

## **Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΩΝ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΠΙΝΔΟΥ, ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΣΚΑΦΗ ΓΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΥΨΗΛΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΟΔΟΠΟΪΙΑΣ ΣΤΗΝ ΟΡΕΙΝΗ ΑΡΓΙΘΕΑ. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ.**

Σφέικος Α.<sup>1</sup>, Στιμάρατζης Θ.<sup>2</sup>, Κίλιας Α.<sup>2</sup> & Χρηστάρας Β.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ΥΠΕΧΩΔΕ Τμ. Κατ. Εργων Αχελώου Τρίκαλα aris3kala@yahoo.gr

<sup>1</sup> Τομέας Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 546 21 Θεσσαλονίκη

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

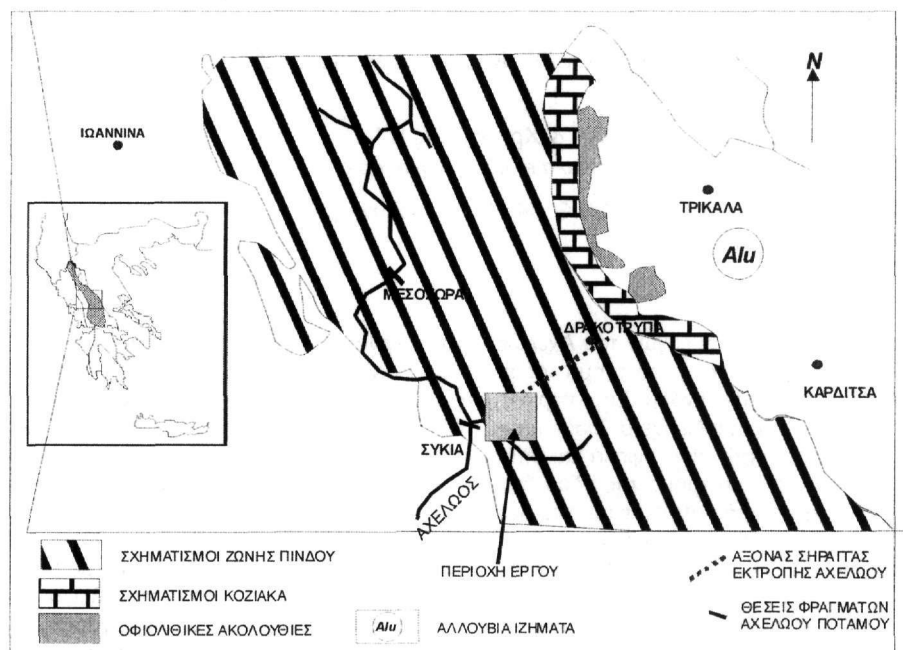
Στο πλαίσιο εκτέλεσης των έργων του Αχελώου έγιναν εργασίες βελτίωσης της επαρχιακής οδού Μουζακίου – Αρτας. Η οδός στο τμήμα της στο νομό Καρδίτσας αναπτύσσεται επι γεωλογικών σχηματισμών της Ζώνης της Πίνδου. Στην περιοχή της ορεινής Αργιθέας του Ν. Καρδίτσας, μεταξύ Αργιθέας - Πετρωτού, η οδός διέρχεται διαμέσου κρητιδικών ασβεστολιθών με καλπιοπέλλες. Σχηματισμοί οι οποίοι διαμορφώνουν υψηλά και απότομα πρηνή, στο φυσικό ανάγλυφο, και στο υποτυπώδες αρχικά διάνοιγμένο τμήμα της οδού δημιουργούσαν πρηνή σχεδόν κατακόρυφα, ύψους περί τα 50μ. Ο σχηματισμός αποτελείται από λεπτό προς μέσο στρωματώδεις ασβεστολίθους με ενδοστρωματική ομαλή ιζηματολογική μετάβαση προς πυριτωμένο ασβεστόλιθο ή και θέσεις καθαρής κερατολιθικής σύστασης, διαχωριζόμενα από λεπτό αργιλικό ή ιλυολιθικό φίλμ. Είναι έντονα πτυχωμένοι και διακλασμένοι. Ο αρχικός σχεδιασμός για την βελτίωση της οδού προέβλεπε την εκσκαφή πρηνούς με ενδιάμεσο αναβαθμό και κλίση Π:Υ 1:4. Κατά την πρόοδο των εργασιών εκσκαφής εκδηλώθηκε καταστροφή της γεωμετρίας του πρηνούς και κύρια των αναβαθμιδών. Ενώ με την ολοκλήρωση της εκσκαφής διαμορφώθηκε μία γεωμετρία αναξάρτητη από αυτές του σχεδιασμού, πιθανόν όμως σε κατάσταση δυναμικής ισορροπίας.

Στην εργασία αυτή επιχειρούμε να προσομοιώσουμε την συμπεριφορά του σχηματισμού σε εκσκαφή εφαρμόζοντας τη γεωμετρία κατασκευής. Με βάση εργαστηριακά και βιβλιογραφικά δεδομένα επιλέχθηκαν τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων των οποίων η εφαρμογή να προσομοιάζει καλύτερα την μορφή της αστοχίας όπως αυτή εκδηλώθηκε στην πραγματικότητα. Υπολογίζουμε τις τιμές του συντελεστή ασφάλειας για την θεωρητική γεωμετρία κατασκευής ώστε να ελεγχθεί η συμπεριφορά του πρηνούς. Ελέγχεται η ισορροπία του σχηματισμού με βραχομηχανικές μεθόδους και επιχειρείται προσομοίωση της συμπεριφοράς και με την χρήση μεθόδων της εδαφομηχανικής, αντιμετωπίζοντας το σχηματισμό σαν «εδαφικό» υλικό. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι σε βραχύδεις σχηματισμούς με αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να αποδοθούν ιδιότητες «εδάφους» και η αντίστοιχη επίλυση της συμπεριφοράς των να προσεγγίξει κατά πολύ την πραγματικότητα.

