ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΘΕΜΕΛΙΟΥ ΣΕ ΣΤΡΩΣΙΓΕΝΕΣ ΥΛΙΚΟ

Κ. Ι. ΠΑΠΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ Πολιτικός Μηχανικός, Επικ. Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών.
Γ. ΜΟΥΛΙΝΟΣ Πολιτικός Μηχανικός MSc, Υποψήφιος Διδάκτορας Πανεπιστημίου Πατρών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η φέρουσα ικανότητα επιφανειακών θεμελίων σε λεπτοστρωματώδεις βραχώμαζες φαίνεται να μην έχει διερευνηθεί ικανοποιητικά. Περιορισμένος αριθμός πειραμάτων σε ομοιώματα εργαστηριακής κλίμακας έδειξαν σημαντικές αποκλίσεις από τις προβλέψεις των λίγων απλοποιημένων θεωριών που έχουν προταθεί. Στην παρούσα εργασία το πρόβλημα αναλύεται με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τα αντίστοιχα πειραματικά. Διαπιστώθηκε η ύπαρξη φαινομένων λυγισμού και κάμψης των στρωμάτων που επηρεάζουν σημαντικά τη φέρουσα ικανότητα του θεμελίου.

ABSTRACT:

It appears that the bearing capacity of surface foundations based on thinly layered rock masses has not been adequately investigated. A limited number of laboratory scale experiments deviate considerably from the predictions of the few existing simplified theories. In this work the problem is analysed using the finite element method and the predictions are compared with the experimental results. It has been found out that flexure and buckling of the strata affects significantly the bearing capacity of the foundation.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι στρωσιγενείς βραχώδεις σχηματισμοί αποτελούν ιδιαίτερη κατηγορία ανισότροπων υλικών. Οι επί μέρους στρώσεις μπορεί να είναι ισότροπες όμως το σύνολο παρουσιάζει μία ανισοτροπία τόσο από άποψης αντοχής κατά μήκος των στρωμάτων όσο και από απόψη παραμορφωσιμότητας λόγω της διαφορετικής συμπιεστότητας των ασυνεχειών των επιφανειών επαφής των στρώσεων. Τα υλικά αυτά μπορεί να χαρακτηριστούν σαν υλικά με “διακριτή ανισοτροπία” σε αντιπαράθεση με αυτά που παρουσιάζουν “συνεχή ή διάχυτη ανισοτροπία” όπως οι προστερεοποιημένες άργιλοι ή μεταμορφωμένα υλικά όταν η ανισοτροπία χαρακτηρίζει τη συμπαγή χωρίς διακλάσεις μάζα τους και προέρχεται από τον επιλεκτικό προσανατολισμό των κόκκων ή των κρυστάλλων του υλικού. Ορισμένες

απλοποιημένες θεωρίες για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας των στρωσιγενών υλικών έχουν δοθεί από τους Biarez et Giroud (1964), Boehler et Sawczuk (1970), Ready and Srinivasan (1970) και Serrano and Olalla(1998 a,b) για υλικά με διάχυτη ανισοτροπία και από τους Döring (1967) και Ladanyi and Roy (1971) για διακριτή ανισοτροπία. Η πρώτη αριθμητική ανάλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (Μ.Π.Σ) έγινε από τον Malina (1969). Σχετικά πειράματα έχουν γίνει από τους Förpl (1957), Gaziev and Erlickhman (1971) με έμφαση στην κατανομή των τάσεων. Τόσο οι θεωρητικές αναλύσεις όσο και τα πειράματα εξετάζουν είτε διάχυτη ανισοτροπία είτε σχετικά παχιά στρώματα σε σχέση με το θεμέλιο. Προκαταρκτικές αναλύσεις σε φυσικά ομοιώματα με λεπτές στρώσεις (πάχους περίπου 1/10 του πλάτους της θεμελίωσης) έδειξαν (Θεοδωρής και άλλοι 1998)

φαινόμενα κάμψης και λυγισμού των στρωμάτων ανάλογα με την κλίση τους. Τα αποτελέσματα της φέρουσας ικανότητας δεν ανταποκρίνονται στις προβλέψεις των απλοποιημένων θεωριών.

