

Διερεύνηση Αιτίων Επαναδραστηριοποίησης Παλαιοκατολίσθησης στην Εγνατία Οδό

Investigation of the Causes of the Reactivation of a Pre-existing Landslide at Egnatia Motorway

ΤΣΑΤΣΑΝΙΦΟΣ, Χ. Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.
ΠΑΝΔΗΣ, Κ. Πολιτικός Μηχανικός, ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.
ΜΕΛΕΚΗΣ, Γ. Γεωλόγος, ΠΑΝΓΑΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η κατασκευή επιχώματος (το 1995) και η προσωρινή απόθεση υλικών εκσκαφής (το 2000) επί πρανούς, στην περιοχή των Δυτικών Στομιών της Σήραγγας Ανθοχωρίου, στο Τμήμα 3.2 της Εγνατίας Οδού, επανενεργοποίησαν, και στις δύο περιπτώσεις, παλαιοκατολίσθηση. Προκειμένου να διερευνηθούν τα αίτια των επανενεργοποιήσεων της κατολίσθησης εκτελέστηκαν ένα εκτενές πρόγραμμα γεωτεχνικών ερευνών και μία σειρά παραμετρικών ανάλυστων αναλύσεων ευστάθειας, σε μία «βήμα προς βήμα» προσέγγιση του προβλήματος, κάνοντας κάθε φορά χρήση των νέων στοιχείων που ήταν διαθέσιμα από τις έρευνες και τις μελέτες. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών.

ABSTRACT: The construction of an embankment (in 1995) and the temporary deposition of excavated material (in 2000) on a slope, at the area of the West Portal of Anthohori Tunnel, in Section 3.2 of Egnatia Motorway, triggered, in both cases, the reactivation of a pre-existing landslide. A detailed geotechnical investigations program was carried out along with a series of parametric back analyses, in a “step by step” approach, in order to define the reason(s) that caused the reactivation of the landslide. In this paper the results of the back analyses are presented and commented on.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή μελέτης ευρίσκεται στο Τμήμα 3.2 της Εγνατίας Οδού, στην ανατολική Ήπειρο, όπου ο αυτοκινητόδρομος διασχίζει την οροσειρά της Πίνδου. Στην περιοχή αυτή συναντάται η επώθηση του φλύσχη της Πίνδου (συνισταμένου από λεπτοστρωματώδεις ψαμμίτες, ιλυολίθους, αργίλους και κροκαλοπαγή) επί του φλύσχη της Ιόνιας γεωτεκτονικής ζώνης, η οποία έχει δημιουργήσει σχηματισμούς «άγριου φλύσχη», ήτοι χαοτικής δομής με συμπαγή βραχώδη τεμάχια εντός μιας ψαμμιτικής – ιλυολιθικής σύστασης μάζας).

Το 1995 κατασκευάστηκε επίχωμα στην περιοχή έμπροσθεν και βόρεια των δυτικών στομιών της σήραγγας Ανθοχωρίου, ενώ το 2000 απετέθησαν, προσωρινά, προϊόντα εκσκαφών σε παρακείμενο βορείως της σήραγ-

γας πρανές. Και στις δύο περιπτώσεις αποτέλεσμα των ενεργειών αυτών ήταν να εκδηλωθούν φαινόμενα αστοχίας με τη μορφή εκτεταμένων ρωγματώσεων σε δύο οχετούς από ωπλισμένο σκυρόδεμα που διήρχοντο κάτω από το επίχωμα, στην πρώτη περίπτωση και εμφάνιση ρωγμών στην επιφάνεια του εδάφους, οι οποίες με το πέρασμα του χρόνου εξελίσσοντο προς τα ανάντη, στην δεύτερη περίπτωση.

Εκτενείς γεωλογικές και γεωτεχνικές έρευνες, μετά την δεύτερη αστοχία, αποκάλυψαν ότι επρόκειτο για «επανενεργοποίηση προϋπάρχουσας κατολίσθησης», λόγω της επιφόρτισης που δέχθηκε από την κατασκευή του επιχώματος, στην πρώτη περίπτωση, και την απόθεση των προϊόντων των εκσκαφών, στην δεύτερη περίπτωση.