### **1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο πλαίσιο της υλοποίησης των έργων για την εκτροπή νερών του ποταμού Αχελώου (Σχ.1) από την υδρολογική λεκάνη του στην περιοχή της Θεσσαλίας, βελτιώνονται και τα ήδη υφιστάμενα έργα και υποδομές. Τόσο αυτά που διευκολύνουν την προσπέλαση στον χώρο εργασιών όσο και περιμετρικά της λεκάνης κατακλισης. Σε αυτά εντάχθηκαν και εκτελέστηκαν εργασίες βελτίωσης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της επαρχιακής οδού Μουζακίου - Συκιάς. Οι εργασίες περιορίστηκαν στο τμήμα εκείνο που παραμένει εκτός της περιοχής κατάκλισης του ταμιευτήρα Συκιάς. Η διέλευση της οδού γίνεται μέσα από τους γεωλογικούς σχηματισμούς που δομούν την ζώνη της Πίνδου. Το τοπογραφικό ανάγλυφο στην περιοχή είναι ιδιαίτερα έντονο με ανάπτυξη απότομων πρηνών. Κατα κανόνα στην περιοχή οι σχηματισμοί που παρουσιάζουν ευκολία στην διάβρωση και αποσάρθρωση δημιουργούν ήπιοτερο τοπογραφικό ανάγλυφο σε σχέση με σχηματισμούς ανθεκτικούς και με σφικτή δομή.

Στην παρούσα εργασία περιγράφουμε την συμπεριφορά κατά την εκσκαφή ενός των γεωλογικών σχηματισμών που συνιστούν την ζώνη της Πίνδου, για την βελτίωση της οδού. Ο σχηματισμός αυτός είναι οι ασβεστόλιθοι με καλπιοπέλλες που εμφανίζονται κατά μήκος ενός εξαιρετικά αποτόμου πρτανούς με ύψος 50 μ και μήκος 250μ. (σχ. 2).



ΣΧ.1 Γενική διαταξη και γεωγραφική κατανομή των έργων εκτροπής του Αχελώου ποταμού στην Θεσσαλία.

Επιχειρείται να ερμηνευθεί η συμπεριφορά του σχηματισμού προσεγγίζοντας τα χαρακτηριστικά του, και επιχειρώντας αντίστοιχα την ταξινόμηση του. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας για το πρτανές τόσο με βάση την βραχομηχανική όσο και την εδαφομηχανική. Για την εκτέλεση των υπολογισμών έγινε χρήση του λογισμικού SLOPE/W και των εναλλακτικών δυνατοτήτων που προσφέρει.

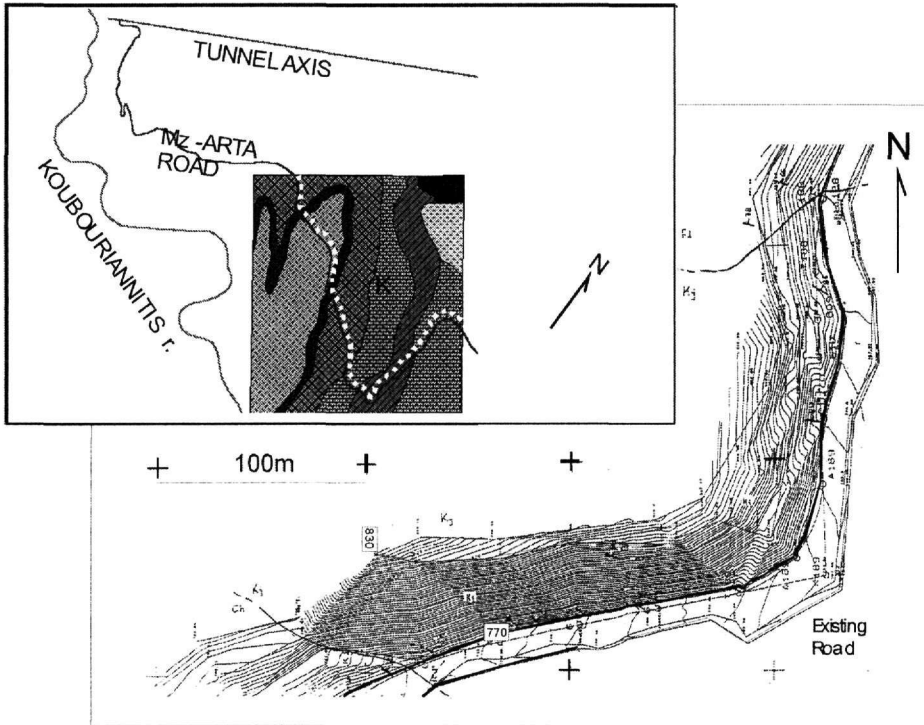
## 2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή διέλευσης της οδού δομείται απο τους παρακάτω γεωλογικούς σχηματισμούς που απαντώνται στην κανονική στρωματογραφική τους διαδοχή (Jacobshagen 1986, ΔΕΗ/ΔΑΥΕ 1994 ) (βλέπε σχ.1) . Ιλυόλιθοι και κερατόλιθοι σε εναλλαγές με εντρώσεις πυριτωμένων ασβεστολίθων δομούν το σχηματισμό στο δυτικό τμήμα, με ηλικία Τριαδικό - Ιουρασικό. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται σε λεπτές στρώσεις πάχους 10 εκ.. Η έντονη διαφορά συμπεριφοράς μεταξύ ιλυολίθων και κερατολίθων είναι ο ρυθμιστικός παράγων της συμπεριφοράς του σχηματισμού κατά την εκσκαφή. Οι ιλυολιθικές στρώσεις διαβρώνονται εύκολα και γρήγορα σε αντίθεση με τις ενστρώσεις κερατολίθων. Αυτοί εμφανίζουν έντονο κερματισμό κατά την άσκηση τεκτονικής παραμόρφωσης, με αποτέλεσμα να διασπώνται σε ορθογωνικά τεμάχη. Πολύ συχνά αυτά ολισθαίνουν υπό την επίδραση της βαρύτητα λόγω αποσάθρωσης του ενδιαμέσου ιλυολιθικού συνδετικού στρώματος.