Στόχοι λοιπόν της παρούσας εργασίας είναι αφ' ενός μεν η αναλυτική διερεύνηση μερικών πτυχών του προβλήματος, όπως η επίδραση της κλίσης των ασυνεχειών στην φέρουσα ικανότητα, την καμπύλη τάσεων – καθιζήσεων και τον τύπο αστοχίας με την βοήθεια του εμπορικά διαθέσιμου προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS έκδοση 7.2 και αφ' ετέρου η αξιολόγηση της ικανότητας του συγκεκριμένου προγράμματος να προσομοιώνει επιτυχώς προβλήματα αυτού του τύπου. Η αξιολόγηση γίνεται με σύγκριση των θεωρητικών αποτελεσμάτων με αντίστοιχα πειραματικά που προέρχονται από φόρτιση φυσικών ομοιωμάτων σε εργαστηριακή κλίμακα και συνθήκες. Οι αναλύσεις έγιναν για επίπεδη παραμόρφωση, μη στρεφόμενου θεμελίου και με παράταξη στρωμάτων κάθετη στο επίπεδο ανάλυσης.

2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Οι διαστάσεις του αριθμητικού ομοιώματος στο επίπεδο ήταν ίδιες με αυτές του φυσικού με 600 mm μήκος και 300 mm ύψος. Το πλάτος του θεμελίου ήταν $B=30$ mm. Το πάχος του φυσικού ομοιώματος ήταν 70 mm ενώ του αριθμητικού ήταν 1m. Για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων έγινε η αντίστοιχη αναγωγή. Οι στρώσεις του φυσικού ομοιώματος αποτελούνται από στρώματα τσιμεντοκονίας πάχους 4,4mm και στρώματα λεπτής άμμου πάχους 0,23mm. Ο μεγάλος άξονας του θεμελίου ήταν παράλληλος με την παράταξη των στρωμάτων.

Ο χώρος κάτω από το θεμέλιο που ορίζεται από την κλίση των στρωμάτων χωρίστηκε σε στρώματα πάχους ίδιου με αυτά του φυ-

σικού ομοιώματος. Το πάχος των στρωμάτων μακριά από το θεμέλιο αυξήθηκε για λόγους οικονομίας των στοιχείων αλλά η παραμορφωσιμότητα κάθε στρώματος μεταβάλλεται ανάλογα με το πάχος του έτσι ώστε μαζί με την παραμορφωσιμότητα μιας ασυνέχειας να διατηρεί τα μέσα μέτρα ελαστικότητας κατά μήκος και εγκάρσια στα στρώματα σταθερά (ισοδύναμο ανισότροπο υλικό).

Η ανάλυση του προβλήματος έγινε για επίπεδη παραμόρφωση με επιβαλλόμενη κατακόρυφη μετατόπιση για γωνίες κλίσης των ασυνεχειών $\beta = 0^\circ, 10^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 80^\circ$ και 90° . Οι παράμετροι των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν είναι $\varphi=39^\circ$, $c=2.200$ kPa για το συμπαγές υλικό και $\varphi=29^\circ$ και $c=10$ kPa για τις ασυνέχειες, τιμές που προέκυψαν πειραματικά. Επίσης ελήφθη υπόψη η επιλογή υλικού μηδενικής εφελκυστικής αντοχής του προγράμματος.

Τα μέτρα ελαστικότητας του συμπαγούς υλικού E_R και των ασυνεχειών E_J είναι $E_R=1.47$ GPa και $E_J=0.037$ GPa. Όλες οι παράμετροι προσδιορίστηκαν πειραματικά.

3 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Με βάση τις καμπύλες φορτίου–καθιζήσεων, τη μορφή του παραμορφωμένου καννάβου, τις κατανομές των τάσεων και τα διαγράμματα μετατοπίσεων είναι δυνατόν να διακρίνουμε τρεις τύπους αστοχίας και γενικότερα συμπεριφοράς του στρωσιγενούς υλικού κάτω από το θεμέλιο.

Στον πρώτο τύπο ανήκει η περίπτωση $\beta=0^\circ$ (οριζόντια στρώματα), στον δεύτερο οι περιπτώσεις $\beta=10^\circ$ έως 60° και στον τρίτο οι περιπτώσεις $\beta=80^\circ$ και 90° .

Στην παρούσα δημοσίευση λόγω έλλειψης χώρου παρουσιάζονται συνοπτικά οι χαρακτηριστικές περιπτώσεις με κλίση στρώσεων $\beta=45^\circ$ και 80° με βάση τα αντίστοιχα διαγράμματα, σαν τυπικές του δεύτερου και τρίτου τύπου αστοχίας που είναι οι συνηθέστεροι.

Για τις καμπύλες του δεύτερου τύπου όπως αυτή που αντιστοιχεί σε γωνία $\beta=45^\circ$ παρατηρείται ότι μετά από ένα σχετικά ευθύγραμμο τμήμα, παρουσιάζεται μια αύξουσα καμπυλότητα με ενδιάμεσα σημεία πιο έντονης καμπής (Σχήμα 2).