Οι γεωτεχνικές έρευνες περιέλαβαν την α-

νόρυξη σημαντικού αριθμού δειγματοληπτικών γεωτρήσεων με παράλληλη εκτέλεση επί τόπου δοκιμών και την διενέργεια εργαστηριακών δοκιμών, με ιδιαίτερη έμφαση στις δοκιμές «δακτυλιοειδούς διάτμησης» (ring shear tests) σε δείγματα από την περιοχή της επιφάνειας αστοχίας, για τον προσδιορισμό της γωνίας παραμένουσας διατμητικής αντοχής (residual strength) (φ'_{res}).

Τοποθετήθηκαν, επίσης, πιεζόμετρα, για την παρακολούθηση της διακύμανσης της στάθμης και της πίεσης του νερού των πόρων, καθώς και αποκλισιόμετρα, για τον ακριβέστερο εντοπισμό του βάρους στο οποίο εκδηλώνεται η μετακίνηση (ολίσθηση) και κατ' επέκταση τον προσδιορισμό της γεωμετρίας της επιφάνειας αστοχίας.

Οι γεωτεχνικές έρευνες εκτελέστηκαν σε μία σειρά διαφορετικών, διαδοχικών, φάσεων, κάθε μία από τις οποίες προγραμματίζετο με βάση τις νεότερες πληροφορίες που ήταν σε κάθε στιγμή διαθέσιμες, είτε επρόκειτο για επί τόπου, επιφανειακές, παρατηρήσεις εμφάνισης ρωγμών και μετρήσεων από τα αποκλισιόμετρα, είτε για αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών και αναλύσεων ευστάθειας, που «εκτελούντο» παράλληλα.

Η γωνία παραμένουσας διατμητικής αντοχής (φ'_{res}) προσδιορίστηκε, επίσης, μέσω αναστροφών αναλύσεων ευστάθειας της κατολίσθησης, γεγονός που, όπως εξηγείται παρακάτω, προϋποθέτει λεπτομερή διερεύνηση των αιτίων που οδήγησαν στην αστοχία, προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα και αποδεκτά.

2. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Οι πρώτες εμφανίσεις ρωγμών, άρα και ενδείξεις για την εκδήλωση αστοχίας, εντοπίστηκαν «σύντομα» μετά την απόθεση των υλικών στην εν λόγω περιοχή, το 2000. Οι ρωγμές αυτές συνέχισαν να αναπτύσσονται προς τ' ανάντη, στην ευρύτερη περιοχή της γεώτρησης Γ15 (βλέπε Σχήμα 1) και οριοθέτησαν μια ολισθαίνουσα μάζα, μεταξύ δύο φυσικών μισγαγγειών, με πλάτος 90 m και μήκος 450 m, περίπου, έως την κοίτη του Μετσοβίτικου ποταμού που ρέει στα κατάντη.

Οι μεγάλες διαστάσεις της ολισθαίνουσας μάζας, το γεγονός ότι οι επιφανειακές ρωγμές εξακολουθούσαν να αναπτύσσονται προς τα ανάντη, υπό σταθερές συνθήκες φόρτισης (χωρίς δηλαδή να προστεθή ή να αφαιρεθή άλλο υλικό στις περιοχές απόθεσης), σε συνδυασμό με τα ιδιαίτερα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και την «ιστορία» της ευρύτερης

περιοχής οδήγησαν στην εκτίμηση ότι επρόκειτο για επανενεργοποίηση προϋπάρχουσας κατολίσθησης. Η εκτίμηση αυτή επιβεβαιώθηκε αργότερα από τις γεωλογικές και γεωτεχνικές έρευνες.

Η πρώτη εκτίμηση σχετικά με την γεωμετρία της επιφάνειας αστοχίας έγινε τον Μάιο του 2002, ενώ ακολούθησαν άλλες τρεις τον Ιούλιο, τον Οκτώβριο και τον Δεκέμβριο του 2002. Οι εκτιμήσεις αυτές βασίστηκαν κυρίως στις πληροφορίες (μετρήσεις) που ελαμβάνοντο από τα αποκλισιόμετρα, στα στοιχεία τα σχετικά με την στρωματογραφία του υπεδάφους, όπως τα αποκάλυψαν οι γεωτρήσεις αλλά και στην επιφανειακή χαρτογράφηση και καταγραφή τυχόν ενδείξεων (ρωγμών) αστοχίας.