Τον σχηματισμό αυτο διαδέχονται οι ασβεστόλιθοι με καλπιοπέλλες ηλικίας Ιουρασικού. Είναι λεπτοστρωματώδεις υπόγκριζοι χρώματος ασβεστολίθοι που τα στρώματα τους χωρίζονται απο λεπτό υλιολιθικό στρώμα πάχους μερικών χιλστών έως εκατοστών. Τοπικά αυξάνεται το ποσοστό πυριτικού υλικού δημιουργώντας πυριτικό ασβεστόλιθο, ενώ σποραδικά το πυριτικό υλικό αντι να διαχυθεί στο ασβεστολιθικό, εμφανίζεται σαν συνιζηματογενής κερατολιθική ένστρωση. Αυτές εμφανίζονται συχνά με την μορφή Boudin λόγω της τεκτονικής δράσης. Οι ιλυόλιθοι που πληρώνουν

την διαστρωματική επιφάνεια των ασβεστολίθων δεν εμφανίζουν σημεία εξαλλοίωσης και αποσαρθρωσης. Το ασβεστολιθικό μέρος του σχηματισμού εμφανίζεται μακροσκοπικά υγιές.

Τους ασβεστολίθους με καλπιονέλλα διαδέχονται μεταβατικά στρώματα εναλλαγών ασβεστολίθων ιλυολίθων και κερατολίθων του πρώτου φλύσχη που αποτελούν την μετάβαση προς τους ασβεστολίθους του Κρητιδικού.



Σχ. 2 Γεωλογική και τοπογραφική αποτύπωση του πρανούς που εξετάζεται. Με Κ συμβολίζεται ο σχηματισμός των ασβεστολίθων με calypionella.

Ο σχηματισμός που εστιάσθηκε το ενδιαφέρον μας, είναι υδατοστεγανός. Ρυθμιστικός παράγων της στεγανότητας είναι η ύπαρξη των ενδιάμεσων ιλυολιθικών διαχωριστικών στρώσεων καθώς και η σφικτή δομή του σχηματισμού. Κατα το χρονικό διάστημα που διήρκεσαν οι εργασίες δεν εκδηλώθηκε εσωτερική ή υπόγεια υδροφορία.

Κύριο τεκτονικό χαρακτηριστικό των σχηματισμών είναι η έντονη ανάπτυξη πτυχών. Οι πτυχές είναι κατα κανόνα γωνιώδεις, ορθές με σαφή ανάπτυξη των σκελών τους. Στο σχ.3 δείχνονται τα στοιχεία των επιφανειών στρώσης που μετρήθηκαν στην περιοχή, σε προβολή στο δίκτυο Schmidt. Οι επιφάνειες που αντιστοιχούν στις μέγιστες συγκεντρώσεις θεωρούμε ότι αντιπροσωπεύουν και υλοποιούν τις συχνότερα απαντούμενες επιφάνειες στρώσης εντός της περιοχής ανάπτυξης του σχηματισμού.

Η συνέχιση της τεκτονικής δράσης και πέρα απο τις συνθήκες δημιουργίας πτυχών αποτυπώνεται στο σχηματισμό με την ανάπτυξη συστήματος διακλάσεων. Οι διακλάσεις που μετρήθηκαν στο σύνολο της επιφάνειας των ασβεστολίθων προβάλλονται στο δίκτυο Schmidt και δείχνονται οι μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων τους. Στο σχ.3 δείχνεται η προβολή των ασυνεχειών καθώς και στον πίνακα 1 οι τιμές που αντιστοιχούν στα μέγιστα των ασυνεχειών. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι επιφάνειες που αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές συγκέντρωσης αντιπροσωπεύουν διακλάσεις με την πλέον πιθανή εκδήλωση σε όλη την έκταση του σχηματισμού.

Πίνακας 1. Τιμές των μεγίστων συγκεντρώσεων των επιφανειών στρώσης (S) και διακλάσεων (J) του σχηματισμού

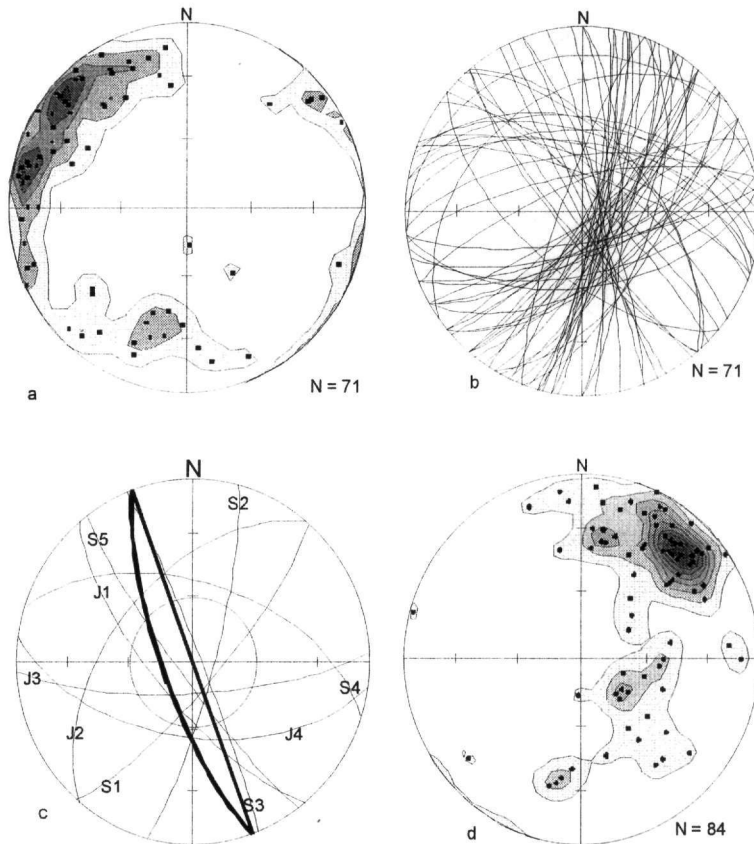
S1	131/78	J1	230/72
S2	105/80	J2	310/52
S3	068/86	J3	177/76
S4	017/54	J4	188/56
S5	233/83		