Για τις καμπύλες, του τρίτου τύπου παρατηρείται μια διγραμμική καμπύλη με ένα κύριο σημείο καμπής και μετά από μεγάλες καθιζήσεις έναρξη καμπυλότητας που οδηγεί στην αστοχία (Σχήμα 5).

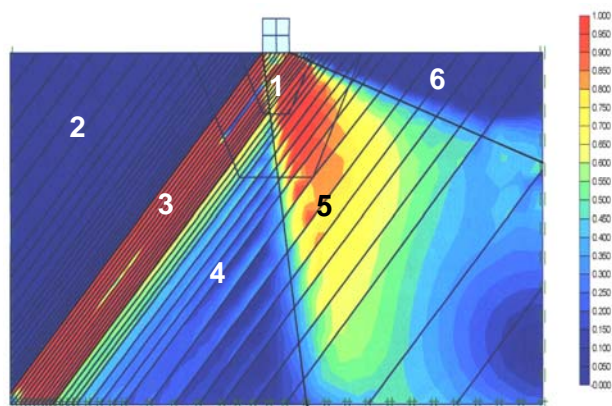
Για όλες τις καμπύλες είναι δυνατόν να διακριθούν τέσσερα χαρακτηριστικά σημεία εντονότερης καμπής που αντιστοιχούν σε χαρακτηριστικές μετατοπίσεις και αναδιατάξεις των εσωτερικών τάσεων όπως φαίνεται στα διαγράμματα των μετατοπίσεων, σχετικών διατμητικών τάσεων και πλαστικοποιημένων περιοχών.

Το πρώτο χαρακτηριστικό σημείο αντιστοιχεί σε αρχική διαρροή στα άκρα του θεμελίου για τον δεύτερο τύπο συμπεριφοράς και στην έναρξη φαινομένων λυγισμού για τον τρίτο. Το δεύτερο χαρακτηριστικό σημείο, το οποίο ονομάζεται εδώ πρώτη αστοχία, αντιστοιχεί σε πιο εκτεταμένη τοπική πλαστική αστοχία ή λυγισμό ανάλογα με τη γωνία β , και το τρίτο στην έναρξη δημιουργίας γενικότερης πλαστικοποιημένης περιοχής ή συνύπαρξης τέτοιας περιοχής με ελαστοπλαστικό λυγισμό που οδηγεί μετά από σχετικά μεγάλες παραμορφώσεις στο μέγιστο φορτίο αστοχίας. Το φορτίο αυτό τεκμαίρεται από τον τερματισμό του αλγορίθμου του PLAXIS με το μήνυμα “Η μάζα του εδάφους αστόχησε...”.

Για το δεύτερο τύπο συμπεριφοράς με γωνίες β από 10° έως 60° , είναι δυνατόν να διακρίνουμε έξι τομείς που καθορίζονται από τα πεδία των τάσεων και των μετατοπίσεων όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Ο τομέας 1 είναι σε επαφή με το θεμέλιο, έχει τριγωνικό σχήμα και αποτελεί σφήνα που κινείται σαν ένα σώμα με το θεμέλιο και βρίσκεται σε μεγάλο βαθμό

σε ελαστική ισορροπία. Ο τομέας 2 παρουσιάζει κυρίως διάτμηση των ασυνεχειών και κάμψη των στρωμάτων με κίνηση προς τη θεμελίωση αρχικά και αντίστροφη κίνηση προς τα έξω για μεγαλύτερα φορτία. Ο τομέας 3 παραλαμβάνει μεγάλα φορτία κατά μήκος μιας δέσμης στρωμάτων. Ο τομέας 4 έχει γενικά μικρές κύριες τάσεις, αλλά παρουσιάζει διατμητική αστοχία κατά μήκος των ασυνεχειών. Ο τομέας 5 αποτελείται από μία τριγωνική περιοχή όπου τα στρώματα συμπιέζονται περίπου κάθετα προς το επίπεδό τους, κάμπτονται και τελικά εμφανίζουν θλιπτική αστοχία κοντά στο θεμέλιο. Τέλος ο τομέας 6, τριγωνικής μορφής και αυτός παρουσιάζει ολίσθηση των στρωμάτων αρχικά προς τα κάτω και τελικά προς τα άνω, κοντά στο θεμέλιο κυρίως. Τα φορτία μεταβιβάζονται κυρίως στους τομείς 3 και 5. Τα φαινόμενα που περιγράφονται δεν παρουσιάζονται ταυτόχρονα αλλά ακολουθούν μια εξελικτική πορεία με την αύξηση του φορτίου (μετατοπίσεων).