Η κατολισθαίνουσα μάζα αποτελείται από «εντελώς έως πολύ αποσαθρωμένο ιλυόλιθο» και «προϊόντα παλαιών κατολισθήσεων», τα οποία υπέρκεινται «μέτρια διατμημένου ιλυολίθου», ενώ το «υπόβαθρο» συνίσταται σε «μέτρια» και «ελαφρά» διατμημένο ιλυόλιθο και κερματισμένο ψαμμίτη.

Οι μετρήσεις που ελήφθησαν από τα αποκλισιόμετρα έδειξαν ότι η επιφάνεια ολίσθησης εντοπίζεται μεταξύ του «εντελώς έως πολύ αποσαθρωμένου» και του «μέτρια διατμημένου» ιλυολίθου, σε βάθος 20 m έως 28 m, περίπου, από την επιφάνεια του εδάφους. Είναι χαρακτηριστικό ότι η επιφάνεια αστοχίας παρουσιάζει «εναλλαγές» στην κλίση αλλά και στην καμπυλότητά της (κυρτά και προς τα επάνω), κάτι που οφείλεται στο ανώμαλο σχήμα της επιφάνειας του «υποβάθρου», επί του οποίου εκδηλώθηκε η ολίσθηση. Οι ανωμαλίες αυτές, όμως, παρά το ότι είναι συστηματικές (παρατηρήθηκαν και σε άλλες τομές της μάζας που ολίσθησε), είναι μικρές.

Τέλος, η τελική θεώρηση της κατολισθαίνουσας μάζας ως «ενιαίας», χωρίς, δηλαδή, ενδιάμεσες ολισθήσεις, έγινε για τους παρακάτω λόγους:

- i. Σύμφωνα με την γεωλογική χαρτογράφηση, η οποία περιέλαβε και την λεπτομερή αποτύπωση των επιφανειακών ρωγνατώσεων, δεν παρατηρήθηκαν στην επιφάνεια του εδάφους στοιχεία που να υποστηρίζουν κάτι τέτοιο.
- ii. Οι ανάστροφες αναλύσεις ευστάθειας, οι οποίες έλαβαν υπ' όψη διαδοχικές ολισθήσεις εδαφομαζών από τα κατάντη προς τα ανάντη, όπως αυτές καθορίστηκαν με βάση κάποιες δευτερεύουσες επιφανειακές ρωγμές κατάντη της θέσης του επιχώματος της οδού, κατέληξαν σε τιμές του συντελεστή ασφαλείας σημαντικά υψηλότερες

της μονάδας (της τάξης του 1.10).

Ο ρυθμός της μετακίνησης, μετά την αρχική αστοχία, κυμαίνεται από 6.3×10^{-5} mm/min έως 7.9×10^{-5} mm/min ($33 \div 42$ mm/έτος).

3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΑΙΝΟΥΣΑΣ ΜΑΖΑΣ

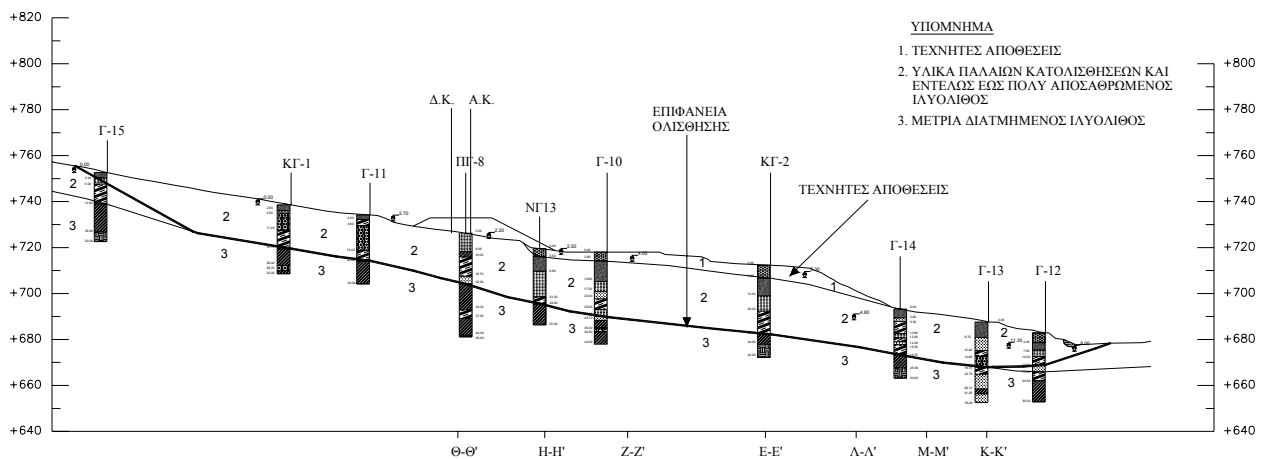
Τα χαρακτηριστικά της διατμητικής αντοχής των σχηματισμών που συνιστούν την κατολισθαίνουσα μάζα προσδιορίστηκαν με μία σειρά εργαστηριακών δοκιμών τριαξονικής καταπόνησης, με στερεοποίηση και μέτρηση της πίεσης πόρων (CUPP), ταχείας τριαξονικής καταπόνησης χωρίς στερεοποίηση (UU), δοκιμών άμεσης διάτμησης (DS) και δοκιμών ανεμπόδιστης θλίψης (UC). Στον Πίνακα 1