### 3 ΕΚΣΚΑΦΗ - ΑΣΤΟΧΙΕΣ

Η γεωμετρική διάταξη του άξονα της οδού σε σχέση με την γενική διάταξη (παράταξη) των στρωμάτων εμφανίζεται να είναι σχεδόν κάθετη.

Η επιφάνεια του τεχνητού πρανούς που επρόκειτο να εκσκαφή και να βελτιωθεί η οδός έχει παράταξη με στοιχεία  $160^{\circ} - 340^{\circ}$  (SE - NW) και κλίνει με  $76^{\circ}$  γωνία προς SW δηλαδή επιφάνεια με 250/76.

Η μελέτη που εκπονήθηκε στο τμήμα αυτό περιελάμβανε την διαμόρφωση πρανών με κλίση 1:4, οριζόντιο: κατακόρυφο και πλάτος αναβαθμίδας 5μ.



Σχ.3 Προβολές των επιφανειών στρώσης και δικλάσεων σε δίκτυο. Στο διάγραμμα c προβάλλονται οι μέσες επιφάνειες μετά απο την στατιστική ανάλυση και ελέγχεται η βραχομηχανική συμπεριφορά τους.

Κατα την υλοποίηση των εκσκαφών της μελέτης εκδηλωθήκαν αστοχίες στο πρανές μετά απο διάστημα ωρών έως ημέρας. Εμφανίσθηκαν με την μορφή αποκολήσεων τεμαχών απο το πρανές μεγέθους λατύπας, τα οποία και συσσωρεύονταν στον πόδα του πρανούς. Ο όγκος της αστοχίας

δεν υπερέβαινε κάθε φορά τα λίγα κυβικά μέτρα. Ο ρυθμός εκδήλωσης και εξέλιξης της αστοχίας ήταν χαμηλός, προσεγγίζοντας μάλλον γρήγορο ερπυσμό της μάζας παρά κατολίθιση.

Οριζοντιογραφικά επι του πρσανούς οι αστοχίες αυτές εμφανίσθηκαν κατα μήκος του εξωτερικού ορίου των αναβαθμιδών. Στην εξέλιξη τους δε, κατέστρεψαν πλήρως την αναβαθμίδα και επεκτάθηκαν προς το πρανές, καταστρέφοντας τη γεωμετρία του.

#### 4 ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Η πλειονότητα των μακροσκοπικών χαρακτηριστικών του σχηματισμού (υγείης βραχόμαζα, αρκετά σφικτή δομή) προοιδαζαν ότι πρόκειται για σχηματισμό με ικανοποιητική εσωτερική συνοχή και αντοχή άνω του μετρίου. Η βραχώδης αυτή εικόνα οδήγησε στην θεώρηση του, κατα την εκπόνηση της μελέτης σαν καλής ποιότητας βραχόμαζα. Στην περίπτωση αυτή εάν εκδηλωνόταν αστοχία αυτή θα βρισκόταν κάτω απο τον αποκλιστικό έλεγχο των συχνότερων επιφανειών στρώσης (S1-S5) και των πιθανότερων επιφανειών ασυνεχειών (J1,J2,J3,J4), όπως προηγούμενα τις ορίσαμε και στα επίπεδα που θα προέκειπταν απο την αλληλοτομή τους και τα μορφολογικά στοιχεία του πρσανούς (Hoek & Bray 1981). Θα αναμέναμε συνεπώς την εκδήλωση αστοχιών είτε κατα μήκος προκαθορισμένου επιπέδου, είτε σε μορφή πρίσματος οριζομένου απο επιφάνιες ασυνεχειών, στρώσης και το επίπεδο του πρσανούς.

Αναλύοντας τα δεδομένα και προβάλλοντας τα στο σχ.3c, βασιζόμενοι στις αρχές της βραχομηχανικής οι πιθανες εκδηλώσεις αστοχιών θα γίνονταν κατα μήκος της τομής των ασυνεχειών J1 J3 , ενώ οριακά ισορροπούν κατα μήκος της αλληλοτομής της επιφάνειας στρώσης 5 και J1. Οι πιθανές επιφάνειες που προκύπτουν απο την αλληλοτομή των επιφανειών στρώσης 1 & 5 και 2 & 5 είναι θεωρητική λύση και δεν υλοποιούνται στο πρανές λόγω των πτυχώσεων των στρωμάτων.

Αστοχία επίπεδης μορφής κατα μήκος στρωματογραφικής επιφάνειας δεν αναμενόταν.

Τα παραπάνω συνοψίζουν μία θεωρητική προσέγγιση της συμπεριφοράς των ασβεστολίθων με καλιονέλλα η οποία κατα την πράξη δεν επαληθεύθηκε, μάλλον το αντίθετο.