Στον τρίτο τύπο συμπεριφοράς ($\beta=80^\circ$ και 90°) ο τομέας 6 εξαφανίζεται και ο 5 παρουσιάζεται σημαντικά μειωμένος. Το σημείο καμπής αντιστοιχεί σε κάμψη και λυγισμό των στρωμάτων κάτω από το θεμέλιο (τομέας 3) και θεωρείται εδώ ως έναρξη αστοχίας.



Σχήμα 1 : Χαρακτηριστικοί τομείς κατανομής των τάσεων κάτω από το θεμέλιο

Μετά την έναρξη αστοχίας λόγω λυγισμού είναι δυνατόν να εντοπισθεί και ένα ενδιάμεσο σημείο που θεωρείται εδώ σαν πρώτη αστοχία και σηματοδοτεί την έναρξη της διαδικασίας που οδηγεί στη δεύτερη αστοχία με συνύπαρξη λυγισμού και πλαστικής αστοχίας.

Το μέγιστο φορτίο συνοδεύεται από τον σχηματισμό σφήνας αμέσως κάτω από το θεμέλιο και ελαστοπλαστική αστοχία με χαρακτηριστικά λυγισμού στον τομέα 3 που αναλαμβάνει τα φορτία και παρουσιάζει μετακίνηση των στρώσεων αριστερά και δεξιά που συνοδεύεται με πλαστική αστοχία του υλικού προς τα δεξιά.

4 ΤΥΠΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ $\beta=45^\circ$

Στην περίπτωση αυτή όπως και για όλες τις γωνίες από 10° έως 60° έχουμε τους έξι τομείς που περιγράφηκαν στην παράγραφο 2. Στο Σχήμα 2 φαίνεται η καμπύλη δυνάμεων - καθιζήσεων F_y-U που προέκυψε από το πρόγραμμα PLAXIS. Στην καμπύλη αυτή σημειώνονται επίσης και τα τέσσερα χαρακτηριστικά σημεία που εντοπίστηκαν και αντιστοιχούν:

α) Στην έναρξη αστοχίας (βήμα 252) με:

$$P = 47,0 \text{ kN}, U = 3,39\text{mm} \text{ και } \bar{U} = 11,1\%$$

β) Στην πρώτη αστοχία (βήμα 400) με:

$$P = 70,6 \text{ kN}, U = 6,11\text{mm} \text{ και } \bar{U} = 20,3\%$$

γ) Στην δεύτερη αστοχία (βήμα 555) με:

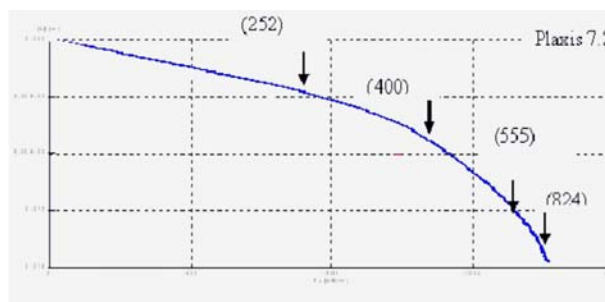
$$P = 89,7 \text{ kN}, U = 11,00\text{mm} \text{ και } \bar{U} = 36,0\%$$

δ) Στο μέγιστο φορτίο (βήμα 824) με:

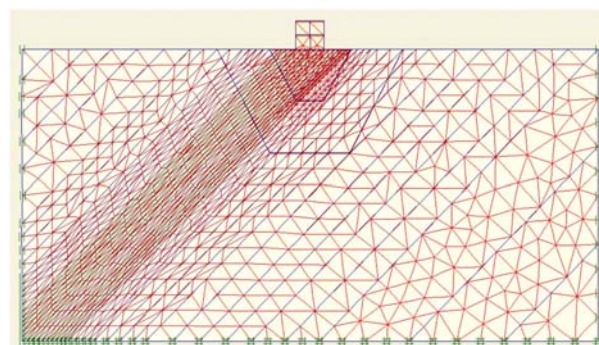
$$P = 97,8 \text{ kN}, U = 15,00\text{mm} \text{ και } \bar{U} = 50,0\%$$

όπου P , U και \bar{U} είναι τα αντίστοιχα φορτία, καθιζήσεις και σχετικές καθιζήσεις με $\bar{U} = (U/B) * 100$. Το πειραματικά προσδιορισμένο φορτίο ισούται με 65 kN, λίγο μικρότερο από το φορτίο πρώτης αστοχίας.