φαίνονται τα ενεργά χαρακτηριστικά (c' και ϕ') των σχηματισμών αυτών.

Πίνακας 1. Ενεργές Παράμετροι Διατμητικής Αντοχής Κατολισθαίνουσας Μάζας

Table 1. Sliding Mass Effective Shear Strength Parameters

Σχηματισμός	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' ($^{\circ}$)
Υλικά Παλαιών Κατολισθήσεων και Έντελώς έως Πολύ Αποσαθρωμένος Ιλυόλιθος	21.5	30	25
Μέτρια Διατμημένος Ιλυόλιθος	22.0	30	30



Σχήμα 1. Γεωμετρία Πρανούς και Επιφάνειας Αστοχίας
Figure 1. Slope and Failure Surface Geometry

4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Το μέγεθος των μετακινήσεων της κατολισθήσεως, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η επιφάνεια αστοχίας, κατά μήκος της οποίας εκδηλώθηκαν οι μετακινήσεις, είναι ξεκάθαρα σχηματισμένη, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η διατμητική αντοχή στην επιφάνεια ολίσθησης μπορεί να εκφράζεται σε όρους παραμένουσας διατμητικής αντοχής, ήτοι $c' = 0$ και $\phi = \phi'_{res}$. Τα αίτια και η λεπτομερής περιγραφή του «μηχανισμού» απώλειας της συνοχής (c') και της σημαντικής μείωσης της διαθέσιμης γωνίας διατμητικής αντοχής ($\phi' = \phi'_{res}$) που παρουσιάζουν οι αργιλικόι σχηματισμοί όταν υποβληθούν σε «μεγάλες» διατμητικές παραμορφώσεις αναφέρονται από τους Lurini,

Skinner and Vaughan (1981) και τον Skempton (1985).

Στον Πίνακα 2 φαίνονται, συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών «δακτυλιοειδούς διάτμησης», για ορθή ενεργή τάση (σ'_v) μεταξύ 150 kPa και 250 kPa. Η συγκεκριμένη περιοχή τάσεων αφορά στη δρώσα ενεργή τάση, στην επιφάνεια ολίσθησης και προέκυψε από τις αναλύσεις ευστάθειας.

Οι Stark and Eid (1994) έδειξαν (βλέπε Σχήμα 2) ότι η τιμή της γωνίας «παραμένουσας διατμητικής αντοχής» εξαρτάται, εκτός από την ορθή ενεργή τάση (σ'_v), και από την ορυκτολογική σύσταση της αργίλου, κάτι που είχε τονίσει παλαιότερα και ο Skempton (1985), όπως αυτή αντικατοπτρίζεται στις τιμές του Ορίου Υδαρότητας (LL). Επίσης, ση-

μαντικό ρόλο παίζει και η περιεκτικότητα σε αργιλικό κλάσμα (clay fraction < #200 / 0.074 mm), καθώς επηρεάζει τον μηχανισμό διάτμησης σε επίπεδο κόκκων (βλέπε Σχήμα 3).