Κύριο και ρυθμιστικό παράγοντα στον καθορισμό των γεωμηχανικών ιδιοτήτων του σχηματισμού έχει ή λεπτή ιλυολιθική ένστρωση στην διαχωριστική διαστρωματική επιφάνεια των ασβεστολίθων. Οι ασβεστόλιθοι του σχηματισμού αυτού κατά την εργαστηριακή εξέταση τους (γεωτεχνική έρευνα για την προμελέτη της σήραγγας εκτροπής του Αχελώου και του φράγματος Συκιάς ΔΕΗ/ΔΑΥΕ 1994, Thanopoulos & Dalias 1996) έδωσαν τις παρακάτω εργαστηριακές τιμές μηχανικών χαρακτηριστικών:  $\sigma = 120$  MPa και  $E = 20000$  MPa και  $\varphi = 35^\circ$ .

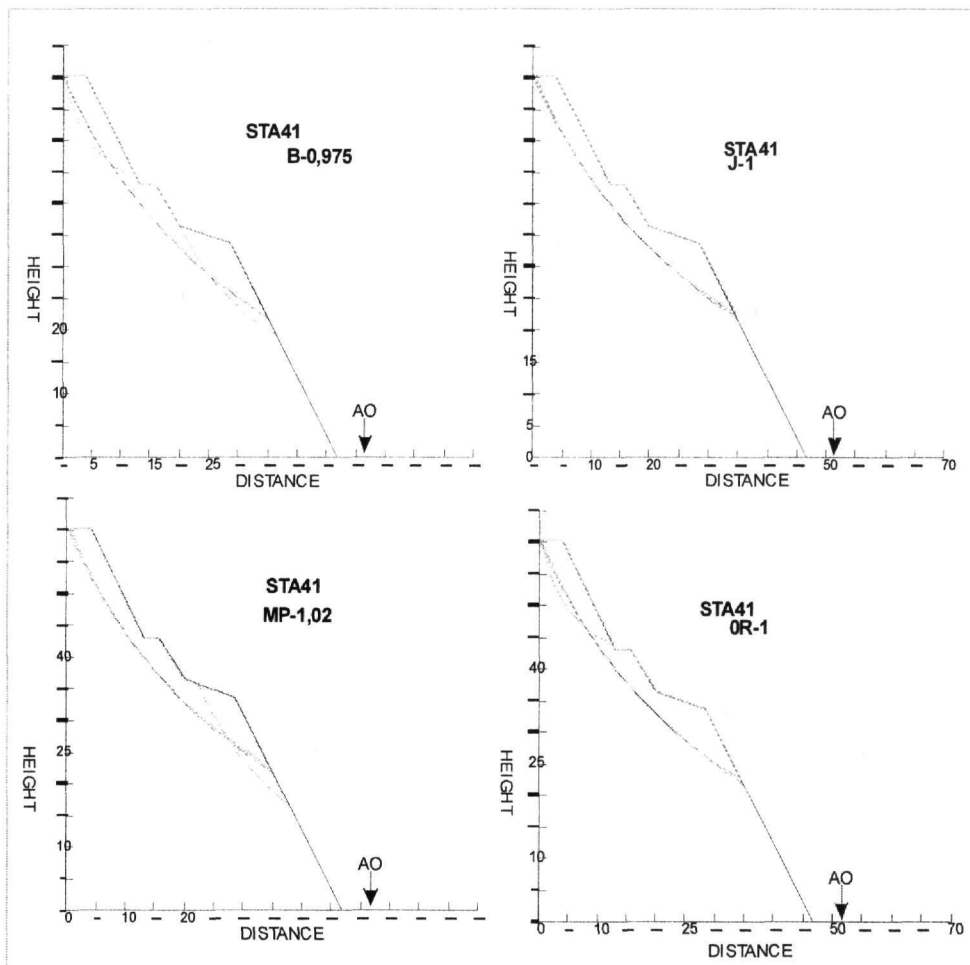
Μία ταξινόμηση του πετρώματος κατα RMR (Beniawski 1989) θα έδινε τιμή RMR=80, αντίστοιχα ο σχηματισμός εμφανιζε τιμές RQD 70% - 80% κατα την λήψη πυρήνα σε θέσεις εκτος έργου. Αντίστοιχα η ταξινόμηση του σύμφωνα με το σύστημα GSI (Geological Strength Index), θα του προσέιναπτε τιμή μεταξύ 30-40 (Marinos & Hoek 2000).

Εφαρμογή εμπειρικών μακροσκοπικών μεθόδων για τον προσδιορισμό τιμών χαρακτηριστικών του πετρώματος, σημαντικών στον καθορισμό της γεωμηχανικής του συμπεριφοράς δώσανε τα αποτελέσματα του Πίνακα 2. Η εφαρμογή των κριτηρίων έγινε τόσο σε καθαρό ασβεστολιθικό τμήμα όσο και ένστρωση ιλυολίθου που διαστρωματογραφικά χωρίζει τον ασβεστόλιθο.

Πίνακας 2 Αντιπροσωπευτικές τιμές γεωτεχνικών ιδιοτήτων των σχηματισμών. Uniaxial Compressive Strength in MPa,  $m_i$  σταθερά κριτηρίου Hoek Braon, E deformation modulus MPa.