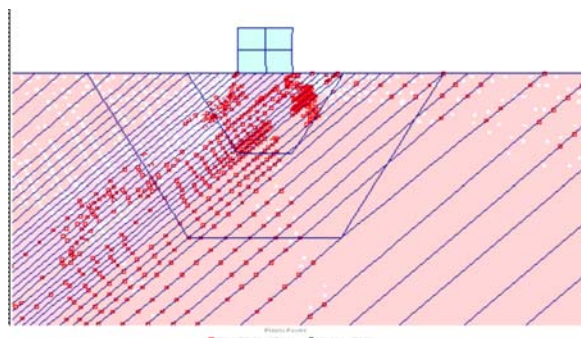
Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ο κάρναβος που αντιστοιχεί στη γωνία $\beta=45^\circ$ και στο Σχήμα 4 τα σημεία πλαστικής και εφελκυστικής (λευκά σημεία) αστοχίας.



Σχήμα 2 : Καμπύλη φορτίου-καθίζησης $\beta=45^\circ$



Σχήμα 3 : Παραμορφωμένος κάρναβος $\beta=45^\circ$



Σχήμα 4 : Σημεία πλαστικής και εφελκυστικής αστοχίας, $\beta=45^\circ$, Βήμα 252

5 ΤΥΠΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ $\beta=80^\circ$

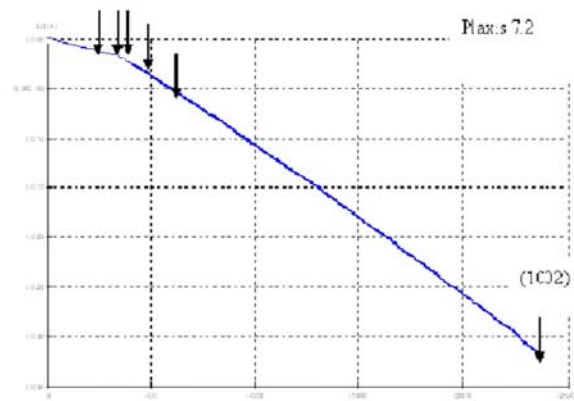
Για τις γωνίες $\beta=80^\circ$ και $\beta=90^\circ$ τα στρώματα κάτω από το θεμέλιο παρουσιάζουν φαινόμενα λυγισμού με όριο μέγιστης καθιζήσης 35 mm και ο αλγόριθμος τερμάτισε εξαντλώντας το

μέγιστο αριθμό βημάτων (1002) με το μήνυμα ότι: «Το υλικό φαίνεται να αστοχεί». Στο σχήμα 5 φαίνεται η καμπύλη F_y-U . Οι καμπύλες φορτίου-καθίζησης παρουσιάζουν αρχικά δύο ευθύγραμμους κλάδους που συνδέονται με μία καμπύλη που παρουσιάζει ελάχιστη ακτίνα καμπής στο βήμα 210 της πρώτης επίλυσης. Από την καμπύλη αυτή παρουσιάζονται εδώ τα βήματα 210 και 360 (δεύτερο και τέταρτο βέλος από αριστερά) τα οποία θεωρείται ότι αντιστοιχούν στην έναρξη αστοχίας που συμπίπτει με την έναρξη του φαινομένου του λυγισμού, και την πρώτη αστοχία που αντιστοιχεί στη μετάδοση του λυγισμού σε μεγαλύτερο βάθος στον τομέα 3 και στην έναρξη μετάδοσης πλευρικών φορτίων στον τομέα 3 (αριστερά του θεμελίου). Στο σχήμα 6 φαίνεται ο κάναβος για $\beta=80^\circ$ και στο σχήμα 7 τα σημεία πλαστικής και εφελκυστικής αστοχίας.

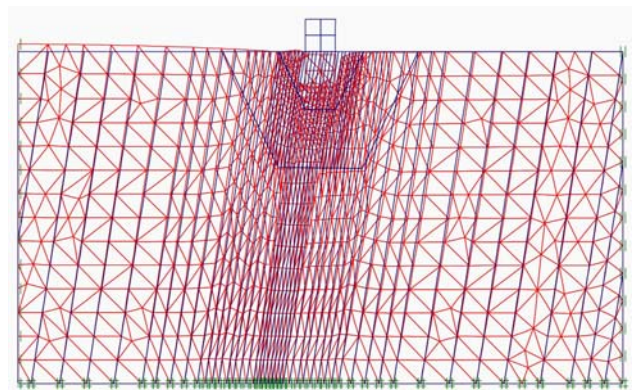
Έτσι τα τέσσερα χαρακτηριστικά σημεία που εντοπίστηκαν έχουν τα ακόλουθα φορτία και μετατοπίσεις:

- α) Έναρξη αστοχίας λόγω λυγισμού (βήμα 210):
 $P = 24,2 \text{ kN}$, $U = 1,83 \text{ mm}$ και $\bar{U} = 6,1\%$
- β) Πρώτη αστοχία (βήμα 310):
 $P = 38,1 \text{ kN}$, $U = 4,29 \text{ mm}$ και $\bar{U} = 14,3\%$
- γ) Δεύτερη αστοχία (βήμα 387):
 $P = 179,2 \text{ kN}$, $U = 36,00 \text{ mm}$ και $\bar{U} = 120,0\%$
- δ) Μέγιστο φορτίο (βήμα 477):
 $P = 241,7 \text{ kN}$, $U = 57,00 \text{ mm}$ και $\bar{U} = 190,0\%$

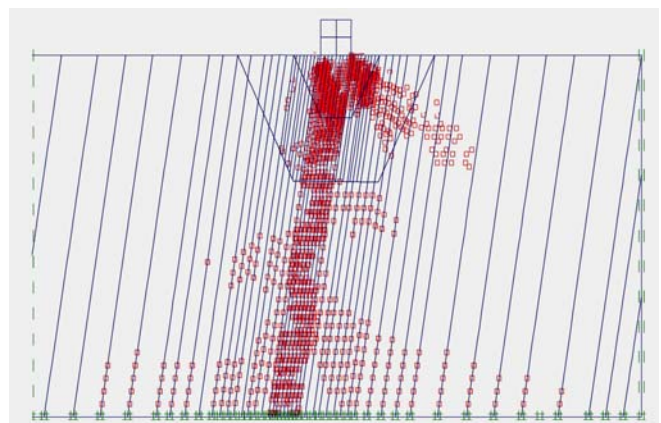
Δύο πειραματικά φορτία αστοχίας έδωσαν τιμές 25 kN και 42 kN που βρίσκονται μεταξύ της έναρξης αστοχίας και της πρώτης αστοχίας.



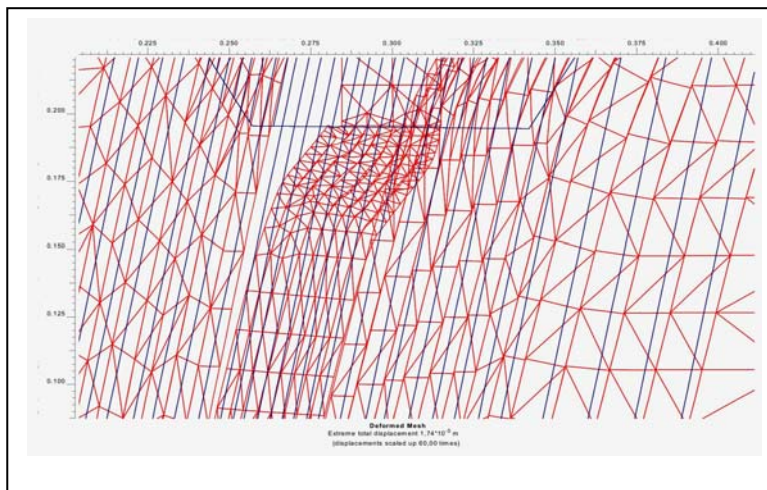
Σχήμα 5 : Καμπύλη φορτίου – καθίζησης, $\beta=80^\circ$



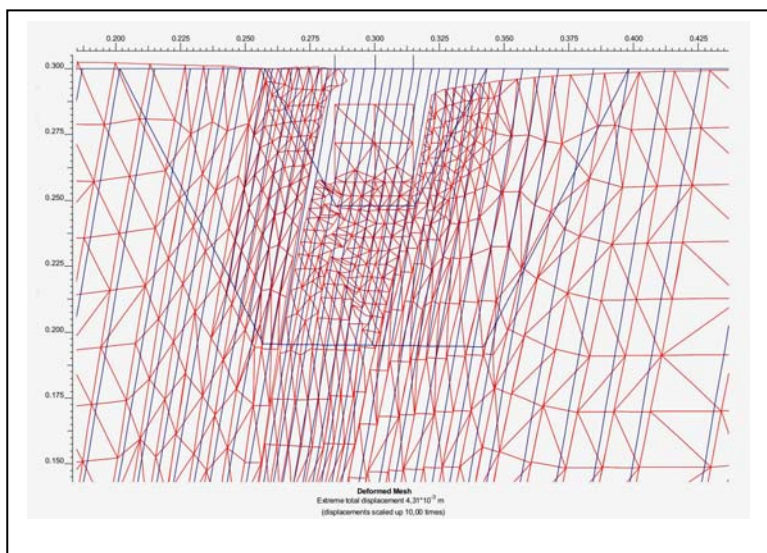
Σχήμα 6 : Παραμορφωμένος κάναβος, $\beta=80^\circ$