Στην συγκεκριμένη περίπτωση η μέση τιμή της γωνίας παραμένουσας αντοχής που προσδιορίστηκε από τις εργαστηριακές δοκιμές είναι $\phi'_{res,lab} = 15^\circ$ με μέσο ποσοστό περιεκτικότητας σε αργιλικό κλάσμα $CF = 14\%$ και μέση τιμή του ορίου υδαρότητας $LL = 34.2\%$.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα Δοκιμών Δακτυλιοειδούς Διάτμησης
Table 2. Ring Shear Test Results

ΓΕΩΤ	ΒΑΘΟΣ (m)	CF (%)	LL	PL	ϕ'_{res} (°)	$\tan \phi'_{res}$
Γ1	14.4÷15.0	23.5	37	20	15.5	0.277
Γ2	18.4÷18.7	24.0	47	28	11.9	0.211
	22.0÷22.4	13.0	37	19	11.4	0.202
Γ13	17.6÷18.4	16.0	35	17	12.4	0.220
	20.4÷21.1	6.9	27	12	21.8	0.400
	17.5÷18.5	12.2	33	17	18.8	0.340
Γ14	20.6÷21.3	16.1	37	21	15.3	0.274
	23.0 ÷24.0	17.3	33	17	12.3	0.218
Γ15	13.6÷14.6	5.0	27	9	14.8	0.264
Γ18	15.6÷16.3	4.7	27	11	15.0	0.268

Με βάση το μέσο ποσοστό του αργιλικού κλάσματος και τη μέση τιμή του ορίου υδαρότητας οι μελέτες των Stark and Eid (1994) και του Skempton (1985) προβλέπουν υψηλότερες τιμές για την γωνία παραμένουσας αντοχής από την εργαστηριακά εκτιμηθείσα $\phi'_{res,lab} = 15^\circ$. Παρ' όλα αυτά, η χαμηλή αυτή τιμή επιβεβαιώθηκε από τα αποτελέσματα των αναστροφών αναλύσεων ευστάθειας (βλέπε επόμενη παράγραφο). Εκτιμάται ότι η απόκλιση αυτή ενδέχεται να οφείλεται στα ορυκτολογικά συστατικά του συγκεκριμένου εδαφικού υλικού.

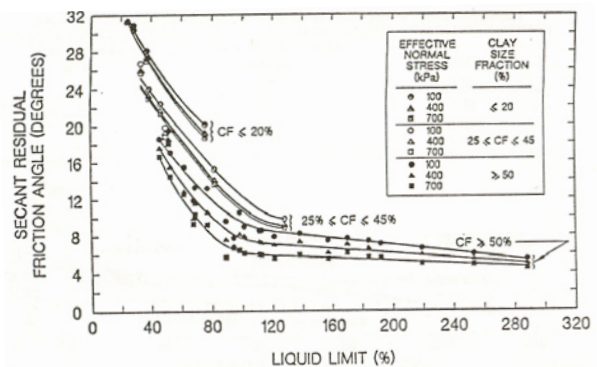
5. ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

Οι ανάστροφες αναλύσεις ευστάθειας είχαν σαν στόχο να εκτιμηθεί η τιμή της γωνίας παραμένουσας αντοχής ($\phi'_{res,ba}$). Απαραίτητες προϋποθέσεις για την εφαρμογή της μεθόδου είναι:

α. Να είναι γνωστή και, κατά το δυνατόν, επακριβώς προσδιορισμένη ως προς τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά η επιφάνεια αστοχίας και

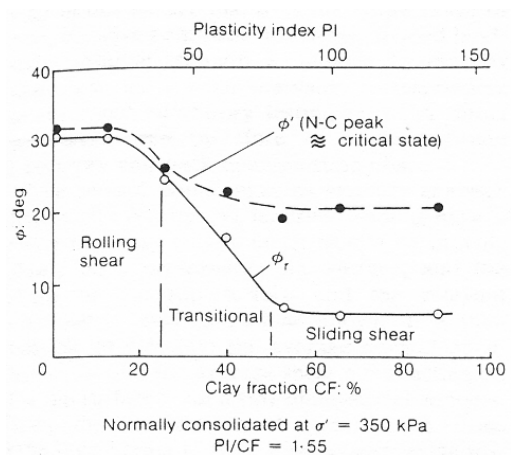
β. Να είναι γνωστές οι πιέσεις των πόρων του εδάφους (τουλάχιστον η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα) στη φάση της αστοχίας.