Παράμετρος	Ασβεστόλιθος	Ιλυολιθική στρώση
UCS	25-50	1>>
$m_i$	10	4
$\varphi$	35 <sup>0</sup>	18 <sup>0</sup> μέγιστη τιμή
GSI	45	10
E	20 000	

Παρατηρούμε ότι τα επιμέρους πετρολογικά συστατικά του γεωλογικού σχηματισμού εμφανίζουν ακραίες διαφορές στις τιμές των γεωμηχανικών παραμέτρων που τα χαρακτηρίζουν. Αυτό αποτέλεσε και το κύριο πρόβλημα κατα την εργασία αυτή, ώστε να καθορισθούν οι τιμές των γεωτεχνικών και γεωμηχανικών ιδιοτήτων που λαμβάνονται υπόψη κατα την εκτέλεση των υπολογισμών, για τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφάλειας

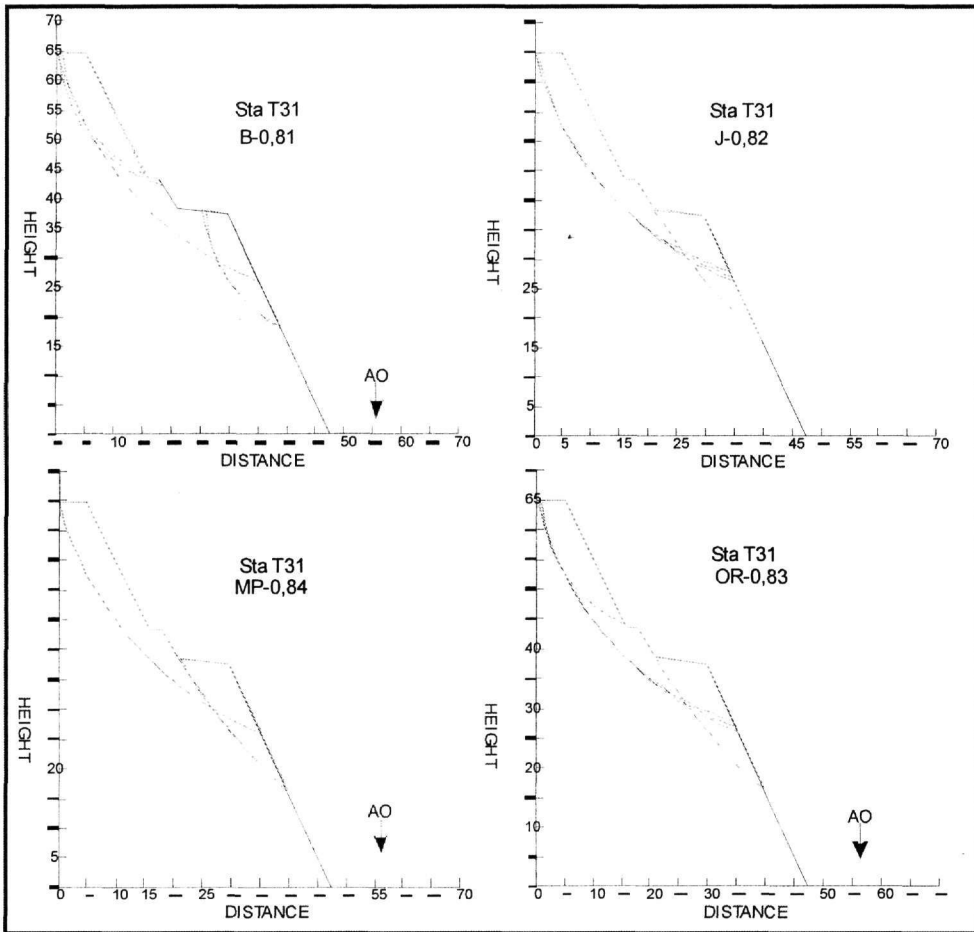


Σχ. 4 Διατομές της οδού που εκτελέστηκαν υπολογισμοί προσδιορισμού του συντελεστή ασφάλειας. Δείχνεται η γεωμετρία της αστοχίας που προκύπτει καθώς και η τιμή του ΣΑ που προκύπτει ανάλογα με τη μέθοδο προσδιορισμού

Η επιλογή τιμών για τους υπολογισμούς προσομοίωσης έγινε λαμβάνοντας υπόψη τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά και τις τιμές που προκείμεναν από εργαστηριακές δοκιμές. Καταλήξαμε σαν πλέον αντιπροσωπευτικές τιμές για το σύνολο του σχηματισμού στις ακόλουθες:  $\varphi=16^\circ$ ,  $\gamma=2,5$  t/k.μ. και  $\sigma=38\text{KPa}$ . Η εργαστηριακά υπολογισμένη μέγιστη τιμή της γωνίας εσωτερικής τριβής για την αργιλική ένσπρωση του σχηματισμού αυτού ήταν  $18^\circ$ . Με την ταπείνωση της τιμής δίνουμε το μέγεθος διαφοροποίησης μεταξύ της αργιλικής στρώσης και του λεπτού φιλμ που παρεμβάλλεται στους ασβεστόλιθους. Η τιμή ειδικού βάρους του ασβεστόλιθου λαμβάνεται από την βιβλιογραφία με διαφοροποίηση λόγω επιρροής των κερατολίθων που συμπεριέχονται. Με το ίδιο σκεπτικό έγινε και η επιλογή της τιμής της συνοχής. Η μορφή των αστοχιών του σχηματισμού, μας οδήγησε στην ταξινόμηση του στην ασφαλώς καθορισμένη διαχωριστική γραμμή βράχου και εδάφους κάτω από το πρίσμα της μηχανικής συμπεριφοράς και απόκρισης του κατά την κατασκευή.

Για την εξέταση της γεωμηχανικής συμπεριφοράς του πετρώματος με μεθόδους εδαφομηχανικής συνηγορεί καθοριστικά η εμφάνιση φυσικά διαμορφωμένων τεμαχίων (στοιχείων) πολύ μικρών διαστάσεων σε σχέση με την τάξη μεγέθους της εκσκαφής.

Ο λόγος της επιφάνειας εκσκαφής προς αυτήν τεμάχους υπεραίβεινε το  $1 / 60.000$ .