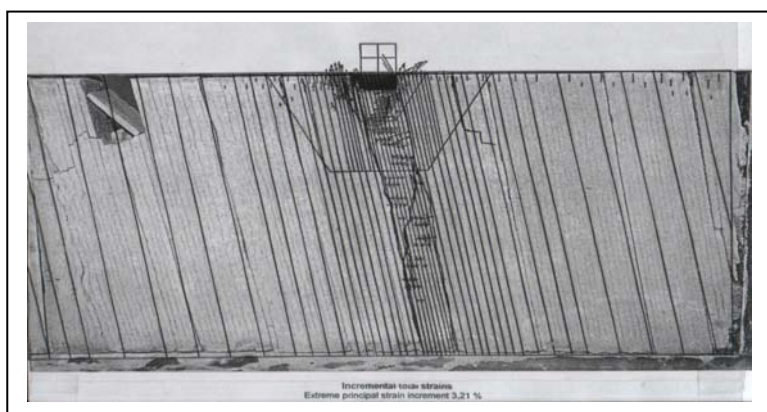
Σχήμα 7 : Σημεία πλαστικής και εφελκυστικής αστοχίας, $\beta=80^\circ$, βήμα 387



Σχήμα 8 : Παραμορφωμένος κάναβος $\beta = 80^\circ$, βήμα 210



Σχήμα 9 : Παραμορφωμένος κάναβος $\beta = 80^\circ$, βήμα 360



Σχήμα 10 : Δοκίμιο με γωνία $\beta = 80^\circ$ με επικολλημένο το θεωρητικό διάγραμμα των διαφορικών παραμορφώσεων για την δεύτερη αστοχία

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται η φωτογραφία ενός δοκιμίου που διασώθηκε μετά την αποφόρτιση. Στην φωτογραφία αυτή παρουσιάζονται οι παραμένουσες ρηγματώσεις και παραμορφώσεις των στρωμάτων. Τα φαινόμενα λυγισμού που αναφέρεται ότι παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια της φόρτισης σχεδόν εξαφανίζονται μετά την αποφόρτιση, τα μεν ελαστοπλαστικά κοντά στο θεμέλιο λόγω θραύσης στις αντίστοιχες περιοχές μετά από σχετικά μεγάλες μετατοπίσεις, τα δε ελαστικά λόγω επαναφορά σε μεγάλο βαθμό των στρωμάτων στην αρχική θέση περίπου. Στα σχήματα έχει επικολληθεί το διάγραμμα των διαφορικών παραμορφώσεων καθώς και των πλαστικοποιημένων σημείων (στη δεύτερη αστοχία). Είναι προφανής η ποιοτική συμφωνία του θεωρητικού υπολογισμού με τα πειραματικά αποτελέσματα, όσον αφορά την περιοχή και τη μορφή των ρηγματωμένων και παραμορφωμένων περιοχών.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα :

- Το φαινόμενο της αστοχίας είναι ένα εξελικτικό φαινόμενο που φαίνεται να έχει τέσσερα χαρακτηριστικά στάδια, που εμφανίζονται με σημεία καμπής στην καμπύλη φορτίου – καθιζήσεων. Τα στάδια αυτά είναι η έναρξη αστοχίας, με εμφάνιση μικρής διαροής του υλικού στην μία άκρη του θεμελίου και ανοίγματος των ασυνεχειών στην άλλη άκρη, την πρώτη αστοχία με τοπική πιο εκτεταμένη πλαστικοποίηση, την δεύτερη αστοχία, με γενικευμένες πλαστικές περιοχές και εμφάνιση πιο έντονης κλίσης στην καμπύλη φορτίου-καθιζήσεων και τέλος το μέγιστο φορτίο όπου ο αλγόριθμος

συνήθως τερματίζει με ένδειξη αστοχίας του υλικού.

- Για γωνίες τουλάχιστον άνω των 80° παρουσιάζονται φαινόμενα λυγισμού των στρωμάτων αλλά το φαινόμενο αυτό φαίνεται να υπάρχει τοπικά και σε μικρότερες γωνίες κλίσης.