Είναι κατανοητό ότι με δεδομένες τις παραπάνω προϋποθέσεις, τα ζεύγη τιμών (c' και ϕ') που ικανοποιούν την βασική συνθήκη της μεθόδου ($\Sigma A \approx 1.00$) είναι, γενικά, περισσότερα του ενός. Ωστόσο, στη συγκεκριμένη περίπτωση, δεδομένου ότι λόγω των μεγάλων διατμητικών παραμορφώσεων κατά μήκος της υφιστάμενης επιφάνειας ολίσθησης η συνοχή είναι, ουσιαστικά, αμελητέα ($c'_{res,ba} = 0$ kPa), η εφαρμογή της μεθόδου καταλήγει σε μία μοναδική τιμή για την παραμένουσα γωνία ($\phi'_{res,ba}$), η οποία ικανοποιεί τη συνθήκη $\Sigma A \approx 1.00$.



Σχήμα 2. Σχέση Ενεργού Γωνίας Παραμένουσας Διατμητικής Αντοχής και Ορίου Υδαρότητας (Stark and Eid, 1994)

Figure 2. Relationship between Drained Residual Shearing Resistance and Liquid Limit (after Stark and Eid, 1994)



Σχήμα 3. Δοκιμές Δακτυλιοειδούς Διάτμησης σε μείγματα Άμμου – Μπετονίτη (Skempton, 1985)

Figure 3. Ring shear tests on sand-bentonite mixtures (after Skempton, 1985)

Η μοναδικότητα της τιμής της $\varphi'_{res,ba}$, που προκύπτει με τη μέθοδο της ανάστροφης ανάλυσης ευστάθειας στην συγκεκριμένη περίπτωση, ενισχύει και κάνει ακόμη πιο αυστηρή την απαίτηση για προσδιορισμό της με, κατά το δυνατόν, ακριβείς παραδοχές σχετικά με τις προαναφερθείσες προϋποθέσεις (α) και (β), προκειμένου το αποτέλεσμα να είναι αντιπροσωπευτικό, αξιολογήσιμο και συγκρίσιμο των αντίστοιχων εργαστηριακών.

Επιπλέον, ενώ είναι, σχετικά, εύκολο να γίνη μία ή περισσότερες αξιόπιστες παραδοχές σ' ό,τι αφορά το πεδίο των πιέσεων πόρων, βασιζόμενοι π.χ. σε υδρογεωλογικά στοιχεία, δεν μπορεί να γίνη το ίδιο για την επιφάνεια αστοχίας, όπου μικρές διαφορές στην γεωμετρία επηρεάζουν σημαντικά την προσδιοριζόμενη $\varphi'_{res,ba}$.

Ισχύει, φυσικά, ότι οποιαδήποτε εκτίμηση της παραμένουσας αντοχής ($\varphi'_{res,ba}$) γίνεται με την μέθοδο της ανάστροφης ανάλυσης, αυτή αφορά αποκλειστικά και μόνο στη συγκεκριμένη επιφάνεια αστοχίας και στις συγκεκριμένες πιέσεις πόρων που υιοθετήθηκαν στην ανάλυση.

Επιπλέον, στην συγκεκριμένη περίπτωση η τιμή της $\varphi'_{res,ba}$ θα πρέπει να ικανοποιή ταυτόχρονα δύο (2) ακόμη συνθήκες.

α. Να εξασφαλίξη συντελεστή ασφαλείας ίσο ή κατά τι μεγαλύτερο της μονάδας για το πρανές, στη φυσική του κατάσταση (Αρχικές Συνθήκες – οριακή ευστάθεια).

β. Να εξασφαλίξη συντελεστή ασφαλείας ίσο ή κατά τι χαμηλότερο της μονάδας για το πρανές μετά και την απόθεση των υλικών εκσκαφών (Συνθήκες Αστοχίας).