Σχ.5 Διατομές της οδού και οι λύσεις που προκύπτουν από τον υπολογισμό του ΣΑ και των πιθανότερων επιπέδων ολίσθησης που προκύπτουν. Οι τιμές παραμέτρων αναφέρονται στο κείμενο.

## 5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΙΜΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Μεθόδοι οριακής ισορροπίας αποτελούν το συνηθές εργαλείο μελέτης της ευστάθειας πρανών (εδαφικών ή βραχωδών με εδαφική συμπεριφορά), έχοντας ως σκοπό τον υπολογισμό της δυσμενέστερης τιμής του συντελεστή ασφάλειας και τον προσδιορισμό των γεωμετρικών στοιχείων της επιφάνειας με αυτή την τιμή, η οποία μπορεί να εμφανίζεται με κυκλική ή μη μορφή.

Η ακριβής μέθοδος του Bishop (1955) ικανοποιεί τόσο την ισορροπία των δυνάμεων όσο και των ροπών, δεχόμενη την άσκηση των δυνάμεων ροπών στο κέντρο του κύκλου ολίσθησης. Η επίλυση για την τιμή του συντελεστή ασφάλειας, λαμβάνει υπόψη τόσο την ισορροπία δυνάμεων σε κάθε στοιχείο, όσο και στο σύνολο των.

Η μέθοδος Spencer εξετάζει την ισορροπία των στοιχείων, θεωρώντας την άσκηση της δύναμης υπο γωνία  $\theta$ , εφαρμοζόμενη τόσο σε κυκλικής όσο και σε μή κυκλικής μορφής επιφάνεια ολίσθησης.

Στην ολοκληρωμένη μέθοδο του ο Janbu 1973, χρησιμοποίησε συνθήκες ισορροπίας δυνάμεων κατά την διεύθυνση παράλληλα και κάθετα προς την επιφάνεια ολίσθησης – αστοχίας, για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφάλειας.

Αντίστοιχα η μέθοδος που αναπτύχθηκε από τους Morgenstern Price (1965) βασιζόταν σε συνθήκες ισορροπίας δυνάμεων και ροπών για κάθε στοιχείο.



Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε υπολογίζει τον συντελεστή ασφαλείας του πρανούς που του δίνεται σύμφωνα με τις Μεθόδους Bishop, Ordinary, and Janbu, σε μία αρχική ενότητα. Στην συνέχεια γίνεται επιλογή συμπληρωματικών μεθόδων υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας, όπως η μέθοδος των Morgenstern Price.

Κατά το στάδιο εκτέλεσης των υπολογισμών, μία σειρά απο υπολογισμούς έγινε μετάβαλλοντας τις τιμές  $\gamma$  (κατα μερικά δέκατα) και  $\sigma$  (κατα μερικές δεκάδες), καθώς επιχειρήθηκε και η μεταβολή της τιμής της εσωτερικής γωνίας τριβής κατα τάξη μοίρας.

Εκτελέσθηκαν υπολογισμοί του συντελεστή ευστάθειας με τα παραπάνω γεωμηχανικά χαρακτηριστικά και για όλες τις διατομές κατά μήκος του πρανούς. Τα κέντρα των «κύκλων αστοχίας» τοποθετήθηκαν σε μία περιοχή εκτός του πρανούς καθόλο το ύψος του, ενώ έγινε η υπόθεση ότι οι κύκλοι διέρχονται κατά το δυνατόν πλησίον της επιφάνειας του πρανούς.

Στα σχ. 4&5 δείχνεται η γεωμετρία διατομών του πρανούς καθώς και οι πιθανότερες επιφάνειες αστοχίας που προκύπτουν με βάση τον υπολογισμό του  $F_s$  σύμφωνα με τις διάφορες μεθόδους. Η προηγούμενη ανάλυση δείχνει ότι υποθέτοντας εδαφική συμπεριφορά για το σχηματισμό των ασβεστολίθων, αναμένονται αστοχίες κατα μήκος του πρανούς και σε όλο το ύψος του. Οι αστοχίες θα εκδηλωθούν κατα μήκος αβαθών επιφανειών σε σχέση με την διαμορφωμένη επιφάνεια κατα την κατασκευή, οδηγώντας σε μερική καταστροφή των αναβαθμιδών.

Είναι χαρακτηριστικό ότι οι επιφάνειες εκδήλωσης αστοχίας που προκύπτουν, πλησιάζουν την πραγματική μορφή της επιφάνειας κατά μήκος της οποίας εκδηλώθηκαν οι αστοχίες. Στην πραγματικότητα ο θεωρητικός κύκλος ολίσθησης υλοποιείται από την κλιμακωτή μορφή που προκύπτει από την αλληλοτομή των ασυνεχειών (στρώσης και διακλάσεων).

Στον παρακάτω πίνακα δείχνουμε τους συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν από τους υπολογισμούς μας. Παρατηρούμε ότι όλοι εμφανίζουν τιμές μικρότερες της μονάδας που αποτελεί και το αποκλειστικό κριτήριο απώλειας της ισορροπίας και ευστάθειας του πρανούς.

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ F.S			
	BISHOP	JANBU	MORGENSTERN - PRICE	ORDINARY
40	0.846	0.875	0.895	0.833
41	0.900	0.880	0.899	0.891
43	0.982	0.977	0.981	0.979
44	1.038	1.022	1.034	1.031
T30	0.980	0.983	0.984	0.982
T31	0.987	0.977	0.982	0.984

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την διάρκεια εργασιών βελτίωσης των χαρακτηριστικών της επαρχιακής οδού Μουζακίου όρια Νομού Άρτας, στο Ν. Καρδίτσας, εκδηλώθηκε πρόβλημα ευστάθειας ενός υψηλού πρανούς. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που το δομούσαν (ασβεστόλιθοι με καλπινέλλες της ζώνης Πίνδου) εμφανίζουν πολυπλοκότητα τόσο ως προς την πετρογραφική τους σύσταση (εναλλαγές ασβεστόλιθων, κερατολίθων και λεπτές ιλυολιθικές ενστρώσεις) όσο και έντονα πτυχωμένη και κερματισμένη τεκτονική δομή.