- Από απόψεως κατανομής των τάσεων και μετατοπίσεων εντοπίζονται έξι ζώνες. Σε κεκλιμένα στρώματα από 10° έως 80° τα φορτία αναλαμβάνονται από τις ζώνες 3 και 5 που είναι αντίστοιχα παράλληλη και σχεδόν κάθετη στα στρώματα, όπως έχουν δείξει τα παλαιότερα πειράματα και θεωρίες. Στους τομείς 2 και 6 εμφανίζεται διατμητική αστοχία με φαινόμενο ανατροπής και ολίσθησης κατά μήκος των ασυνεχειών αντίστοιχα.

- Τα φαινόμενα λυγισμού που παρουσιάστηκαν, συνοδεύονται από διγραμμικές καμπύλες φορτίων-καθιζήσεων. Τα φαινόμενα αυτά δεν αναφέρονται στις παλαιότερες πειραματικές εργασίες που εξετάστηκαν και δεν λαμβάνονται υπόψη στις υπάρχουσες απλές θεωρίες υπολογισμού φέρουσας ικανότητας.

- Τα μέγιστα φορτία που ευρέθηκαν πειραματικά βρίσκονται γενικά πιο κοντά στην καμπύλη της πρώτης αστοχίας. Χαρακτηριστικό όμως για τις γωνίες των 80° και 90° είναι ότι η δεύτερη αστοχία και το μέγιστο φορτίο επιτυγχάνονται για πολύ μεγάλες καθιζήσεις, γεγονός που δεν ισχύει στην πράξη γιατί μετά το φορτίο λυγισμού δημιουργείται ψαθυρή αστοχία των στρωμάτων.

- Η σύγκριση των θεωρητικών καμπυλών φορτίου-καθιζήσεων με τις αντίστοιχες πειραματικές είναι ποιοτικά ικανοποιητική, όμως οι θεωρητικές καμπύλες δεν παρουσιάζ-

ζουν την αρχική σκλήρυνση του υλικού και τη χαλάρωση (απώλεια αντοχής) μετά το μέγιστο φορτίο που εμφανίζονται στις πειραματικές, γεγονός αναμενόμενο μια που τα φαινόμενα αυτά δεν υπεισέρχονται στις καταστατικές εξισώσεις του προτύπου.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Biarez, J. et Giroud, J. P (1964), "*Equilibre d'un massif de sol stratifié*", C. R. Acad. Sc, Paris, t 259, 16 nov., pp 3437 -3440
- Bishnoi, B. W. (1968), "*Bearing capacity of jointed rock*", Ph. D. Thesis, Georgia Institute of Technology.
- Boehler, J. P. and Sawczuk, A. (1970), "*Equilibre limite des sols anisotropes*", J. de Mecanique 9, p. 5.
- Döring, T. (1967), "*Über den Einfluß der Klüftung auf die Spannungsverteilung im Fels*" Felsmech. U. Ing. Geol. Suppl III, 1967, pp. 18 – 26.
- Föppl, L. (1957), "*Elastische Spannungszustände in Körpern mit ebenen schnitten*", Geol. U. Bauw., Jg. 23, H.1.
- Franklin, J. A. and Dusseault, M. B. (1991), "*Rock Engineering Applications*", McGraw-Hill, Inc.
- Gazief, E. G. and Erlikhman, S. A. (1971), "*Stresses and strains in Anisotropic Rock Foundation (Model studies)*", Rock Fracture, Proc. Int. Symp. Rock. Mech. ISRM, Nancy France, Report II-1.
- Ladanyi B. and Roy A. (1971) "Some aspects of the bearing capacity of rock masses" Proc 7th Canadian Symp. of Rock Mechanics, Edmonton.
- Malina, H. (1969), "*Berechnung von Spannungsumlagerungen in Fels und Boden mit Hilfe der Elementen Methode*", Diss., Un. Karlsruhe.
- Serrano, A. and Olalla, C. (1998), "*Ultimate Bearing Capacity of An Anisotropic Discontinuous Rock Mass*", Part I: Basic Modes of Failure, Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Vol. 35, No 3, pp. 301 – 304.
- Serrano, A. and Olalla, C. (1998), "*Ultimate Bearing Capacity of An Anisotropic Discontinuous Rock Mass*", Part II: Determination Procedure, Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Vol. 35, No 3, pp. 325 – 348.
- A. Siva Reddy and Ramanathan J. Srinivasan (1970), "*Bearing capacity of footings on anisotropic soils Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*", Nov. 1970.
- Θεοδωρής Γ., Κρεμπούνης Α. και Τσώρος Α., (1998), "*Φέρουσα ικανότητα στρωματομένου ανισότροπου εδάφους φορτιζομένου υπό ορθογωνικού μη στρεφομένου θεμελίου*". Διπλωματική εργασία, Εργαστήριο Γεωτεχνικής Μηχανικής, Πανεπιστήμιο Πατρών.