Η στάθμη του υπόγειου νερού θεωρήθηκε ότι ανέρχεται στην επιφάνεια του φυσικού εδάφους, βάσει μετρήσεων που έγιναν στις γεωτρήσεις, παρατηρήσεων μικροαναβλύσεων νερού σε θέσεις του πρανούς και στο γεγονός ότι η ευρύτερη περιοχή εμφανίζει υψηλά ποσοστά βροχόπτωσης.

Στον Πίνακα 3 φαίνονται, συγκεντρωτικά, τα αποτελέσματα των ανάστροφων αναλύσεων ευστάθειας.

Το συμπέρασμα που εξάγεται από τα αποτελέσματα των αναλύσεων είναι ότι δεν υπάρχει τιμή της $\varphi'_{res,ba}$ που να ικανοποιεί και τις δύο (2) προαναφερθείσες προϋποθέσεις.

Για παράδειγμα η τιμή $\varphi'_{res,ba} = 18.5^\circ$, η οποία προκύπτει με βάση την επιφάνεια αστοχίας, όπως αυτή είχε προσδιορισθή τον 10/2002 και την «αρχική» (φυσική) γεωμετρία του πρανούς, δίδει συντελεστή ασφαλείας $\Sigma A = 1.012$. Ωστόσο, δεν ικανοποιεί την δεύτερη συνθήκη, καθώς εισάγοντας την τιμή αυτή

Πίνακας 3. Αποτελέσματα Ανάστροφων Αναλύσεων Ευστάθειας
Table 3. Back Analyses Results

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	ΣA	$\varphi'_{res,ba}$ ($^\circ$)	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
05/2002	0.908	17	Αρχικές Συνθήκες
05/2002	0.995	17	Συνθήκες Αστοχίας
07/2002	1.026	19.5	Αρχικές Συνθήκες
07/2002	1.090	18.5	Αρχικές Συνθήκες
07/2002	0.987	16.5	Συνθήκες Αστοχίας
07/2002	1.191	19.5	Συνθήκες Αστοχίας
07/2002	1.114	18.5	Συνθήκες Αστοχίας
07/2002	0.997	19.5	Συνθήκες Αστοχίας με Δuex
10/2002	1.012	18.5	Αρχικές Συνθήκες
10/2002	1.114	18.5	Συνθήκες Αστοχίας
10/2002	0.993	18.5	Συνθήκες Αστοχίας με Δuex
12/2002	1.008	17.5	Αρχικές Συνθήκες

στις αναλύσεις με την γεωμετρία του πρανούς μετά την απόθεση των υλικών (Συνθήκες Αστοχίας), ο συντελεστής ασφαλείας προκύπτει αρκετά υψηλότερος της μονάδας, ίσως με $\Sigma A = 1.114$.

Ουσιαστικά, προκύπτει ότι η απόθεση των υλικών στο πρανές δρα θετικά ως προς την ευστάθειά του, κάτι που έρχεται σε πλήρη αντίθεση με το ιστορικό επανδραστηριοποίησης της κατολίσθησης.

Αυτό οδηγεί στο λογικό συμπέρασμα ότι η επανδραστηριοποίηση της κατολίσθησης δεν εκδηλώθηκε υπό «στραγγιζόμενες» αλλά υπό «αστράγγιστες» συνθήκες, κάτω από τις οποίες με την επιβολή του φορτίου (την απόθεση των υλικών, δηλαδή) αναπτύχθηκαν υπερπίεσεις πόρων.

Πράγματι, περαιτέρω παραμετρικές αναστροφες αναλύσεις έδειξαν ότι η «ταχεία» απόθεση των υλικών και μία αύξηση των πιέσεων πόρων, κατά μήκος του τμήματος της επιφάνειας αστοχίας που υπόκειται της περιοχής των επιχώσεων, της τάξης του 70% ($A = 0.70$) του συνολικού φορτίου, αρκούν για να επανενεργοποιήσουν την κατολίσθηση (η τιμή του αντίστοιχου συντελεστή ασφαλείας είναι $\Sigma A = 0.993$).

Η εμπειρία έχει δείξει ότι η τιμή του δείκτη πιέσεων πόρων $A = 0.70$ είναι λογική για ιλυόλιθο της δομής, της σύνθεσης και του βαθμού αποσάθρωσης αυτού που απαντά στην περιοχή μελέτης.