Η μακροσκοπική εκτίμηση και ο εργαστηριακός σε όμοιους σχηματισμούς υπολογισμός των γεωμηχανικών και γεωτεχνικών τους παραμέτρων, προϋπέθεταν για συμπεριφορά του σχηματισμού χωρίς αστοχίες κάτω από το πρίσμα της βραχομηχανικής.

Η εξέλιξη της εκσκαφής και διαμόρφωσης του πρανούς και η συμπεριφορά του σχηματισμού έδειξαν ότι η συμπεριφορά του σχηματισμού δεν ανταποκρινόταν πλήρως στην αρχική του θεώρηση. Απεναντίας η προσομοίωση του με «έδαφος» και η ανάλυση της συμπεριφοράς του με εδαφικά χαρακτηριστικά προσέγγισε την πραγματική κατάσταση, όπως έδειξε ο υπολογισμός των τιμών του συντελεστή ασφαλείας και των πιθανότερων επιπέδων αστοχιών. Οι γεωλογικοί συνεπώς σχηματισμοί που χαρακτηρίζονται από ποικιλία σύστασης και δομής αξίζουν ιδιαίτερης προσοχής και ενδιαφέροντος κατά την γεωμηχανική τους θεώρηση, καθώς μπορούν να εμφανίσουν συμπεριφορά ιδιαίτερα προβληματική, με την δημιουργία ασταθειών οι οποίες δεν εκφράζονται απο προκαθορι-



σμένα μοντέλλα συμπεριφοράς. Στην προσπάθεια αυτή η έρευνα έγινε με την ελπίδα να προσθέσει εμπειρία στην γνώση γύρω από την συμπεριφορά αυτών των υλικών, έχοντας ως απώτερο σκοπό να συνισφέρουμε στην κατανόηση της συμπεριφοράς τους κατά την εκτέλεση τεχνικών έργων.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Beniawski, Z.T. (1989). Engineering rock mass classifications, John Wiley & Sons 251 p.
- Bishop, A.W. 1955. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes, *Geotechnique*, 5(1), pp1-17.
- ΔΕΗ/ ΔΑΥΕ 1994 , Έργα Εκτροπής Αχελώου , Σήραγγα εκτροπής Αχελώου προς Θεσσαλία, Τεχνικογεωλογική μελέτη. Αθήνα 1994
- Hoek, E. & Bray, J.W. 1981 *Rock slope engineering*. Institute of Mining and Metallurgy, London
- Jacobshagen, V. 1986 *Geologie von Griechenland*, Gebr. Borntraeger Berlin
- Janbu, N., 1973 *Slope stability computations*, Embankment Dam Engineering, Casagrande Memorial Volume, J.Wiley, New York, pp47-86
- Marinos, P. & Hoek, E. 2000, GSI: A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. *Proc. Of GeoEng 2000*, Melbourne, and in [www.rocsiences.com](http://www.rocsiences.com)
- Morgenstern, N.P. and Price, V.E., 1965. The analysis of the Stability of general slip surfaces, *Geotechnique*, 15 pp.79-93
- Thanopoulos, J.& Dalias, D. 1996, Excavation of a Rock slope in Sykia Dam site, Greece. In *Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Engineering* 511-517pp. Balkema

## ABSTRACT

### **BEHAVIOR OF PINDOS LIMESTONE DURING HIGH SLOPE EXCAVATION. AN APPROACH TO INTERPRETE AND SIMULATE THE BEHAVIOR OF THE FORMATION USING SLOPE STABILTY ANALYSIS METHODS.**

Sfeikos A.<sup>1</sup>, Stimaratzis Th<sup>2</sup>, Kiliias A.<sup>2</sup>, & Christaras V.<sup>2</sup>

*1 Min. Of Public Works, Dept. for Acheloos Works, Trikala*

*2 Dept. of Geology, Aristotle Univ. of Thessaloniki, GR- 546 21*

The Acheloos river diversion project includes also works which improve the condition of the infrastructure network in the area. One of them was the improvement of a section at the Mouzaki - Arta national road. The road is developed through geological formations of the Pindos Zone. In the Argithea area, Karditsa County, it cuts through Cretaceous limestone bearing *Calpionella*. This formation develops high and steep slopes, over 50 m high. It consists of thin to medium bedded limestone, showing locally chert intercalations, and gradational transition to siliceous limestone. Thin silt or clay layers separate bedding. The formations is strongly folded and intensively jointed. The initial design proposed the construction of a slope with H:V relationship of 1:4 and benches every 20 m. The designed geometry was during and soon after excavation destroyed, due to sliding of rock particles. A new geometry was developed possessing a more stable state of dynamic equilibrium.

Our task is to investigate and simulate the behavior of this formation. Based on data from both laboratory analysis and literature we ascribed the limestone formation values for its geotechnical properties. Using these values we estimate the values for the Safety Factor for the geometrical features of the slope. We control the stability of the slope using both rock mechanics and soil mechanic methods. The results point that rock formations, like the Cretaceous limestone which exhibit variation in their composition, and high contrast between the geotechnical characteristics values of the composing elements, may be considered as a material with soil properties. The Safety Factor calculation using these assumptions for the above mentioned slope, resulted a geometry close to the one developed. Therefore we conclude that such rock material and formations may successfully be simulated as materials with soil geotechnical behavior.