Η τιμή αυτή συνάδει με τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών Maag, τα οποία δείχνουν ότι ο σχηματισμός είναι «μέσης» έως «χαμηλής» περατότητας. Ο συντελεστής υδροπερατότητας (k) κυμάνθηκε από 1.6×10^{-3}

cm/sec έως 1.39×10^{-6} cm/sec στην εντελώς «αργιλοποιημένη» φάση του ιλυολίθου.

Τον 12/2002 έγινε η τελική αξιολόγηση των μετρήσεων των αποκλισιομέτρων κι «ενημερώθηκε», ανάλογα, η γεωμετρία της επιφάνειας αστοχίας. Η τελική τιμή της γωνίας παραμένουσας διατμητικής αντοχής ($\phi'_{res,ba}$), κατά μήκος της επιφάνειας αστοχίας, που προέκυψε από τις ανάστροφες αναλύσεις ευστάθειας είναι $\phi'_{res,ba} = 17.5^\circ$.

Σημειώνεται ότι λαμβάνοντας υπ' όψη τους παράγοντες που επηρεάζουν τον προσδιορισμό της ως άνω γωνίας είτε εργαστηριακά, είτε από ανάστροφες αναλύσεις, προκύπτει ισοδυναμία των δύο εκτιμήσεων (Tsatsanifos and Pandis, 2005), δηλαδή:

$$\phi'_{res,ba} = 17.5^\circ \Leftrightarrow \phi'_{res,lab} = 15^\circ$$

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη του μηχανισμού επανεργοποίησης μίας προϋπάρχουσας παλαιοκατολίσθησης στην περιοχή των δυτικών στομιών της σήραγγας Ανθοχωρίου έδειξε τα εξής:

- α. Η γεωμετρία της επιφάνειας αστοχίας πρέπει να προσδιορίζεται στον ακριβέστερο δυνατό βαθμό, προκειμένου τα αποτελέσματα των αναστρόφων αναλύσεων, ιδιαίτερα αν αφορούν σε εκτίμηση της διατμητικής αντοχής κατά μήκος της επιφάνειας αστοχίας, να θεωρηθούν αποδεκτά. Μικρές διαφοροποιήσεις της γεωμετρίας της επιφάνειας ολίσθησης, οι οποίες μπορεί να οφείλονται είτε σε νέες πληροφορίες και παρατηρήσεις, είτε σε παραδοχές που ενδέχεται να κάνει ο μηχανικός για να καλύψει κάποιο «κενό» ή «ασάφεια», μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας (βλέπε Σχήμα 1 και Πίνακα 3).
- β. Οι μετρήσεις από αποκλισιόμετρα δίδουν τις ακριβέστερες πληροφορίες σχετικά με το βάθος και την γεωμετρία της επιφάνειας αστοχίας αλλά και με το ρυθμό εξέλιξης της κατολίσθησης (ϵ – ταχύτητα μετακίνησης). Το τελευταίο είναι πολύ σημαντικό στη φάση του σχεδιασμού των μέτρων αποκατάστασης / σταθεροποίησης.
- γ. Η μακροχρόνια θετική επίπτωση στην ευστάθεια μιας κατολίσθησης της τοποθέτησης μιας εδαφικής μάζας στο κατάντη τμήμα της, ενδέχεται να αποδειχθεί κατάστροφική αν γίνη με μεγάλη ταχύτητα, λόγω της ανάπτυξης υπερπιέσεων πόρων στην επιφάνεια ολίσθησης.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Lupini, J.F., Skinner, A.E. and Vaughan P.R. (1981). "The Drained Residual Strength of Cohesive Slopes", *Geotechnique*, Vol. 31, No. 2, pp. 181-213.
- Skempton, A.W. (1985). "Residual Strength of Clays in Landslides, Folded Strata and the Laboratory", *Geotechnique*, Vol. 35, No. 1, pp. 3-18.
- Stark, T.D. and Eid, H.T. (1994). "Drained Residual Strength of Cohesive Soils", *ASCE, Journal Geotechnical Engineering Division*, Vol. 120, No. GT 5, pp. 856-871.
- Tsatsanifos, C. and Pandis, C. (2005). "Estimating the Geomechanical Characteristics of a Reactivated Landslide", *Proc. 16th Intrnl. Conf. Soil Mech. & Geot. Engng.*, Osaka, Japan.